

ISSN 1226-0207(Print) / 3058-2024(Online)

한국연구재단 등재 학술지

KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY

한국포장학회지

Vol. 31 No. 2
2025. 8



한국포장학회

KOREA SOCIETY OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY



한국포장학회지

KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY

2025년도 학회 임원명단

명예회장	김종경(한국건설생활환경시험연구원)		
회장	유하경(소프트팩㈜)		
수석부회장	박수일(연세대학교)	오재영(한국건설생활환경시험연구원)	
부회장 (가나다순)	고성혁(연세대학교)	김준태(경희대학교)	김영선(㈜진우아이앰피)
	박종민(부산대학교)	서종철(연세대학교)	손수경(백제예술대학교)
	신준섭(용인예술과학대학교)	윤찬석(㈜에버캠텍)	정현모(경북과학대학교)
	조영진(한국식품연구원)	하상도(중앙대학교)	
감사	민세철(서울여자대학교)	박상희(한국생산기술연구원)	
수석이사	한재준(고려대학교)		
총무이사	유승란(세계김치연구소)		
재무이사	주민정(한국건설생활환경시험연구원)		
편집이사	김기석(서울대학교)	김도완(강릉원주대학교)	안덕순(경남대학교)
	황성욱(계명대학교)		
학술이사	강동호(한국생산기술연구원)	김도영(전남대학교)	김수현(한국컨테이너폴(주))
	도한솔(이화여자대학교)	박지훈(이화여자대학교)	박태훈(한국재료연구원)
	이지현(서울대학교)	정영훈(경북대학교)	
정보이사	안재환(한국식품연구원)	장윤지(국민대학교)	정성권(㈜아모레퍼시픽)
	허준(한국식품산업클러스터진흥원)		
홍보이사	김길수(㈜경연전람)	김나영(인하공업전문대학)	김미연(㈜투유에이치앤비)
	김재영(㈜네이처팜)	박주해(롯데중앙연구소)	이진경(㈜씨피알에스앤티)
	김홍상(한국폴리네트론)	권대현(울촌화학)	권혁찬(한국순환자원유통지원센터)
사업이사	김경원(㈜LG생활건강)	김금탑(Dspack(주))	김연동(㈜BMTS)
	김인수(㈜가성팩)	류진형(동조케미칼)	문병근(한국건설생활환경시험연구원)
	박동일(㈜알앤에프케미칼)	박영철(한국중량물포장)	박정훈(㈜세움)
	백소라(세종사이버대학교)	백인걸(한솔제지(주))	서도찬(로지스올(주))
	서원태(삼성전자(주))	안덕준(㈜SPC PACK)	유정권(팩티브코리아)
	윤승일(핀테크리티)	이보영(㈜네고팩)	이재정(한국포장재활용사업공제조합)
	이청일(CJ비오솔)	이혁진(㈜하벤)	이현철(㈜서일)
	이해성(㈜태림포장)	장욱(한국플라스틱포장용기협회)	전재호(㈜유진로지스틱스)
	조현준(한국인삼공사)	정성태(한양사이버대학교)	정준재(한국식품산업클러스터진흥원)
	정해원(㈜아모레퍼시픽)	진영석(㈜유한팩)	최민수(㈜팩플러스)
	최석(㈜써모랩코리아)		
	국제이사	김영택(Virginia Polytechnic Institute & State Univ. USA)	노유래(Michigan State Univ. USA)
신중민(California Polytechnic State Univ. USA)		오상원(한솔제지, USA)	이의학(Michigan State Univ. USA)

편집위원회

위원장	김준태(경희대학교)		
부위원장	김기석(서울대학교)	김도완(강릉원주대학교)	안덕순(경남대학교)
	황성욱(계명대학교)		
편집의원 (가나다순)	강동호(한국생산기술연구원)	박수일(연세대학교)	박종민(부산대학교)
	박태훈(한국재료연구원)	서종철(연세대학교)	

한국포장학회지 제31권 제2호

KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 31. No.2, 2025

발행처: (사)한국포장학회
서울특별시 서초구 강남대로 441(서산빌딩),
9층 007호 (사)한국포장학회
우) 06612
TEL : 02-6257-9477
E-mail : kopast2021@gmail.com
Web site : www.kopast.or.kr

Published by: KOREA SOCIETY OF
PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
#007, 9F, 441, Gangnam-daero, Seocho-gu, Seoul, 06612,
Republic of Korea
TEL : 82-2-6257-9477
E-mail : kopast2021@gmail.com
Web site : www.kopast.or.kr

발행일: 2025년 8월 31일

Published Date: 2025. 8. 31.

편집처: 한림원(주)
TEL: 02-2273-4201
FAX: 02-2273-4240
E-mail: hanrim@hanrimwon.co.kr

Designed by : Hanrimwon Co. Ltd
TEL : 82-2-2273-4201
FAX : 82-2-2273-4240
E-mail: hanrim@hanrimwon.co.kr



한국포장학회지

KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY

제31권 제2호

연구논문

2025년 8월

- Finite Element Analysis-based Simulation of Carton Clamp Truck Handling
Jongmin Park · Jongsoon Kim · Sewon Chang · Hyunmo Jung 89
- PP/EVOH 구조의 다층 플라스틱 식품 용기 재활용에 따른 생물학적 안전성 및 화학적 용출 특성 연구
하성철 · 이창용 97
- 배전정도와 분쇄유무에 따른 커피의 CO₂ 발생 특성
 정수연 · 김규리 · 유하경 · 안덕순 109
- Recent Advances in TEMPO-oxidized Cellulose Nanofibers and Regenerated Cellulose Films
 from Food by-product Biomass: Mechanisms, Properties, and Applications
 Jihyeon Hwang · Dowan Kim 115
- SEBS-g-MAH를 이용한 재활용 PP/EVOH 다층 플라스틱의 계면 특징 및 차단성 연구
하성철 · 이창용 127
- 신선 꽃송이버섯(*Sparassis latifolia*)의 저장 · 유통 중 품질 유지 및 가공 활용 기술에 대한 종합 고찰
최지원 · 권나영 · 조재한 · 허병수 · 안기홍 · 장민선 · 임종국 141
- AI 활용을 통한 기업에서의 디자인 기획 솔루션 방안 연구 - 아임비타 에디션 패키지디자인을 중심으로 -
 김나영 157
- 플라스틱 포장재로 된 제품을 구매하는 소비자의 의도 연구- 개인적 요인과 사회적 요인의
 인지부조화를 중심으로 -
 장욱 · 박남태 171



- Finite Element Analysis-based Simulation of Carton Clamp Truck Handling
Jongmin Park, Jongsoon Kim, Sewon Chang, and Hyunmo Jung 89
- Investigation of Biological Safety and Chemical Leaching Properties in the Recycling of
 PP/EVOH Multilayer Plastic Food Containers
Sung-Chul Ha and Chang-Yong Lee97
- CO₂ Production from Coffee Influenced by Roasting Degree and Grinding
Soo Yeon Jung, Gyu Ri Kim, Ha Kyoung Yu, and Duck Soon An 109
- Recent Advances in TEMPO-oxidized Cellulose Nanofibers and Regenerated Cellulose Films
 from Food by-product Biomass: Mechanisms, Properties, and Applications
Jiyeon Hwang and Dowan Kim 115
- Interfacial Properties and Barrier Performance of Recycled PP/EVOH Multilayer Plastics
 Using SEBS-g-MAH
 Sung-Chul Ha, and Chang-Yong Lee 127
- A Comprehensive Review of Quality Preservation and Processing Utilization Techniques
 for Fresh *Sparassis latifolia* During Storage and Distribution
 Ji Weon Choi, Nayeong Kwon, Jae-Han Cho, Byong-Soo Heo, Gi-Hong An,
 Min-Sun Chang, and Jong-Guk Lim..... 141
- A Study on Establishing AI-Based Design Planning Solutions in Corporations
 - Focus on the Design of the I'm Vita Edition Package -
Kim, Na Young 157
- A Study on Consumers' Purchase Intention for Products Using Plastic Packaging
 - Centered on Cognitive Dissonance Arising from Personal and Social Factors -
 Wook Chang and Nam Tae Park 171

Finite Element Analysis-based Simulation of Carton Clamp Truck Handling

Jongmin Park^{1*}, Jongsoon Kim¹, Sewon Chang¹, and Hyunmo Jung²

¹*Department of Bio-industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Miryang 50463*

²*Department of Logistic Packaging, Kyongbuk Science College, Chilgok 39913, Korea*

Abstract Carton clamps and forklift attachments allow users to efficiently handle shipping units including unitized loads, large shipping cases, and crates without the need for pallets. As the use of palletless handling by clamp trucks increases, the need for simulation research on clamp truck handling also grows. This study defines an analysis model for a segment of a heavyweight corrugated package (HCP) ($L \times W \times D = 1,003 \times 980 \times 1,880$ mm, weight = 1,760 N). Finite element analysis (FEA) evaluated the slippage of the HCP under various conditions, using a representative load. The FEA results indicated minimal change in slippage beyond a certain clamping pressure. The slippage was lowest when the rubber contact pad on the carton-clamp truck arm was trapezoidal. Additionally, the slippage of HCP was reduced by more than 50% when using double-wall corrugated paperboard compared to single-wall corrugated paperboard. Under the same conditions, the error between the minimum clamping pressure estimated by the improved minimum clamping pressure model and the pressure analyzed through FEA was approximately 12%. Thus, if the physical properties used in FEA are enhanced, the FEA-based simulation technique can more accurately estimate the minimum clamping pressure during carton clamp truck handling.

Keywords Heavyweight corrugated package; Carton-clamp truck; Minimum clamping pressure; Carton-clamp truck handling; Finite element analysis

Introduction

A forklift truck, a typical handling machine, is suitable for handling pallet-based freight, whereas a carton-clamp truck can handle freight without using pallets. Carton-clamp trucks are highly efficient when used with other handling machines, such as push/pull with slip sheets. They increase space efficiency and reduce management costs in factories or warehouses¹⁻³). As palletless handling by carton-clamp trucks expand across various industries, the need for computer simulations to optimize clamping pressure, the most crucial factor in carton-clamp truck handling, is increasing.

Stewart and Batt⁴) developed PSD profiles for warehouse handling and truck loading using carton-clamp trucks to drive a clamping-force simulation device. Singh et al.⁵) analyzed relationships among ride height, measuring position, stacking patterns, shock intensity, load retention, and load containment in carton-clamp truck handling of unitized loads. They found that vibration levels in the 4-20 Hz range were much higher than those in transport systems like trucks or trains. Park et

al.⁶) modeled the appropriate clamping pressure, considering one-time handling weight and the actual contact area between the carton-clamp truck arm and packages by measuring the dynamic load factor and friction coefficient for handling a heavyweight corrugated package. Park et al.⁷) also analyzed the effects of payload, traveling speed, and tire type on vibration levels during carton-clamp truck handling, presenting their PSD profiles for three test courses: the test course designed based on a case study in the home appliance industry, ASTM D6055⁸), and ISTA 3B⁹). The type of load generated during carton-clamp truck handling results from handling environmental conditions such as weight, clamping method, road conditions, and driving speed. Additionally, the load varies based on the package shape, packaging condition, packaging material, and the material and shape of the rubber contact pad on the carton-clamp truck arm.

Due to limitations in experimental methods, simulation techniques like finite element analysis (FEA) are required. Therefore, in this study, we developed an FEA-based simulation technology for carton-clamp truck handling, using various data from previous studies^{6,7,10,11}). We analyzed factors affecting load slippage between clamp arms and the shape design factors of the rubber contact pad. Additionally, it compared test-based minimum clamping pressure with FEA results for carton-clamp truck handling.

*Corresponding Author: Jongmin Park
Department of Bio-industrial Machinery En
Tel: +82-55-350-5424, Fax : +82-55-350-5429
E-mail: parkjssy@pusan.ac.kr

Materials and Methods

1. Analysis range

In this study, to develop an FEA simulation technique for the load behavior of various variables in carton-clamp truck handling (Fig. 1), we first established a representative load that accurately considered the handling environmental conditions. The behavior of this load was analyzed based on the outer-packaging material, the shape of the rubber contact pad, and clamping pressure.

To determine the representative load, the composite PSD profile analyzed by the research team during the handling process of the same target heavyweight corrugated package (HCP) (weight: 1,760 N, dimensions: $L \times W \times D = 1,003 \times 980 \times 1,880$ mm) as in this study, was applied⁷⁾. This composite PSD profile, which included all the PSD profiles measured for each combination of variables such as driving speed, road surface condition, and clamping method, allowed for the calculation of the representative load.

The target HCP behavior for this representative load was analyzed for combinations of three types of outer-packaging material, three types of rubber contact pads on the carton-clamp truck arm, and three levels of clamping pressure, as shown in Table 1. The shape and dimensions of the rubber contact pad (Fig. 2) were determined through investigations

by the manufacturer and the site of use. The clamping pressure range included the pressure normally applied in practice when handling two target HCPs, as shown in Fig. 1(b).

2. Definition of analysis model and modeling

In Fig. 1(b), the small-volume element within the real contact area between the target HCP and the rubber contact pad of the carton-clamp truck arm is defined as the analysis model (Fig. 3). This element selection considered the left-right symmetry around the HCP in carton-clamp truck handling and the plane motion, with the center of gravity of the HCP confined to the *xz* plane, ignoring movement in the traveling direction (*y*).

The FEA assumptions for the analysis model are as follows:

- FEA analyzes the behavior within a defined small-volume element;
- Target HCP, wrapped in a corrugated outer-packaging material, is considered a rigid body, and the kinetic conditions between the outer-packaging material of the HCP and the rubber contact pad are considered Coulomb friction;
- Total weight of the target HCP is concentrated in the area of the rubber contact pad of the carton-clamp truck, resulting in frictional motion;
- Due to the clamping pressure of the carton-clamp, only

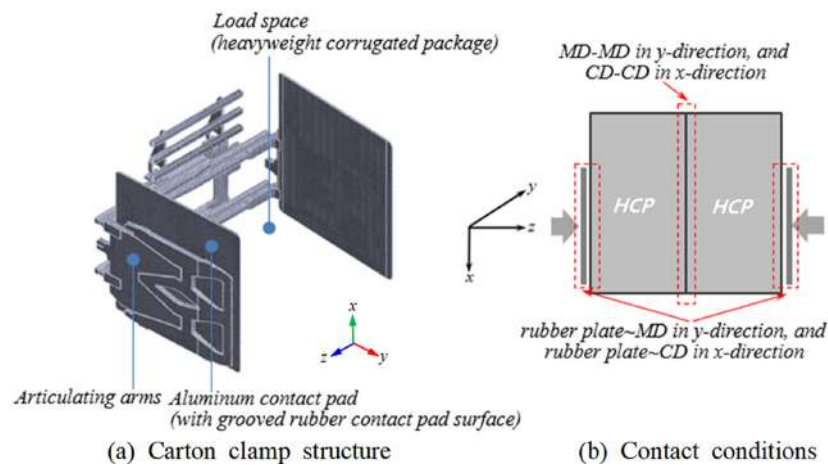


Fig. 1. Frictional contact conditions in carton clamp truck handling for target HCP.

Table 1. Analysis design for analysis the target HCP behavior

Outer-packaging material ¹⁾	Handling weight (kN)	Clamping pressure (kPa)	Shape of rubber contact pad
AB/F-DW	3.52	3, 5, 7	Trapezoid, Quadrangle, Orbicular
BB/F-DW	3.52	3, 5, 7	Trapezoid, Quadrangle, Orbicular
A/F-SW	3.52	3, 5, 7	Trapezoid, Quadrangle, Orbicular

Note: 1) AB/F-DW = double wall of AB flute, BB/F-DW = double wall of BB flute, A/F-SW = single wall of A flute

(DW) KLB175/K180/K180/KLB175, (SW) KLB175/K180/KLB175

[KLB175: 40% UKP + 30% AOCC + 30% KOCC, K180: 100% KOCC (UKP = unbleached kraft pulp, KOCC = Korean old corrugated container, AOCC = American old corrugated container)]

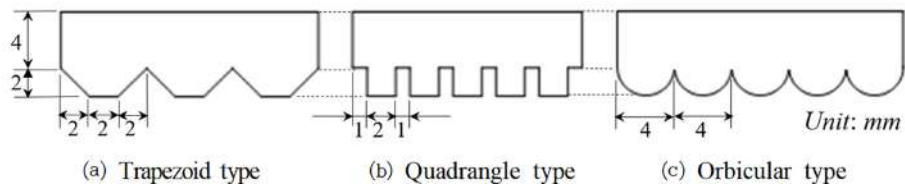


Fig. 2. Configuration of the rubber contact pad of the carton clamp truck arm.

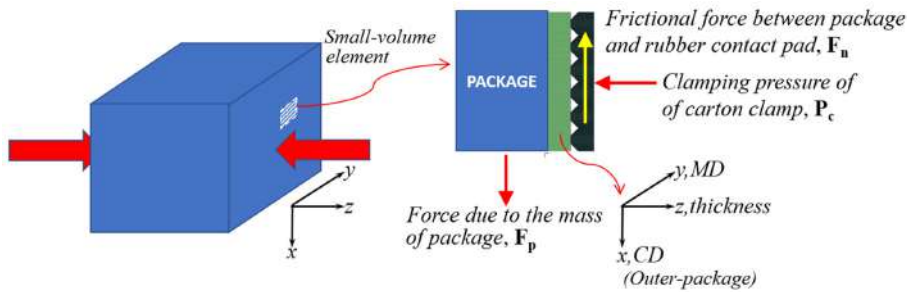


Fig. 3. Definition of the analysis model.

elastic deformation occurs between the friction materials, and an inelastic area is not considered.

The friction area of the analysis model was 36 mm^2 ($36 \times 1 \text{ mm}$), a fraction of the friction area of the entire model, which was $1,185,800 \text{ mm}^2$ ($1,210 \times 980 \text{ mm}$): (target HCP) $L \times W \times D = 1,003 \times 980 \times 1,880 \text{ mm}$, and (carton-clamp arm) $1,210 \times 1,210 \text{ mm}$. The analysis model for each combination of the three types of outer-packaging materials of the HCP and three types of rubber contact pads of the carton-clamp truck arm was expressed as an FE model, and MiDAS NFX (2018R2, MiDAS IT) software was used for FE modeling¹²⁾. Fig. 4 shows the modeling results for the rubber contact pad with the outer-packaging material BB/F as an example.

3. Load (traction) and boundary conditions, and analysis methods

The clamping pressures applied in FEA were 3, 4, and 5 kPa, equivalent to 3×10^{-3} , 4×10^{-3} , and $5 \times 10^{-3} \text{ N/mm}$ in a two-dimensional model (1 mm thick). The handling weight supported by the rubber contact pad of the analysis model was

determined based on the friction area ratio between the entire model and the analysis model. Specifically:

- Handling weight supported by the rubber contact pad on one arm: 1,760 N (half of the total handling weight of 3,520 N);
- Friction area ratio between the analysis model and the entire model: 3.04×10^{-5} ($36/1,185,800$);
- Handling weight supported by the rubber contact pad of the analysis model: 0.0535 N ($1,760 \text{ N} \times 3.04 \times 10^{-5}$).

The slippage of the load during carton-clamp truck handling was significantly affected by vertical vibrations. However, Park et al.^{6,7)} found that vibration intensity during handling was significant not only vertically but also laterally. Therefore, in this study, the representative load was determined by summing the vibration magnitudes (overall rms G ⁷⁾) in both directions to simulate extreme conditions for slippage. Specifically:

- Overall rms G in the lateral direction: 1.01
- Overall rms G in the vertical direction: $0.76 + 1$ (Gravity)
- $\sqrt{1.01^2 + 1.76^2} = 2.0292G$, Representative load: (0.0535/

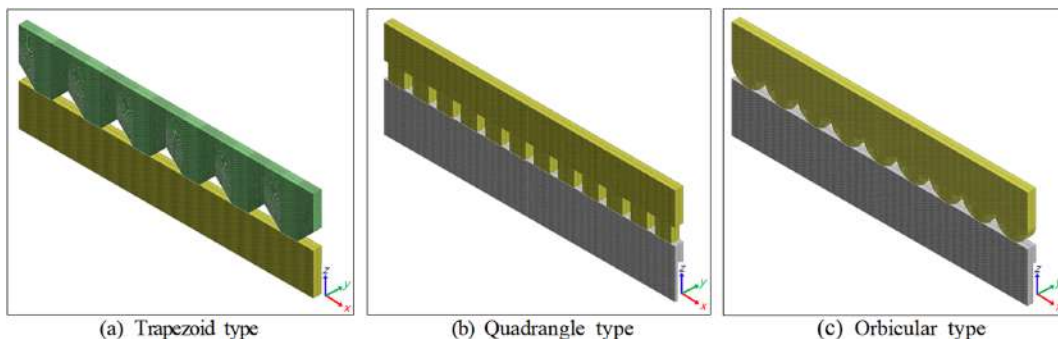


Fig. 4. Example of modeling results by rubber contact pad for outer-packaging material, BB/F.

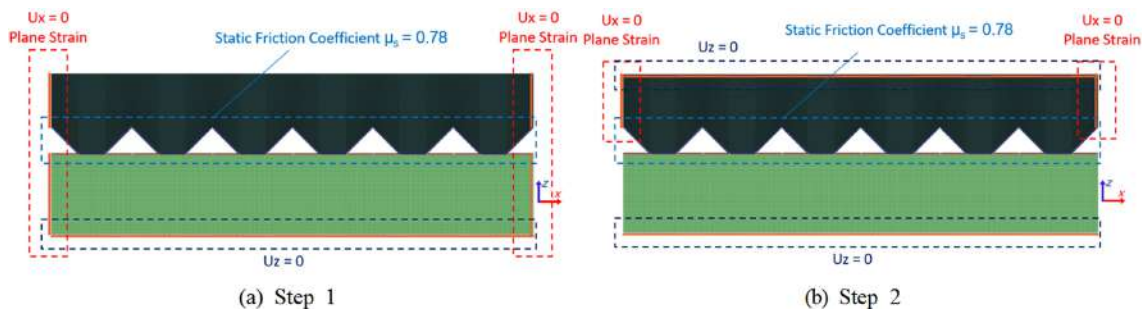


Fig. 5. Constraint and boundary conditions in FEA: BB/F-A/F SW, trapezoid.

$$9.81) \times 2.0292 \text{ G} \times 9.81 = 0.1086 \text{ N}$$

The FEA proceeds in two stages. First, the analysis model is compressed with the clamping pressure P_c of the carton-clamp truck to generate friction force. Then, the dynamic load F_p from the mass of the HCP is applied to analyze the relative displacement between the HCP and the rubber contact pad (Fig. 3).

Fig. 5 shows the constraints and boundary conditions for Steps 1 and 2 of the FEA. In Step 1, the x-direction motion of the left and right sides of the rubber contact pad and the HCP, and the z-direction motion of the HCP bottom, were restrained. In Step 2, the x-direction motion of the left and right sides of the rubber contact pad and the z-direction motion of the HCP bottom were restrained. The friction coefficient applied to the friction contact conditions in the FEA is based on Park *et al.*¹⁰. The friction coefficient between the rubber contact pad and the corrugated outer-packaging material varied with the flute type of the corrugated paperboard; thus, values for each flute type were applied. The friction coefficient between the corrugated paperboards was averaged across the machine direction (MD), cross-machine direction (CD), and flute type (Table 2).

4. Mechanical properties applied in FEA

The outer-packaging material of the target HCP is corrugated paperboard. Due to its complex structure, considerable time and effort are required for FEA. Thus, this study used equivalent mechanical properties and simplified models for each type of corrugated paperboard reported by Park *et al.*¹¹. Only the mechanical properties needed for the 2D model were

extracted from the equivalent properties of the 3D model in a previous study by Park *et al.*¹¹ and are listed in Table 3.

Similar to corrugated paperboard, applying rubber properties in FEA is challenging and significantly affects the results and processing time. This study used the properties of a hydrogenated nitrile butadiene rubber (HNBR) contact pad, determined using the Mooney–Rivlin model¹² from the stress-strain relationship of a uniaxial tensile test (Fig. 6).

Results and Discussion

1. Package slippage due to clamping pressure and shape of the rubber contact pad

Based on the analysis design in Table 1, the analysis model was expressed as a FE model. FEA was performed considering the load, boundary conditions, and representative load according to the actual handling conditions of the carton-clamp truck. For example, Fig. 7 shows the FEA results for the slippage of the HCP when the outer-packaging material was BB/F-DW, and the clamping pressure was 5 kPa.

When the outer-packaging material was BB/F-DW, the slippage and relative displacement between the clamp arm and the HCP gradually decreased with increasing clamping pressure. However, after 5 kPa, the variation was minimal. Notably, the rubber contact pad's shape had the smallest impact when it was quadrangular (Fig. 8).

The slippage of the HCP was largest with the orbicular-shaped rubber contact pad and smallest with the trapezoidal shape at the same clamping pressure (Fig. 9). The difference between the trapezoidal and quadrangular rubber contact pads was minimal compared to the orbicular shape. Therefore, the

Table 2. Friction coefficients according to various contact conditions¹⁰

Items	Contact conditions			
	RCP : AB/F-DW	RCP : BB/F-DW	RCP : A/F-SW	between CPs
Static-frictional coefficient	0.74 (±0.0198)	0.78 (±0.0082)	0.86 (±0.0129)	0.41 (±0.0383)
Dynamic-frictional coefficient	0.71 (±0.0198)	0.73 (±0.0129)	0.80 (±0.0129)	0.38 (±0.0249)

Note: Values in parentheses are standard deviation values.

RCP = rubber contact pad, CP = corrugated paperboard, AB/F-DW = double wall of AB flute, BB/F-DW = double wall of BB flute, A/F-SW = single wall of A flute

Table 3. Equivalent material properties for the target corrugated paperboards in Table 1¹¹⁾

Material properties		AB/F-DW	BB/F-DW	A/F-SW
Elastic modulus (MPa)	E_{x-MD}	260.32	345.50	298.37
	E_{y-CD}	116.60	151.35	106.24
	E_z	1.58	7.87	6.57
Shear modulus (MPa)	G_{xy}	58.02	81.25	58.83
	G_{yz}	7.41	10.50	5.26
	G_{zx}	3.95	6.70	2.65
Poisson's ratio (-)	ν_{xy}	0.173	0.177	0.189
	ν_{yz}	0.067	0.045	0.046
	ν_{zx}	0.006	0.026	0.027

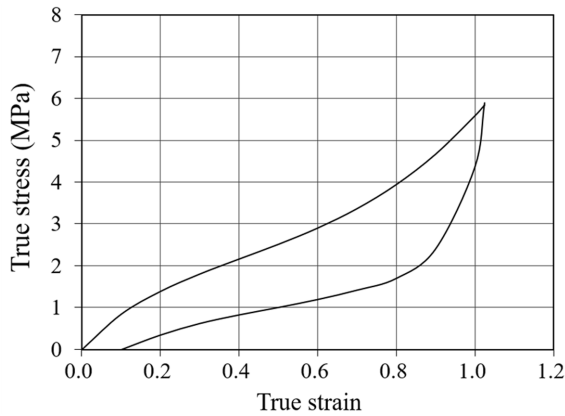
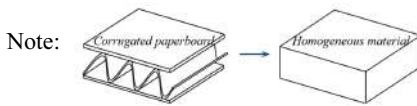


Fig. 6. True stress-strain (loading-unloading) curve of HNBR (soft) polymer at a strain-rate of $10^{-2}/s^{13}$.

trapezoidal shape was considered the most suitable for the carton-clamp truck arm in this study.

Fig. 10 shows the FEA results for the slippage of the HCP according to the type of outer-packaging material when the rubber contact pad was trapezoidal. The slippage of the HCP

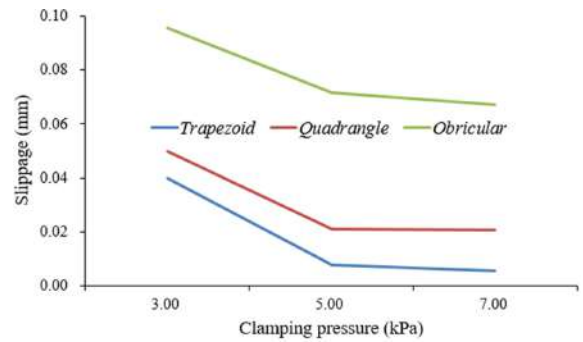


Fig. 8. Slippage of the HCP by clamping pressure: BB/F-DW.

was significantly smaller with DW corrugated paperboard compared to SW corrugated paperboard. The difference between AB/F and BB/F in the DW corrugated paperboard was negligible. The coefficient of friction between the rubber contact pad and the outer-packaging material was the largest in A/F, followed by BB/F and AB/F (Table 2). However, in Table 3, the slippage of HCP appeared to be the opposite, which is thought to be the difference in material properties for

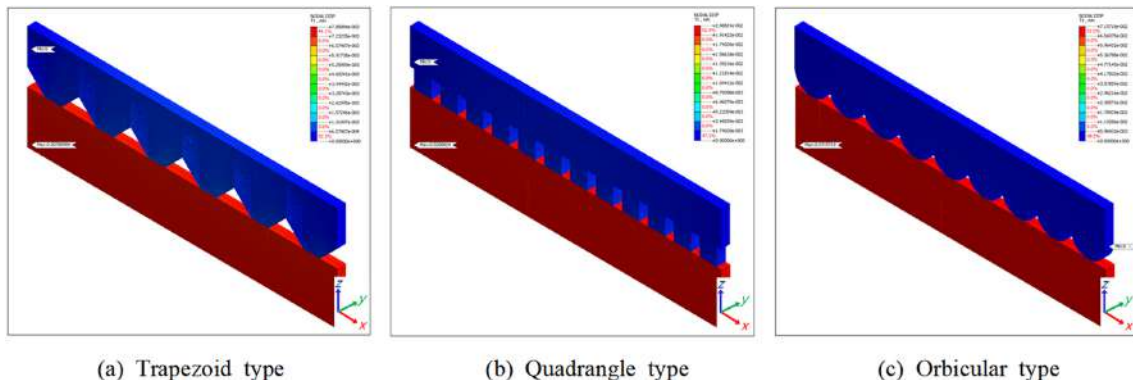


Fig. 7. Example of the FEA results for slippage of HCP by the shape of rubber contact pad: BB/F-DW, clamping pressure of 5 kPa.

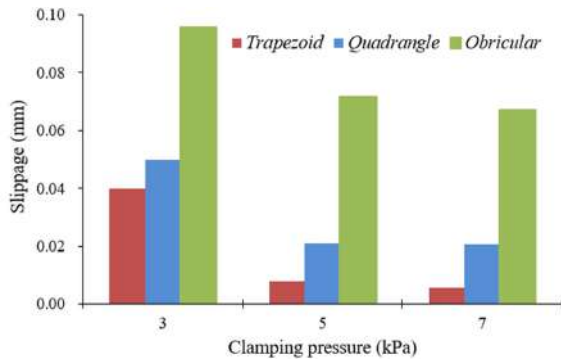


Fig. 9. Slippage of the HCP by the shape of rubber contact pad: BB/F-DW.

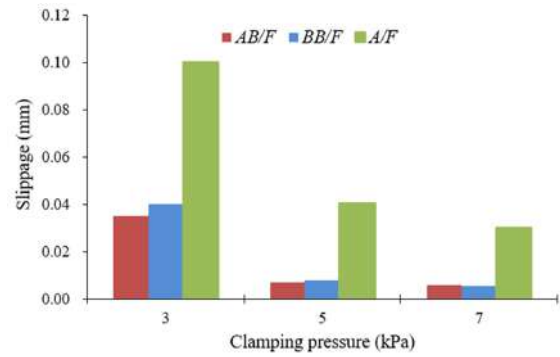


Fig. 10. Slippage of the HCP by the outer-packaging material of HCP: Trapezoid.

each type of corrugated paperboard applied during FEA.

The amount of HCP slippage under these conditions is best used for relative comparisons rather than as an absolute measure.

When the corrugated paperboard is used an outer-packaging material, as in this study, the corrugated paperboard exhibits nonlinearity due to its own physical characteristics, shapes, and contact conditions. This nonlinearity makes it more difficult to simplify and approximate FEA step that can reduce errors during FEA. The linerboards and corrugating medium paper comprising the corrugated paperboard have significantly different MD and CD properties, as well as thickness directions. Several theories assume other orthotropic properties, but their accuracy or appropriateness is difficult to determine. The compression test results of corrugated paperboard are also highly sensitive to the test method and environmental conditions.

Design variables and weights were applied to derive similar results using FEA and tests. More practical results can be obtained in the FEA of corrugated paperboard structures by repeatedly integrating the weights used in tests and FEA, based on diverse test results.

2. Comparison of test-based minimum clamping pressure and FEA results

Park *et al.*⁶⁾ proposed a minimum clamping pressure model for carton-clamp handling using one-time handling weight and the effective contact area between the clamp arm and the HCP as factors, similar to this study.

$$P \geq \left(\frac{1 + df}{\mu} \right) \left(\frac{W}{2A} \right) = \alpha \times \frac{W}{A}, \alpha = 0.0026 \quad (1)$$

Where P is the minimum clamping pressure (kPa), W is the one-time handling weight (N), df is the dynamic load factor expressed in G-force (a multiple of acceleration due to gravity, 9.81 m/s²), μ is the static-frictional coefficient between the outer-packaging material and the rubber contact pad of the carton-clamp truck arm, A is the effective contact area between the clamp arm and the HCP (m²), and α is the model constant.

Table 4 shows the constant value of the recalculated model by applying the friction coefficient according to the type of outer-packaging material in contact with the rubber contact pad of the carton-clamp truck arm. The previous 0.0026 value was calculated based on the friction coefficient between the outer-linerboard of the corrugated outer-packaging material and the trapezoidal rubber contact pad, without considering the type of the corrugated outer-packaging material.

The estimated minimum clamping pressure ranged from 5.06 to 5.96 kPa, using a one-time handling weight of 3.52 kN and a real contact area of 1.1858 m² between the clamp arm and the HCP, applied to the model in Equation (1) with the constant value shown in Table 4. As shown in Fig. 8, when the outer-packaging material was BB/F, the slippage of the HCP differed by approximately 12% from the 5 kPa boundary point, showing little change and relative similarity. Therefore, it is believed that the minimum clamping pressure can be

Table 4. Extension of the minimum clamping pressure model

Outer-packaging material	Model constant (-)		Calculated minimum clamping pressure (kPa) ¹⁾	
	Previous estimate	New estimate	Previous estimate	New estimate
AB/F-DW	0.0026	0.0020	7.74	5.96
BB/F-DW		0.0019		5.66
A/F-SW		0.0017		5.06

Note: one-time handling weigh = 3.52 kN, the effective contact area between the clamp arm and the HCP = 1.1858 m², rubber contact pad = trapezoidal shape

reasonably estimated through an FEA-based simulation of carton-clamp truck handling.

Conclusions

Carton-clamp trucks are designed to handle equipment without using pallets, offering strengths in cost and efficiency within factories and storage facilities. As palletless handling by carton-clamp trucks expands across various industries, the need for computer simulations to optimize clamping pressure, the most critical factor in carton-clamp truck handling, is growing. In this study, an analysis model, representing a portion of the entire model of the target heavy-weight corrugated package (HCP, $L \times W \times D = 1,003 \times 980 \times 1,880$ mm, weight = 1,760 N), was defined. The representative load acting on this model was calculated using existing research, and FEA was performed on the slippage of the HCP during carton-clamp truck handling. Based on the FEA simulation, key factors such as the shape of the rubber contact pad were analyzed, and the test-based minimum clamping pressure and FEA results were compared. The detailed research findings are summarized as follows:

- 1) As a result of the FEA, when the outer-packaging material of the HCP was BB/F-DW, the slippage of the HCP between both clamp arms of the carton-clamp truck decreased with increasing clamping pressure, with little change beyond 5 kPa. Among the three types of rubber contact pads, the slippage was smallest with the trapezoidal pad.
- 2) Additionally, with the trapezoidal rubber contact pad, the slippage of the HCP was more than 50% smaller in the DW corrugated paperboard compared to the SW corrugated paperboard, and this effect increased with higher pressure. The slippage of the HCP under these conditions is best used for relative comparison rather than as an absolute measure.
- 3) For the same conditions, the error between the minimum clamping pressure estimated by the improved model and the clamping pressure analyzed through FEA was approximately 12%. Therefore, if the physical properties applied to FEA are refined, the FEA-based simulation technique developed in this study can accurately estimate the minimum clamping pressure during carton-clamp truck handling.

Acknowledgements

This work was supported for two years by Pusan National University Research Grant.

References

1. Cascade Corporation. Bring palletless handling to your operation. Portland, USA. 2011.
2. Spencer, D.K. and Ebeling, C.W. 2011. Push/Pull & Slip-sheet Handling Manual. Global Solutions in Materials Handling, Cascade Corporation.
3. Wisconsin lift truck Corp. <http://www.wisconsinlift.com/product-type/carton-clamps/>.
4. Stewart, J. and Batt, G. 2005. Clamp truck simulation in the laboratory environment. Proceedings of Dimension, Orlando, Florida, USA.
5. Singh, J. et al. 2015. Carton clamp test methodologies and the effects on load containment and retention. *Packaging Technology and Science* 28(1): 15-30.
6. Park, J.M., Kim, J.S., Park, J.H., Horvath, L. and Kim, G.S. 2017. Numerical analysis of clamping pressure during carton clamp handling of heavyweight corrugated packages. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 10(5): 25-34.
7. Park, J.M., Choi, S.I., Park, J.H., and Chung, H.M. 2021. Vibration Measurement and Analysis in Carton Clamp Truck Handling. *International Journal of Industrial and Systems Engineering* 37(2): 241-264.
8. ASTM D 6055-2014: Standard test methods for mechanical handling of unitized loads and large shipping cases and crates.
9. ISTA 3B: Packaged-products for less-than-truckload LTL shipment.
10. Park, J.M., Choi, S.I., Kim, J.S., and Jung, H.M. 2019. Lab-based Simulation of Carton Clamp Truck Handling - Frictional Characteristics between Corrugated Packages. *Korean Journal of Packaging Science & Technology* 25(3): 131-137.
11. Park, J.M., Chang, S.W., and Jung, H.M. Numerical Prediction of Equivalent Mechanical Properties of Corrugated Paperboard by 3D Finite Element Analysis. *Appl. Sci.* 2020, 10, 7973.
12. MiDAS IT. Analysis Manual (2018R2); MIDAS IT: Seoul, Korea, 2018.
13. Khan, A.S., Baig, M., Hamid, S., and Zhang, H. 2010. Thermo-mechanical large deformation responses of Hydrogenated Nitrile Butadiene Rubber (HNBR): Experimental results. *International Journal of Solids and Structures* 47: 2653-2659.

PP/EVOH 구조의 다층 플라스틱 식품 용기 재활용에 따른 생물학적 안전성 및 화학적 용출 특성 연구

하성철 · 이창용*

공주대학교 환경공학과

Investigation of Biological Safety and Chemical Leaching Properties in the Recycling of PP/EVOH Multilayer Plastic Food Containers

Sung-Chul Ha and Chang-Yong Lee*

Department of Environmental Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea

Abstract This study investigates the increase in chemical leachates and the biological toxicity associated with repeated recycling of multilayer plastic food packaging composed of polypropylene (PP) and ethylene vinyl alcohol (EVOH). Based on the ISO 10993-5 cytotoxicity assay, a slight level of cytotoxicity was detected in the recycled samples, indicating a potential biological risk associated with the use of recycled materials. Chemical analyses using ICP, pH meter, balance, UV, UV/VIS spectrophotometer confirmed a cumulative increase in the total amount of leachates. Notably, the accumulation of heavy metals was identified in the recycled plastics, which was attributed to metal components originating from the shredding and reprocessing equipment used during recycling. SEM-EDX analysis further confirmed that the accumulated metals matched the elemental composition of the recycling equipment. These findings highlight the potential accumulation of heavy metals derived from processing machinery during the recycling of multilayer packaging and underscore the need for establishing safer and more controlled recycling systems.

Keywords PP(Polypropylene), EVOH(Ethylene Vinyl Alcohol), Food packaging, Biological, Recycle.

서 론

폴리프로필렌(polypropylene, PP)과 에틸렌비닐알코올(ethylene vinyl alcohol, EVOH)로 구성된 다층 구조는 국내에서 식품 용기, 특히 즉석밥 포장에 널리 사용되고 있다. 국내에서는 연간 약 5억 5천만 개 이상의 즉석밥 용기가 소비되며, 이로 인한 플라스틱 사용량은 약 5,000톤에 달한다. 즉석밥 용기 1개당 약 329 g의 이산화탄소(CO₂)가 배출되는 것으로 추정되며, 이는 연간 수십만 톤 규모의 CO₂ 배출로 이어진다. 이러한 환경적 영향을 완화하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으나, 현재 재활용량은 연간 약 60톤 수준으로 전체 사용량의 약 1%에 불과하여, 재활용물

향상을 위한 추가적인 노력이 요구된다¹⁾.

PP/EVOH 다층 구조의 식품 포장 용기는 서로 다른 물성을 가진 재료가 적층된 복합 소재로, 사용 후 재활용이 어려운 대표적인 사례이다. 이러한 복합 구조는 기존의 단일 소재 기반 재활용 공정에 적합하지 않기 때문에, 재활용 후 식품 포장용도로의 재사용에는 한계가 있다^{1,2,3)}. 기존 연구들은 주로 기계적 물성 향상을 위한 상용화제의 적용에 집중되어 왔다^{4,5)}. 그러나 PP/EVOH 식품 용기의 반복 재활용 과정에서 발생할 수 있는 금속 성분의 용출과 이에 따른 생물학적 안전성 문제에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다. 따라서 화학적·생물학적 측면을 포괄하는 종합적인 평가가 요구되며, 재활용 PP/EVOH 소재의 반복 열·압출 공정 중 발생 가능한 금속 용출 및 세포 수준의 독성 영향을 체계적으로 평가하여 식품 접촉재의 안전성 확보 기반을 마련하는 데 목적이 있다.

Fig. 1과 같이 PP/EVOH 식품 용기의 제조는 일반적으로 다층 시트를 압출 성형한 후, 열 성형(thermoforming)을

*Corresponding Author: Chang-Yong Lee
Department of Environmental Engineering, 1223-24 Cheonandaero,
Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam, 31080, Korea
Tel: +82-41-521-9421
E-mail: cylee@kongju.ac.kr

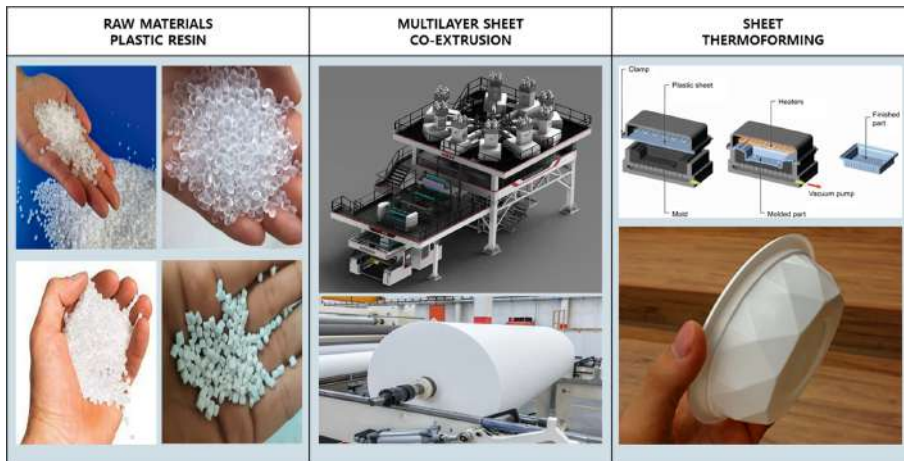


Fig. 1. Manufacturing process of food containers with PP/EVOH multilayer structure: raw material input, sheet extrusion, and container thermoforming sequence.

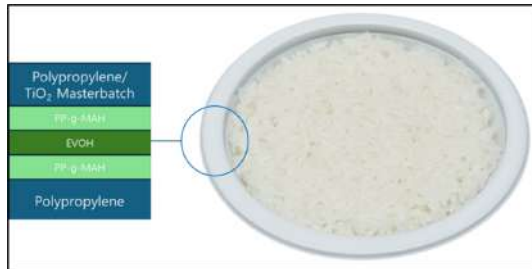


Fig. 2. The material composition of aseptic rice containers includes PP, EVOH for oxygen barrier, PP-g-MAH (polypropylene grafted maleic anhydride) as a bonding layer with EVOH and PP, TiO₂(white pigment compound) for opacity.

통해 3차원 구조의 용기로 성형하는 공정을 따른다^{6,7,8}). 열성형은 시트 형태의 소재를 열과 압력을 이용하여 복잡한 형상으로 성형하는 기술로, 특히 식품 및 의료 포장 산업에서 널리 사용된다. EVOH 층은 우수한 산소 차단 특성을 제공하며, PP 층은 기계적 강도 및 내구성 확보에 기여함으로써, 두 재료의 조합은 내용물의 장기 보존성과 포장재의 구조적 안정성을 동시에 만족시킨다. Fig. 2에서와 같이, PP는 외부 보호 및 수분 차단층으로서 용기의 외부 및 내용물 접촉면에 주로 적용되며, 가볍고 내화학성이 뛰어나며 가공성이 우수하다^{9,10,11}). 반면, EVOH는 산소 차단층으로서 포장 내용물의 산화를 방지하는 역할을 수행하지만, 수분에 민감하여 고습 환경에서는 차단 성능이 저하될 수 있으므로

PP와 같은 수분 차단 소재로 보호가 필수적이다^{12,13,14}).

또한, PP와 EVOH 간의 낮은 상용성을 극복하기 위해 말레산 무수물로 개질된 PP-g-MAH(polypropylene grafted with maleic anhydride)가 접착층으로 활용되며, 이는 층간 결합력을 향상시켜 구조적 안정성을 높이는 역할을 한다. 아울러 TiO₂ (titanium dioxide)는 자외선 차단을 위한 백색 착색제로 사용되며, 식품 내용물의 변질을 방지하는 데 기여한다^{15,16,17}).

재료 및 방법

1. 시편 제조

본 연구에 사용된 시편은 Table 1에 따라, PP/EVOH로 구성된 다층 구조의 시트로 공압출하여 제조하였다. 공압출에는 Sheet Extruder(Reifenhäuser, Worms, Germany)를 사용하였으며, 공압출 온도는 240°C로 설정하였다. 최종적으로 제작된 시트의 두께는 약 900 μm로 유지되었으며, 해당 시트는 이후 용기성형기기 (FLC, Miyoshi, ASANO Japan) 이용하여 240°C 열성형 공정을 통해 식품 용기로 성형하였다.

2. 재활용 공정

PP/EVOH 다층 식품 용기의 재활용 과정은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 다음과 같은 단계를 포함하였다. 원료 준비 (raw materials), 시트 압출(sheet extrusion), 열성형을 통한

Table 1. Composition and Thickness of Co-extruded PP/EVOH Sheet

	PP	PP-g-MAH	EVOH	PP-g-MAH	PP+TiO ₂ MB
Composition	44.4%	2.8%	5.6%	2.8%	40.4%+4.0%
Thickness of multilayer	400 μm	25 μm	50 μm	25 μm	400 μm
Temperature Co-extruder	240°C	240°C	240°C	240°C	240°C

Table 2. Summary of Cytotoxicity Test Method Based on ISO 10993-5:2009

Category	Details
Test Standard	ISO 10993-5:2009
Test Purpose	Evaluation of <i>in vitro</i> cytotoxicity for regenerated PP/EVOH food containers
Cell Line Used	Mouse-derived fibroblasts
Culture Medium	MEM (Minimal Essential Medium) with 10% Fetal Bovine Serum (FBS)
Extraction Conditions	37°C for 24 hours
Sample Surface Area	Diameter 35 mm wells (~10 cm ²); each well treated in triplicate
Cell Seeding Density	1 × 10 ⁵ cells/mL
Seeding Volume per Well	2 mL
Incubation Conditions (before treatment)	37 ± 1°C, 5 ± 1% CO ₂ for 24 hours to form confluent monolayers
Exposure Duration to Extracts	48 hours
Observation Method	Optical microscopy (100× magnification)
Assessment Criteria	- Morphological change - Presence of confluent monolayer (+/-) - Medium color change (pH)
Interpretation of pH Change	- Yellow: Acidification - Purple/Crimson: Alkalization
Enzymes for Cell Harvesting	Trypsin and EDTA
Evaluation Basis	Qualitative observation and inhibition of cell proliferation based on ISO 10993-5 grading

Table 3. Information on Specimens Used for Toxicity Evaluation

	Medium and vehicle	Serum	Negative control	Positive control
Category	1Xmem (Minimum essential medium) with 10% serum	Horse serum	High Density Polyethylene film	ZDEC (Zinc Diethyldithiocarbamate) Polyurethane film
Maker	Gibco, storage 2~8°C	Gibco, storage -15~20°C	-	-



Fig. 3. Image of the PP/EVOH food container recycling process.

식품용기 성형, 밥 조리(rice cooking), 재활용된 용기 분쇄 및 세척(grinding/cleaning), 펠렛화(pelletizing) 순서이며, 해당 재활용 순환 과정을 5회 반복 수행하였다.

3. 세포독성 시험(Cytotoxicity Test)

재활용된 PP/EVOH 식품 용기의 생물학적 안전성을 평가하기 위해, Table 2에 명시된 국제표준 ISO 10993-5:2009 “의료기기의 생물학적 평가 - 세포독성 시험” 기준에 따라 *in vitro* 세포독성 시험을 수행하였다^{18,19}. 이 시험은 시료로부터 얻은 시험물질이 세포에 미치는 독성 영향을 평가하기 위한 것으로, 의료기기 및 생체적합성 평가에 있어 핵심적인 초기 평가 방법이다. 고형 상태의 시편에서 용출 성분을 확보하기 위해, Table 3과 같이 10% FBS(Fetal bovine serum)가 첨가된 MEM(minimal essential medium)

Table 4. Treatment conditions for cytotoxicity testing (triplicate for each well)

Group	Description
Test Group	Extracts obtained from regenerated or non-regenerated samples
Reagent Control	Culture medium used during the extraction process (no sample exposure)
Negative Control	Extracts obtained from a known non-toxic material
Positive Control	Extracts obtained from a known toxic material
Group	Description

All conditions were applied in triplicate (n = 3) per well after the removal of the culture medium

Table 5. Tests Method of ISO 10993-5:2009

Steps	Test Method
1. Sample Preparation	Prepare the medical device or material to be tested. Depending on the test method, prepare an extract or apply direct contact.
2. Cell Culture Preparation	Culture appropriate cells (e.g., L929 fibroblasts). Ensure that cells are in optimal condition for testing.
3. Selection of Test Method	Direct Contact Method, Agar Diffusion Method, Extract Method.
4. Exposure and Incubation	Expose cells to the test sample or extract, Incubate for a specified period (typically 24–72 hours).
5. Cytotoxicity Assessment	Examine cell morphology and viability, Perform cytotoxicity assays (e.g., MTT assay, neutral red uptake, or fluorescence staining).
6. Data Analysis	Determine cell viability percentage (e.g., >70% indicates non-cytotoxic), Assign a cytotoxicity grade (Grade 0-4).
7. Reporting and Conclusion	Document test results and interpret cytotoxicity based on ISO 10993-5 guidelines.

Table 6. Grade of Cytotoxicity According to ISO 10993-5

Grade	Reactivity	Conditions of all cultures
0	None	No cell lysis, no reduction of cell growth
1	Slight	Not more than 20% of the cells are round, loosely attached and without intracytoplasmic granules, or show changes in morphology; occasional lysed cells are present; only slight growth inhibition observable.
2	Mild	Not more than 50% of the cells are round, devoid of intracytoplasmic granules; no extensive cell lysis; not more than 50% growth inhibition observable.
3	Moderate	Not more than 70% of the cell layers contain rounded cells or are lysed; cell layers not completely destroyed, but more than 50% growth inhibition observed.
4	Severe	Nearly complete or complete destruction of the cell layers

배지를 용출 용매로 사용하였다. 해당 배지는 인체 내 환경을 모사한 조건으로 설정되었으며, 시편과 $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 조건에서 접촉시켜 24시간 동안 접촉시켜 용출액을 제조하였다. 제조된 용출액은 세포 배양기에 적용되었으며, Table 7과 같이 재활용 이전 용기와 Table 8과 같이 5회 재활용한 용기의 세포독성을 비교 평가하는 데 사용되었다. 실험에 사용된 세포는 마우스 유래 섬유아세포로, 단층 배양된 세포를 수확하기 위해 트립신(trypsin)과 EDTA(ethylenediaminetetraacetic acid)를 처리하였다. EDTA는 칼슘(Ca^{2+}), 마그네슘(Mg^{2+})과 같은 이가 양이온을 킬레이트(chelate)하여 세포와 배양 표면 간의 부착을 약화시키며, 트립신은 단백질을 분해함으로써 세포를 효율적으로 분리하였다. 세포를 수확한 후 1 mL당 1×10^5 개의 세포 농도로 조정하고, 직경 35 mm (약 10 cm^2)의 6-well plate에 각 2 mL씩 분주하여 접종하였다. 이후 $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $5 \pm 1\%$ CO_2 조건에서 24시간 배양하여 균일한 단층이 형성된 well을 선택하였다. Table 4와 같이 배양액을 제거한 후 각 well에 시료를 3회 반복(triplicate) 처리하였으며, 각 well에는 2 mL씩 시료를 첨가한 후 동일한 조건에서 48시간 배양하였다. 배양이 완료 후 광학현미경($\times 100$ 배율)을 이용하여 세포의 형태 변화 및 용해 여부를 관찰하였다. 균일한 단층(confluent monolayer)의 존재 여부는(+), 비존재는(-)로 표기하였다. 또한, 음성대조군과 시험군 간의 배지 색상 변화를 비교하였으며, 배양액의 색 변화는 pH 변화를 간접적으로 반영하는 지표로 활용되었다. 배

지가 노란색으로 변할 경우, 이는 산성으로 간주하였으며, 반대로 심홍색 또는 보라색으로 변화할 경우 염기성으로 판단하였다.

Table 5와 Table 6와 같이 모든 세포 반응의 판독 및 등급 판정은 ISO 10993-5의 기준에 따라 수행되었으며, 정성적 관찰 결과 및 세포 증식 저해 정도를 통해 시험 물질의 세포 독성을 종합적으로 평가하였다.

4. 화학적 용출 분석

PP/EVOH 식품 용기의 재활용 반복에 따른 화학적 용출물 변화를 분석하기 위해, PerkinElmer, Avio200(Shelton, USA)의 ICP(inductively coupled plasma), Mettler Toledo, S220(Greifensee, Switzerland)의 pH meter, Mettler Toledo, XPR205(Greifensee, Switzerland)의 전자저울(balance), Agilent Technology, Cary100(Santa Clara, USA)의 자외선 분광광도계(UV spectrophotometer) 및 JASCO, V770 (Tokyo, Japan)의 자외선/가시광선 분광광도계(UV/VIS spectrophotometer)로 분석하였으며, Table 9 및 Table 10과 같이 용출 시험은 대한민국 약전의 규정에 따라 진행하였다.

5. SEM-EDX 분석

PP/EVOH 식품용기의 재활용 반복 시 누적되는 금속류의 성분을 분석하고자 Carl Zeiss AG, SIGMA VP-FESEM (Jena, Germany)을 이용한 SEM-EDX(scanning electron

microscope energy dispersive X-ray spectrometer) 분석을 진행하였으며, 분석 조건은 가속 전압 15 kV, 작업 거리 10 mm, 방출 전류 10 μ A 조건에서 실시되었으며, 분석 시간은 60초로 설정하였다. 분석은 전자빔 조사 부위에서 방출되는 특성 X-선을 기반으로 하여 시료 표면의 주요 원소 조성을 정성 및 정량적으로 확인하였으며, 재활용 과정에 사용되는 금속류의 성분이 재활용 반복 시에 누적되는지 확인하였다.

결과 및 고찰

1. 세포독성 시험

Table 7과 Table 8과 같이 세포독성 평가 결과 ISO 10993-5:2009 기준에 따라 수행된 *in vitro* 세포독성 시험 결과, Table 7와 같이 재활용되지 않은 PP/EVOH 식품용기에서 제조한 시험물질은 세포 단층 구조(confluent monolayer)를 온전히 유지하였으며, 세포 용해 및 형태 변

Table 7. Cytotoxicity Evaluation of PP/EVOH Food Packaging Materials Prior to Recyclin

Well	Confluent monolayer	% Growth inhibition	% Cells without intracellular granulation	% Rounding	% Lysis	Reactivity	Grade
Test(1)	(+)	0	0	0	0	None	0
Test(2)	(+)	0	0	0	0	None	0
Test(3)	(+)	0	0	0	0	None	0
Negative control(1)	(+)	0	0	0	0	None	0
Negative control(2)	(+)	0	0	0	0	None	0
Negative control(3)	(+)	0	0	0	0	None	0
Reagent control(1)	(+)	0	0	0	0	None	0
Reagent control(2)	(+)	0	0	0	0	None	0
Reagent control(3)	(+)	0	0	0	0	None	0
Positive control(1)	(-)	100	N/A	N/A	100	Severe	4
Positive control(2)	(-)	100	N/A	N/A	100	Severe	4
Positive control(3)	(-)	100	N/A	N/A	100	Severe	4

Table 8. Cytotoxicity Assessment of PP/EVOH Food Containers After 5 Recycling times

Well	Confluent monolayer	% Growth inhibition	% Cells without intracellular granulation	% Rounding	% Lysis	Reactivity	Grade
Test(1)	(+)	25	0	10	0	Mild	2
Test(2)	(+)	25	0	10	0	Mild	2
Test(3)	(+)	25	0	10	0	Mild	2
Negative control(1)	(+)	0	0	0	0	None	0
Negative control(2)	(+)	0	0	0	0	None	0
Negative control(3)	(+)	0	0	0	0	None	0
Reagent control(1)	(+)	0	0	0	0	None	0
Reagent control(2)	(+)	0	0	0	0	None	0
Reagent control(3)	(+)	0	0	0	0	None	0
Positive control(1)	(-)	100	N/A	N/A	100	Severe	4
Positive control(2)	(-)	100	N/A	N/A	100	Severe	4
Positive control(3)	(-)	100	N/A	N/A	100	Severe	4

Table 9. Extraction test conditions and methods based on Korean Pharmacopoeia

Sample Type and Thickness	Surface Area (both sides) or Mass	Volume of Extraction Solvent	Extraction Condition
≤ 0.5 mm (film type)	120 cm ²	20 mL	(37 \pm 1) °C for (72 \pm 2) h (50 \pm 2) °C for (72 \pm 2) h (70 \pm 2) °C for (24 \pm 2) h (121 \pm 2) °C for (1 \pm 0.1) h
> 0.5 mm (film type)	60 cm ²	20 mL	
Irregularly shaped solid	4.0 cm ²	20 mL	

Table 10. Extraction test methods based on Korean Pharmacopoeia

Test Item	Test Method
Foaming	Add 5 mL of the test solution to a cylinder (diameter: approx. 15 mm, length: approx. 200 mm), shake for 3 minutes, and measure the time until the foam disappears.
Transparency	Using standard and test solutions, measure the turbidity at 430 nm and 650 nm using a 10 mm path length cell.
pH	Add 1.0 g of potassium chloride to water and dilute to 1,000 mL. Mix 20 mL of the sample into this solution and measure the pH difference.
Oxidizable Substances	Add 0.002 mol/L potassium permanganate and 1 mL of a 20.0 mL sample into a conical flask. Heat for 3 min and cool. Add 0.01 mol/L sodium thiosulfate to titrate. Calculate the difference in consumption between the sample and the standard.
UV Absorbance	Measure the maximum absorbance in the range of 220–240 nm and 241–350 nm using UV-visible spectrophotometry, compared to the standard solution.
Water Absorption Spectrum	According to the UV-visible spectrophotometric method using standard solutions, measure the absorbance in the range of 220–350 nm.
Residue on Evaporation (20 mL)	Take 20 mL of the test solution, evaporate in a water bath, and dry the residue at 105 °C for 1 hour. Weigh the residue.
Heavy Metals	1. Prepare a standard solution by diluting 10 mL of standard solution to 100 mL with water (1 mL contains 0.01 mg of Pb). 2. Take 10 mL of the test solution, add 40 mL of water and 2 mL of acetic acid, and dilute to 50 mL. 3. Similarly, prepare a comparison solution using 2 mL of the standard solution. 4. Add 1 mL of hydrogen sulfide solution to both samples, mix, let stand for 5 minutes, and compare the color using white background paper.

화가 관찰되지 않아 세포독성이 없는 것으로 판단되었다. Table 8와 같이 동일한 조건에서 5회 재활용된 용기로부터 얻은 시험물질은 약 25%의 세포 증식 저해를 유도하였으며, 세포의 단층은 유지되었지만 세포 증식 과정에 경미한 형태 변화가 관찰되었다. 이는 재활용이 반복되면서 시험물질이 세포 배양 환경에 미약한 독성 반응을 유발했음을 의미하며, ISO 10993-5의 등급 기준에 따라 Grade 2(Mild

cytotoxicity)로 평가되었다. 시험군과 음성대조군, 용매대조군은 세포 형태 및 증식에 대한 영향을 거의 나타내지 않았으나, 성장 억제가 약 25% 수준으로 확인되었다. 세포 독성이 관찰된 시험군의 원인으로는 재활용 과정에서 발생 가능한 오염 요인이 지적된다. 식품 용기로 사용된 이후의 세척 단계에서 유입될 수 있는 미생물이나 잔류 세제, 재활용 파쇄기에서의 금속 오염, 펠렛화 공정 시 열화 또는 외

Table 11. Extraction Test Results After Multiple Uses of Recycled PP/EVOH Containers

	Evaluate Items	Unit	Prior to recycling	After 1 cycle of recycling	After 5 cycles of recycling
Extraction Test	Appearance	-	Passed	Passed	Milky
	Foam	min	3	3	3
	pH	-	0.17	0.22	0.84
	Potassium permanganate reducible substances (dioxides)	mL	0.05	0.19	0.55
	Ultraviolet-visible absorption spectrum	-	0.00	0.00	0.01
	Non-Volatile Residue	mL	0.50	0.55	0.55
	Residue on Ignition	mL	Passed	Passed	Passed
	Buffering Capacity	mg/L	0.00	0.00	0.00
	IC (Ammonium ion)	mg/L	0.08	0.11	0.50
	ICP (Copper)	mg/L	0.01	0.18	0.26
	ICP (Cadmium)	mg/L	0.00	0.01	0.37
	ICP (Chromium)	mg/L	0.01	0.26	0.89
	ICP (Lead)	mg/L	0.00	0.02	0.11
	ICP (Zinc)	mg/L	0.00	0.00	0.00
	ICP (Tin)	mg/L	0.00	0.00	0.01
ICP (Barium)	mg/L	0.00	0.00	0.00	

부물질 혼입 등이 잠재적인 원인으로 해석된다²⁰). 세포독성 평가 결과 재활용 이전 상태의 PP/EVOH 용출물은 세포에 미치는 영향은 미미하였으나, 재활용된 PP/EVOH 용출물에서의 세포 증식 과정에 억제 현상이 확인되었다. 5회 재활용 후 용출물은 약 25%의 세포 증식 저해를 유발하여, 재

활용 과정 중 화학적 변성이 일어난 물질들이 세포에 직접적인 영향을 미침을 확인하였다²²). 이와 같은 결과는 용출물이 세포에 미치는 영향은 경미하지만 여전히 생리학적 반응을 유발할 수 있음을 보여주며, 재활용 식품 포장 용기의 생물학적 안전성 평가에서 중요한 고려사항임을 시사한다.

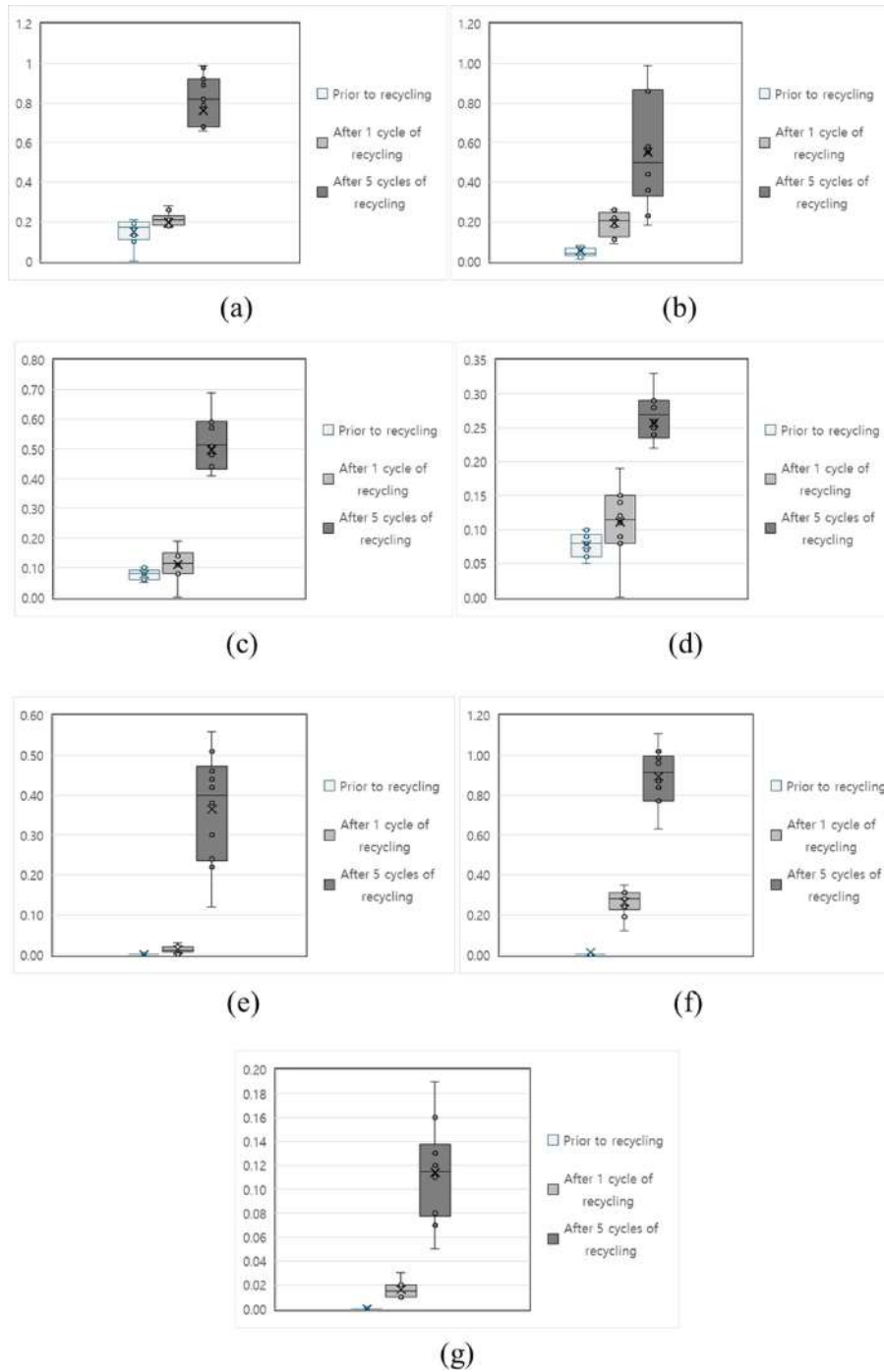


Fig. 4. Changes in (a) pH values, (b) potassium permanganate-reducible substances (unit: mL), (c) ammonium ion concentrations (unit: mg/L), (d) copper concentrations (unit: mg/L), (e) cadmium concentrations (unit: mg/L), (f) chromium concentrations (unit: mg/L), and (g) lead concentrations (unit: mg/L) before and after recycling. Y-axes represent the respective measured values.

2. 용출 분석

Table 11과 같이 용출물의 화학적·물리적 특성을 분석한 결과, 재활용 전 용출물의 외관은 투명한 특성을 유지하였으나, 5회 재활용 후에는 ‘탁함(Milky)’으로 확인되었으며, 고형물, 미세 불순물 또는 기타 환경적인 오염물질이 용출물에 포함되었음을 시사되며, 이는 재활용 과정 중에 재활

Table 12. SEM-EDX Analysis of Metal Contamination during PP/EVOH Recycling: (a) Metals Transferred to Containers and (b) Metal Species Detected in Recycling Equipment.

Element	Weight%	Atomic%	Element	Weight%	Atomic%
C K	22.06	38.84	C K	24.32	43.80
O K	32.40	42.82	O K	27.39	37.03
Al K	0.78	0.61	Al K	0.86	0.69
Si K	1.78	1.34	Si K	0.50	0.39
Cl K	0.48	0.29	S K	0.43	0.29
Ca K	0.41	0.22	Cl K	0.53	0.33
Mn K	0.25	0.10	Ca K	0.13	0.07
Fe K	40.92	15.49	Mn K	0.50	0.20
Zn K	0.92	0.30	Fe K	39.11	15.15
			Zn K	6.21	2.05
Totals	100.00		Totals	100.00	

용 플라스틱의 물리적 변화나 오염이 누적되었을 가능성이 있다. 거품 생성 시간은 1회 및 5회 재활용 후 모두 3분으로 일정하게 유지되어, 용출물의 표면활성도나 안정성에는 변화가 없음을 나타내었으며, Fig. 4와 같이 pH 변화 분석은 각 용출 시험을 10회 반복 수행하였으며, 재활용 전의 pH 평균값이 0.17이었으나, 5회 재활용 후 평균 0.84로 증가하였다. 이는 산성 용출물의 양이 증가했음을 의미하며, 재활용 플라스틱의 반복적인 열화 및 화학적인 분해물질이 생성되었을 가능성을 보여준다²¹⁾. Fig. 4와 같이 과망간산칼륨 환원성물질 분석 용출시험을 10회 진행하였으며, 재활용 전의 평균값이 0.05 mL이었으나, 5회 재활용 후 평균 0.55 mL로 증가하였다. 이는 재활용 과정 중 축적된 유기물 또는 열분해 부산물의 존재를 시사한다²²⁾. UV-VIS 흡광도 분석 결과는 5회 재활용 후 0.01로 소폭 증가하였으며, 이는 미량의 유기 화합물 또는 불순물이 용출물에 존재함을 간접적으로 확인할 수 있다. 비휘발성 잔류물 분석 결과는 재활용 전후 0.50 mL에서 0.55 mL로 변동이 없었으나, 중금속 증가에 영향 없이 중금속의 양이 전체 비휘발성

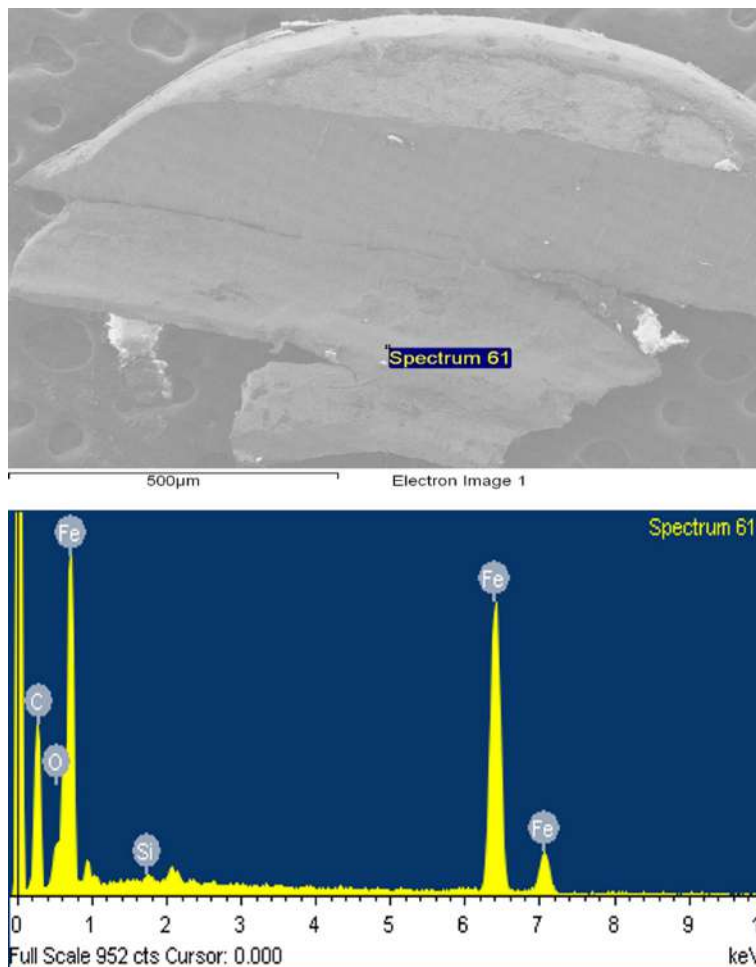


Fig. 5. SEM-EDX Analysis of Metals Transferred to Containers during PP/EVOH Recycling.

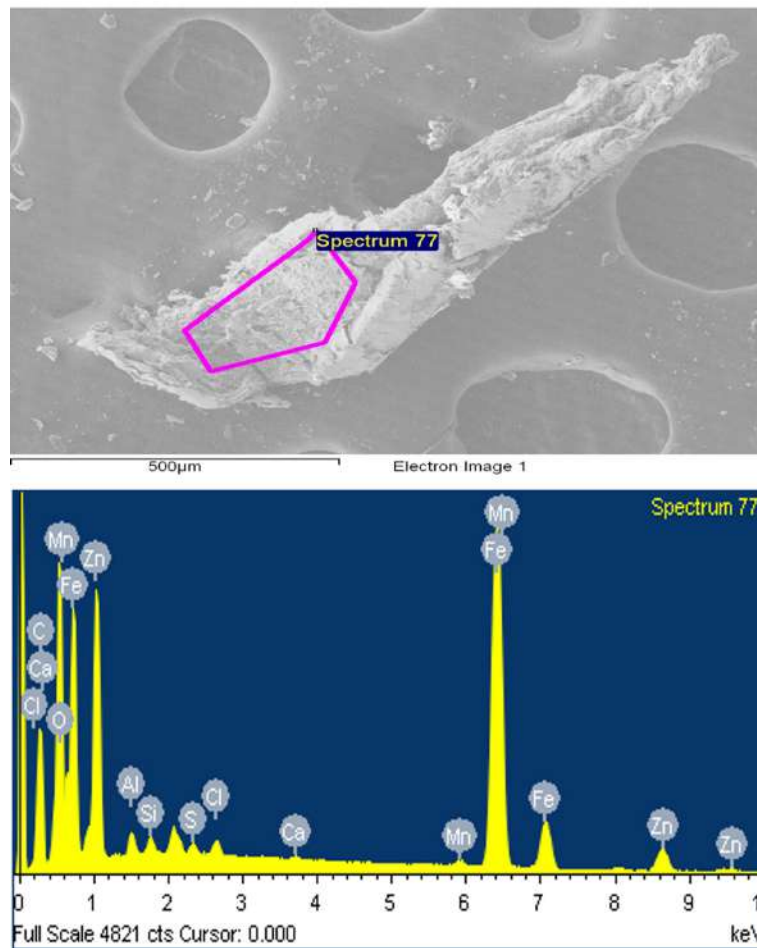


Fig. 6. SEM-EDX Analysis of Metal Species Used in PP/EVOH Recycling.

잔류물에서 차지하는 비율이 매우 작은 양임으로 해석이 된다. 강열잔분 결과는 열분해 후 잔여물 분석 결과는 재활용 전후 모두 변화가 없는 것으로 나타나, 열 안정성에는 문제가 없음을 시사한다. pH의 안전성 유지 정도를 보기 위한 Buffering Capacity 분석 결과는 모든 시료에서 0.00 mg/L로 확인되었다. 금속 이온 용출(ICP 분석) 분석 결과 재활용 횟수 증가에 따라 금속(Ammonium ion, Cu, Cd, Cr, Pb)의 농도가 상승하였다. 금속 이온 용출 분석은 10회 반복 수행하였으며, Fig. 4와 같이 암모늄이온은 0.08 mg/L에서 0.50 mg/L로 증가되었으며, 구리는 0.01 mg/L에서 0.26 mg/L로 증가되었으며, 카드뮴은 0.00 mg/L에서 0.37 mg/L로 증가되었으며, 크롬은 0.01 mg/L에서 0.89 mg/L로 증가되었으며, 납은 0.00 mg/L에서 0.11 mg/L로 증가되었으며, 이는 재활용 공정 과정에서 금속 물질과의 마찰과 마모로 인한 금속물질 오염이 발생했을 가능성을 시사한다²³⁾. 재활용 횟수 증가에 따라 용출물의 외관이 ‘탁함(milky)’ 현상을 보였으며, 이는 세척 및 분쇄 과정 중 발생한 미세 입자 및 불순물의 혼입에 기인한 것으로 판단된다. 거품 생성

시간과 비휘발성 잔류물은 큰 변화를 보이지 않았으나, ICP 분석 결과 구리, 카드뮴, 크롬, 납 농도가 유의하게 증가하는 경향을 확인하였다. 이는 재활용 공정 중 압출기 및 설비에서 기계적 오염이 발생한 결과로 추정된다. UV-VIS 흡광도 측정에서는 재활용 전후 미세한 변화가 관찰되어 소량의 유기 화합물 또는 불순물이 용출된 것으로 해석된다.

3. SEM-EDX 분석

Table 12(a) 및 Fig. 5는 재활용 설비에서 유래한 금속 성분을, Table 12(b) 및 Fig. 6은 재활용 5회 후 PP/EVOH 내 금속류 혼입 현황을 각각 비교한 결과, Mn, Fe, Al, Zn 성분이 검출되어 유사성을 확인하였다. 재활용 과정에 발생한 금속이물 시료에서 Zn 함량이 높았으며, 재활용설비 금속재질인 아연 도금강(galvanized steel)으로 코팅된 금속류에서 발생한 것으로 해석되며, 이는 재활용 설비 내 금속류가 재활용 과정에 금속류 이물이 유출되는 문제도 확인되었다. 이러한 변화는 재활용된 식품 포장 용기의 안전성에 잠재적인 위험 요소로 작용할 수 있다²⁴⁾.

요 약

본 연구에서는 PP/EVOH 다층 구조 식품 포장 용기를 재활용한 후 발생하는 용출물 특성과 생물학적 안전성을 종합적으로 평가하였다. PP/EVOH 식품 포장 용기 재활용 과정에서 발생하는 화학적 변화는 용출물 특성에 중요한 영향을 미치며, 재활용 후 식품 포장 용기의 안전성을 저해할 수 있는 잠재적 위험 요소로 작용할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 재활용 식품 포장 용기 안전성 평가를 위한 기초 자료를 제공하며, 향후 재활용 공정에서 화학적 안정성과 생물학적 안전성 확보를 위한 보다 엄격한 기준 마련에 필요성을 제언한다.

참고문헌

- Kang, H.W., 2024, Overcoming the limitations of complex materials in instant rice containers, *Daily Pharm.* Retrieved from <https://v.daum.net/v/fhbllr7A1e>
- Chun, Y.J., Ahn, T.K., 2006, A study of properties of recycled PP/EVOH/PP scrap by compatibilizers, *J. Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 11, 283-286. Retrieved from <https://www.koreascience.or.kr/article/CFKO200606950836411.page>
- Bauer, A.S., Tacker, M., Uysal, I.U., Cruz, R.M.S., Varzakas, T., Krauter, V., 2021, Recyclability and redesign challenges in multilayer flexible food packaging—A review, *Foods*, 10(11), 2702. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/11/2702#>
- Kim, D.H., Kim, J.S., 2016, The grafted polypropylene copolymer containing itaconic acid and the compatibilizer for its use in PP/EVOH blends, *KR Patent 1020160023987*.
- Chun, Y.J., Ahn, T.K., 2008, The thermal and mechanical properties of recycled PP/EVOH/PP scrap with compatibilizers, *J. Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 9(1), 176-181. Retrieved from <https://doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.1.176>
- Wang, L., 2019, Effect of regrind content on PP-EVOH sheets properties and effect of orientation on permeability of EVOH multilayer films, Master's thesis, Polytechnique Montreal Technological University. Retrieved from https://publications.polymtl.ca/4013/1/2019_LiliWang.pdf
- Gimenez, E., Lagaron, J.M., Cabedo, L., Gavara, R., Saura, J., 2004, Study of the thermoformability of ethylene-vinyl alcohol copolymer based barrier blends of interest in food packaging applications, *J. Appl. Polym. Sci.*, 91, 3851-3855. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/229868738_Study_of_the_thermoformability_of_ethylene-vinyl_alcohol_copolymer_based_barrier_blends_of_interest_in_food_packaging_applications
- DESU Plastic, (n.d.), High barrier PE/EVOH/PP plastic sheet for thermoforming, DESU Plastic. Retrieved from <https://desuplastic.com/study/high-barrier-pe-evoh-pp-plastic-sheet-for-thermoforming/>
- Maddah, H., 2016, Polypropylene as a promising plastic: A review, *J. Chem. Eng. Process Technol.*, 7(3), 2163-1352. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/290439450_Polypropylene_as_a_Promising_Plastic_A_Review
- Uyor, U.O., Popoola, P.A., Popoola, O.M., Aigbodion, V.S., 2023, A review of recent advances on the properties of polypropylene - carbon nanotubes composites, *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 36(9), 3737-3770. Retrieved from doi:10.1177/08927057221077868
- Wikipedia contributors, 2025, Polypropylene, *Wikipedia: The Free Encyclopedia*. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>
- Mokwena, K., 2010, Barrier properties of ethylene vinyl alcohol films, Doctoral dissertation, Washington State University. Retrieved from https://www.dissertations.wsu.edu/Dissertations/Spring2010/k_mokwena_050310.pdf
- Matsui, Y., 2004, Study on orientable EVOH, *TAPPI Journal*, 3(10), 29-35. Retrieved from <https://www.tappi.org/content/enewsletters/eplace/2004/10-3matsui.pdf>
- Dalgicdir, C., 2015, Investigation of barrier properties of as cast and oriented EVOH films, Master's thesis, Sabancı University. Retrieved from <https://research.sabanciuniv.edu/16333/1/CahitDalgicdir.PDF>
- Detogni, G., 2012, Tie layers development for Triple Bubble® technology, Master's thesis, Politecnico di Milano. Retrieved from https://www.politesi.polimi.it/retrieve/a81cb05d-7922-616b-e053-1605fe0a889a/Detogni_thesis.pdf
- Lee, S.H., 2015, The microstructure of polypropylene blends with ethylene vinyl alcohol copolymer, Doctoral dissertation, McGill University. Retrieved from <https://escholarship.mcgill.ca/downloads/wp988m10n.PDF>
- Mokwena, K., 2010, Barrier properties of ethylene vinyl alcohol films, Doctoral dissertation, Washington State University. Retrieved from https://www.dissertations.wsu.edu/Dissertations/Spring2010/k_mokwena_050310.pdf
- Ksenia, J.G., Jane, M., 2016, In vitro toxicity testing of food contact materials: State of the art and future challenges, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 15(3), 444-462. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12280>
- ISO, 2009, ISO 10993-5:2009, Biological evaluation of medical devices — Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity, International Organization for Standardization.
- Cecon, V.S., Da Silva, P.F., Curtzwiler, G.W., Vorst, K.L., 2021, The challenges in recycling post-consumer polyolefins for food contact applications: A review, *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105422. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105422>
- Jo, D.K., Kim, H.G., 2012, Crushed waste plastic washing device and washing water recycling methods, *KR Patent KR101199832B1*.
- Food Packaging Forum, 2025, Plastic recycling: Hazardous chemicals and strategies to tackle them, *Food Packaging Forum*. Retrieved from <https://foodpackagingforum.org/news/plastic-recycling-hazardous-chemicals-and-strategies-to-tackle-them>
- Abdullah, N., Aziz, H.A., Yusuf, N.N.A.N., Umar, M., Amr,

S.S.A., 2014, Potential of KMnO₄ and H₂O₂ in treating semi-aerobic landfill leachate, Appl. Water Sci., 4, 303–309. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0146-6>

24. Bunting Magnetics, 2025, Removing Metal in Plastic Waste – Magnetic Separators and Metal Detection, Bunting Magnetics

Blog. Retrieved from <https://buntingmagnetics.com/industry-blog/removing-metal-in-plastic-waste-magnetic-separators-and-metal-detection/>

투고: 2025.06.16 / 심사완료: 2025.07.08 / 게재확정: 2025.07.14

배전정도와 분쇄유무에 따른 커피의 CO₂ 발생 특성

정수연¹ · 김규리¹ · 유하경² · 안덕순^{1*}

¹경남대학교 제약공학과

²소프트팩 주식회사

CO₂ Production from Coffee Influenced by Roasting Degree and Grinding

Soo Yeon Jung¹, Gyu Ri Kim¹, Ha Kyoung Yu², and Duck Soon An^{1*}

¹Department of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University, 7 Kyungnamdaehak-ro, Masanhappo-gu, Changwon, 51767 South Korea

²Softpack Co., Ltd, 420-18 Opo-ro, Gwangju, Gyeonggi-do, 12774 South Korea

Abstract While carbon dioxide produced from roasted coffee products may cause problems of package swelling, it plays beneficial role in preserving and providing the desired aroma. Thus, the information of their CO₂ production is required to design the packages suppressing the package volume and enhancing aroma retention. CO₂ production from roasted coffee products (whole bean or ground) at different roasting degrees was characterized at 25°C. Higher degree of roasting led to the decreased moisture content and titratable acidity of the initial product aligning with the increasing pH and darker color. The CO₂ solubility in the product increased with roasting degree probably because higher porosity was obtained at severer roasting. The CO₂ production profile analyzed by Weibull function showed that higher degree of roasting resulted in faster and higher CO₂ production. The powder products were much faster in the rate of CO₂ production compared to the beans (14-20 times). These results provide fundamental information that can be applied to the design of coffee packaging systems tailored to the roast level and particle form (whole bean or ground). The data information from this study would be useful for designing the roasted coffee package to create and keep the optimal package shape and atmosphere favorable for product quality preservation.

Keywords Whole bean coffee, Ground coffee, CO₂ solubility, Weibull function, CO₂ release

서 론

커피 생두(green bean)는 커피나무의 열매인 커피콩(coffee bean)을 이용하여 여러 단계의 가공 공정을 통해 제조된다. 제조된 커피 생두는 배전(roasting)공정을 통해 원두로 가공되어 분쇄 및 추출 후 여러 용도의 커피 음료로 활용된다. 배전공정을 통해 물리화학적 변화(주로 Maillard 반응, Strecker 분해반응, 자동산화 등)가 일어나고 향미(휘발성 향미 물질)를 결정짓는 여러 성분들이 형성되면서 다량의 CO₂(휘발성 비향미 물질)가 생성되는데, 생성된 CO₂

는 전체 가스의 80% 이상을 차지한다¹⁾. 생성되는 CO₂양은 커피 1g당 최대 10 mL(STP, Standard Temperature and Pressure)까지 생성될 수 있는데²⁻⁴⁾, 이러한 양은 배전조건에 따라 달라진다. 배전온도가 높고, 분쇄가 많이 될수록 커피 원두의 손상 정도가 높아 향기 성분과 CO₂가 빠르게 방출되어 커피의 신선도 유지와 향미 보존에 좋지 못한 영향을 준다. 이렇게 많은 양으로 생성된 CO₂는 포장내에 머물러서 포장의 팽창이나 압력 증가를 일으킬 수도 있고, 포장내부 기체조성을 변하게 하여 커피의 품질에 영향을 주게 된다.

커피의 휘발성 성분은 800여 종의 화합물이 확인되었으며⁵⁾, thiols류의 화합물이 커피의 감각적 향미에 큰 영향을 준다. 커피의 신선한 향미에 영향을 주는 thiols 화합물인 휘발성 향기 물질들은 생두의 원산지와 품종, 생두의 가공과 배전조건 등에 따라 여러 성분들이 복합적으로 작용하

*Corresponding Author: Duck Soon An
Department of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University,
7 Kyungnamdaehak-ro, Changwon 51767, South Korea
Tel: +82-55-249-2360
E-mail: ads2004@kyungnam.ac.kr

고 미량으로 커피의 향미에 영향을 주기 때문에 커피의 신선도 품질 지표로써 정량적으로 확인하는데 어려움이 있다. 또한, 대부분 불안정한 휘발성 물질로써 쉽게 산화되고 손실되어 정확한 농도변화를 측정하는데 한계가 있다. 분쇄 커피에 대해 가스크로마토그래프 분석법을 활용하여 시간에 따른 휘발성 물질의 면적 감소 정도를 측정하고, 이를 이차 저장수명 결정의 지표로 사용한 연구 결과가 있다⁶⁾. 이에 반해 향미가 없는 휘발 성분인 CO₂는 단일 물질로써 CO₂의 방출 정도에 따라 커피의 품질을 확인하는 지표로 간단하게 활용될 수 있다. 배전과정에서 생성된 CO₂의 상당 부분이 소실되지만, 일정량은 원두 내부에 남아있다가 천천히 확산되어 나온다. 배전과정 중에 생성된 CO₂는 서서히 방출되어 포장된 커피의 포장 내부에 채워져서 원두로부터 산소의 접촉을 차단하여 커피의 산화 정도를 느리게 한다. 포장 내부에 CO₂가 채워지면서 포장 부피 팽창 및 파손의 원인이 되므로 이를 방지하기 위해 CO₂를 일부 탈기한 후 포장하기도 하는데, 이때 산소와의 접촉을 최소화할 필요가 있다. CO₂는 수분과 지방성분에 높은 용해 특성을 가지고 있어서 배전과정에서 생성된 CO₂는 커피 원두로 녹아 들어갈 수도 있다. 따라서 배전조건에 따라 생성된 CO₂가 커피에 용해되는 정도는 배전도와 분쇄여부 및 커피 조직의 파괴 정도에 따라 차이가 있을 수 있다. 이러한 여러 조건에서 달라지는 커피의 CO₂ 발생정도는 커피 포장을 선택하는 중요한 고려요소이다.

본 연구에서는 배전정도(강배전, 중배전, 약배전)와 분쇄여부(커피 원두, 분쇄 커피)에 따른 CO₂ 발생량 및 방출속도를 정량적으로 평가하고, 향후 커피 포장 설계에 사용될 수 있는 형태로 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 원두 bean은 과테말라산 아라비카 종(*coffea arabica*) 원두에 대해 로스팅기(PROBATino, Probat, Germany)를 사용하여 배전정도에 따라 강배전, 중배전, 약배전으로 구분하여 실험 당일 볶아서 사용되었다. 생두 1 kg을 168°C로 예열된 로스터기에 투입하여 로스팅 하였으며, 강배전을 193°C 12분 시점, 중배전을 184°C 10분 30초 시점, 약배전을 182°C 9분 30초 시점에 배출하여 실

온으로 냉각시킨 후 CO₂ 발생량과 CO₂ 용해도 측정 실험에 사용하였다(Table 1). 미국스페셜티커피협회(SCAA, Specialty Coffee Association of America)에서는 배전된 원두에 대해 agtron number를 기준으로 8단계로 구분하고 있다. 본 연구에서는 배전정도에 따라 간단하게 강, 중, 약배전으로 구분하였으며, 강배전의 경우 agtron number를 기준으로 본다면 moderately dark로 확인되었다.

2. 초기 커피 품질 특성

배전정도에 따른 커피의 초기 품질특성으로서 수분함량(%), pH, 총산 함량(%), 표면색도에 대해 측정하였다. 수분함량은 식품공전에 제시된 상압가열건조법으로 측정되었다. pH와 총산 함량은 분쇄된 커피 5g에 95°C 물 45 mL로 추출한 후 원심분리(5,000 g, 10분)를 통해 커피 액만 취해서 Orion Model 920 A plus pH meter(Orion Research Inc., Boston, USA)로 pH를 측정하고, 0.1 N NaOH로 pH 8.1이 될 때까지 적정한 후 구연산 기준으로 총산 함량(%)을 계산하였다⁷⁾. 표면색도는 분쇄된 커피 시료를 측정 용기에 담고 색차계(Model JC 801, Colour Techno System Corporation, Tokyo, Japan)를 사용하여 측정되었다.

3. CO₂ 용해도와 CO₂ 발생량 측정

커피의 CO₂ 발생량은 커피의 분쇄유무와 배전정도에 따라 구분하여 측정되었다. 기본적으로 커피 시료를 담은 밀폐 유리병(밀폐병)에서 증가되는 CO₂ 농도를 측정하여, 그 때에 밀폐병의 헤드스페이스에 기체상태로 존재하는 CO₂ 양을 얻고, 이와 평형조건으로 시료에 용해된 CO₂를 더하여 총 CO₂ 발생량으로 얻었다. CO₂ 용해도와 CO₂ 발생량 측정 실험에 사용된 시료의 처리조건은 Table 1에 제시하였다. 강배전, 중배전, 약배전으로 구분하여 측정 조건별로 해당되는 일정한 양의 커피를 950 mL 밀폐병에 넣고, 실리콘 주입구가 달린 금속 뚜껑으로 밀봉하였다. 커피가 들어있는 밀폐병을 25°C에 저장하면서 헤드스페이스내 기체 시료 1 mL를 실린지로 취하여 가스크로마토그래피(Model 3800, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA)에 주입함으로써 시간에 따른 CO₂ 농도 변화를 분석하였다. 기체크로마토그래피는 Alltech CTR 1 column(Alltech Associates Inc., Deerfield, IL, USA)과 TCD(thermal conductivity detector)가 장착되어 있으며, 운반기체(carrier gas)인 헬륨(He)을

Table 1. Conditions of the samples used in the experiment for measuring CO₂ solubility and CO₂ production

Roast degree	Temperature(°C)	Time (min)	Measuring conditions	
			CO ₂ solubility	CO ₂ production
Dark	193	12.0	Ground coffee 100 g in 950 mL glass jar	Whole bean coffee 100 g and ground coffee 50 g, each in 950 mL glass jar
Medium	184	10.5		
Light	182	9.5		

30 mL/min의 유량으로 흐르게 하였고, 오븐(oven) 온도 50°C, 주입부(injection) 온도 80°C, 검출부(detector) 온도 120°C를 조건으로 분석하였다. 측정된 헤드스페이스의 CO₂ 농도 변화로부터 이상기체상태방정식에 따라 헤드스페이스에 존재하는 CO₂ 량을 구하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 커피로부터 발생한 CO₂는 950 mL 밀폐병의 헤드스페이스에 채워지고, 커피 bean의 내부 조직에도 녹아 있다. 따라서 커피에 녹아 있는 CO₂ 양은 Henry's 법칙으로 결정하고자 하였고⁸⁾, 이를 밀폐계 실험을 통하여 측정하였다. 즉, 배전도에 따라 분쇄된 커피 100 g을 950 mL 밀폐병에 넣고 진공펌프에 의해 진공이 유지되는 조건으로 30°C에서 4~5일 동안 방치시켜 CO₂를 완전히 탈기 시켰다. 이후 뚜껑에 장착된 실리콘 시료 채취구를 통해 밀폐병 내부로 200 mL의 CO₂를 주입한 후 평형상태에 이를 때까지 기다린 다음 헤드스페이스 내 시료 1 mL를 채취하여 가스크로마토그래프로 CO₂ 농도를 분석하였다. 헤드스페이스 내의 CO₂ 농도와 분압(P_{CO_2} , atm)을 얻고 200 mL CO₂ 중에서 커피로 녹아들어난 CO₂ 양(m_{CO_2} , mg)은 물질수지식 관계를 통해 계산할 수 있으며⁹⁾, 이들의 관계로 Henry의 상수(H_{CO_2})는 다음 (1)식으로 얻어질 수 있다.

$$H_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{P_{CO_2} W} \quad (1)$$

여기서 m_{CO_2} 는 커피에 용해된 CO₂량(mg), P_{CO_2} 는 밀폐병 내의 CO₂ 분압(atm), W 는 커피 무게(g)이다.

일정한 양의 커피(커피 원두 100 g, 분쇄 커피 50 g)를 각각 담고 저장된 밀폐병에서의 CO₂ 농도로부터 해당 시점에서의 발생된 CO₂의 양은 헤드스페이스에 존재하는 CO₂와 커피에 녹아 있는 CO₂의 합으로써 다음 (2)식으로 얻어질 수 있다.

$$CO_2 produced = C_{CO_2} V_h + H_{CO_2} P_{CO_2} W \quad (2)$$

여기서 C_{CO_2} 는 밀폐병 헤드스페이스의 CO₂ 농도(mg/mL), V_h 는 밀폐병의 헤드스페이스 부피(mL), W 는 제품 무게(g), P_{CO_2} 는 이상기체상태방정식에 의해 C_{CO_2} 로부터 계산된 CO₂의 분압(atm), H_{CO_2} 는 Henry의 상수(mg g⁻¹ atm⁻¹)이다.

저장 시간별로 커피의 CO₂ 발생량을 식 (2)를 사용하여

얻은 다음, 그 함수적인 관계를 정량적으로 분석하기 위하여 Smrke 등²⁾이 제시한 Weibull 함수를 활용하였다.

$$M_t = M_{\infty} \{1 - \exp(-(t/\lambda)^k)\} \quad (3)$$

여기서 t 는 시간(h), M_t 는 CO₂ 발생량(mg/g), M_{∞} 는 최대 CO₂ 발생량(mg/g), λ 는 scale인자(h)로써 약 63%의 CO₂가 발생하는 시점이고, k 는 형태인자이다.

특정 시점, t 에서의 CO₂ 발생속도(R_{CO_2})는 식(3)의 미분에 의하여 식(4)로 표현될 수 있다.

$$R_{CO_2} = \frac{dM_t}{dt} = \frac{M_{\infty} k \cdot \exp(-(t/\lambda)^k) \cdot (t/\lambda)^{k-1}}{\lambda} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)를 활용하여 시간에 따른 커피의 CO₂ 발생 유형과 속도에 대하여 정량적으로 파악할 수 있다.

결과 및 고찰

1. 초기 커피 품질 특성

볶은 커피의 초기 품질을 배전정도에 따라 구분하여 Table 2에 제시하였다. 볶은 커피의 수분함량은 약배전 2.3%, 중배전 1.8%, 강배전 1.5% 순으로 배전온도가 높고 배전시간이 길어질수록 낮아졌다. 생 원두의 수분함량이 약 10~12%로 보고되어 있으며³⁾, 로스팅기에서 볶는 과정을 통해 수분함량은 낮아지게 된다. Shimoni 등⁴⁾은 아라비카 종에 대해 볶은 커피의 수분함량은 0.56~2.42%의 범위이고, 배전온도가 높고 배전시간이 길어질수록 커피의 수분함량이 낮아지는 것으로 보고하여 본 연구의 실험결과와 일치하였다. pH는 커피의 품종과 원산지, 생 원두의 배전정도에 따라 커피의 관능적 특성에 영향을 주는데^{10,11)}, 생 원두는 배전이 진행될수록 신맛이 감소하고 커피의 향미 물질이 증가한다. 로스팅 과정 중에 일어나는 생두의 물리화학적 변화는 Maillard 반응, Strecker 분해반응, 열분해 반응, caramelization 반응이 있다. 주로 Maillard 반응과 caramelization 반응을 통해 커피의 좋은 향기 성분을 생성하면서 구연산이나 사과산등의 신맛이 감소하는 것으로 설명되고 있다^{12,13)}. 약배전에 비해 강배전에서 pH가 높고 총산 함량이 낮아짐으로 신맛보다는 상대적으로 커피의 다양한 맛이 증가될 것이다. 표면색도의 경우 밝기 정도를 나타내는 L

Table 2. Initial quality of roasted coffee by the roast conditions

Roast degree	Moisture content(%)	pH	Total acidity(%)	Surface color		
				L	a	b
Dark	1.5 ± 0.1	5.70 ± 0.04	0.51 ± 0.01	23.4 ± 0.3	1.7 ± 0.4	12.7 ± 0.4
Medium	1.8 ± 0.1	5.47 ± 0.02	0.60 ± 0.00	26.8 ± 0.3	2.5 ± 0.2	17.3 ± 0.6
Light	2.3 ± 0.1	5.37 ± 0.02	0.66 ± 0.01	31.0 ± 0.2	3.3 ± 0.2	20.1 ± 0.3



Fig. 1. Color difference of roasted coffee by the roast conditions.

값이 강배전 커피에서 낮게 측정되었으며, 배전온도가 높고 배전시간이 길어질수록 커피의 색이 어두워지는 것을 확인할 수 있다(Fig. 1).

2. 배전 커피에서의 CO₂ 용해도와 CO₂ 발생량

배전정도에 따른 커피 내 CO₂의 용해도는 Fig. 2에 제시되어 있다. H_{CO_2} 의 경우 강배전 커피는 $4.38 \pm 0.13 \text{ mg g}^{-1} \text{ atm}^{-1}$, 중배전은 $3.82 \pm 0.65 \text{ mg g}^{-1} \text{ atm}^{-1}$, 약배전은 $3.47 \pm 0.49 \text{ mg g}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ 의 값을 나타냈다. 이는 배전온도가 높을수록 원두의 부피와 기공이 증가하고, 세포벽 내 더 큰 미세기공이 형성되어 높은 CO₂용해를 보이는 것으로 해석된다¹⁴⁾. 즉, 구조적 변화로서 강배전 일수록 커피 내부 조직이 다공성화 되고 미세기공이 커서 상대적으로 CO₂가 조금 더 용해되는 것으로 추측된다. Shimoni과 Labuza⁴⁾는 Langmuir isotherm 모델을 활용하여 볶은 분쇄 커피에 대해 CO₂ 흡수의 거동을 설명하였는데, 비록 배전조건의 차이는 있지만 0.5 atm 기준으로 강배전(1.37 mg g^{-1}), 중배전(1.18 mg g^{-1}), 약배전(0.89 mg g^{-1})으로 진행될수록 CO₂ 흡착량이 감소하는 경향을 보였다. 본 연구의 H_{CO_2} 를 적용하여도 유사한 경향을 보였는데, 0.5 atm에서 강배전은 2.19 mg g^{-1} , 중배전은

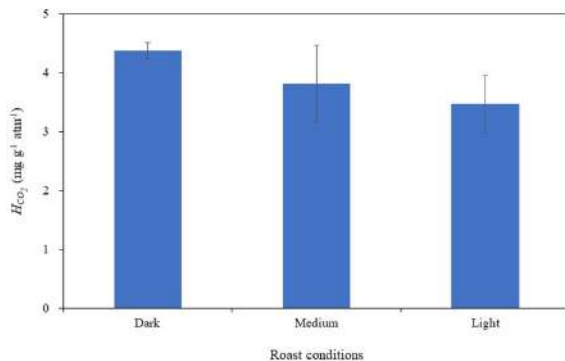


Fig. 2. H_{CO_2} (CO₂ solubility) of roasted coffee depending on the roasting conditions. Vertical bars are standard deviations.

1.91 mg g^{-1} , 약배전은 1.74 mg g^{-1} 으로 확인되었고, 비록 본 연구의 용해도가 높지만 배전의 영향에서는 동일한 경향을 보여주었다. 이러한 결과는 커피 내 CO₂의 용해가 수분 함량이나 지방 오일의 존재뿐만 아니라, 배전과정에서 형성된 내부 조직의 다공성과 미세기공 구조에 의한 물리적 흡착 또는 용해 현상에 의해서도 설명될 수 있다. Anderson¹⁵⁾은 배전된 커피에서 CO₂ 이동에 대해 Knudsen 확산, 압력 구동 점성 흐름, 전이영역 확산, 표면 확산, 그리고 다양한 성분으로부터의 탈착 현상이 복합적으로 작용하는 것으로 설명하였다.

커피 원두(Fig. 3(A))와 분쇄 커피(Fig. 3(B))에 대해 배

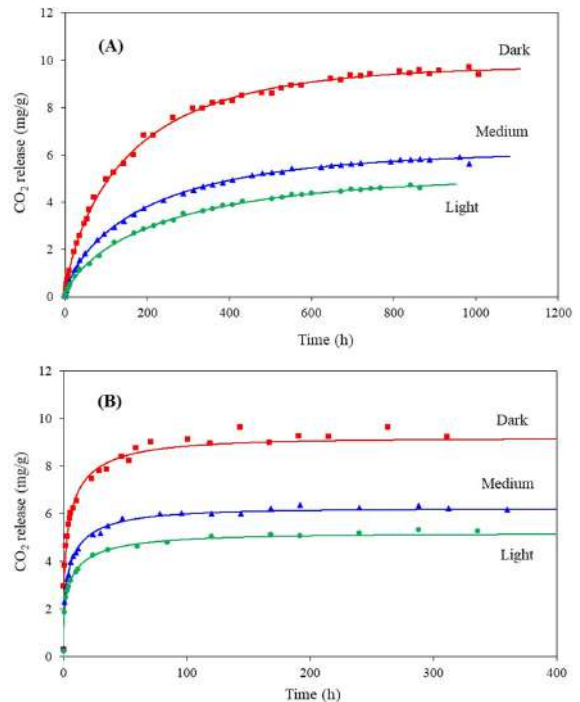


Fig. 3. CO₂ production profiles from roasted whole bean coffee (A) and ground coffee (B). ■: Dark; ▲: Medium; ●: Light.

Table 3. CO₂ production from whole bean coffee and ground coffee described by Weibull function

Condition	Roast degree	Weibull parameter			CO ₂ production rate	
		M_{∞} (mg/g)	k	λ (h)	$R_{CO_2, \lambda/2}$ (mg/g/h)	$R_{CO_2, \lambda}$ (mg/g/h)
Whole bean coffee	Dark	9.77	0.755	165.7	0.032	0.016
	Medium	6.15	0.736	208.3	0.016	0.008
	Light	5.08	0.752	246.5	0.011	0.006
Ground coffee	Dark	9.17	0.408	5.12	0.667	0.269
	Medium	6.21	0.436	6.02	0.403	0.165
	Light	5.17	0.407	6.32	0.304	0.122

전정도에 따라 커피에서 방출되는 CO₂ 양이 평형에 이를 때까지 CO₂ 발생량을 측정하였다. 커피 원두는 약 1,000시간, 분쇄 커피는 약 350시간 측정을 통해 약배전, 중배전, 강배전의 순서로 최대 CO₂ 발생량이 증가하는 것으로 확인되었다. Weibull 함수인 식 (3)을 활용하여 묘사된 Fig. 3의 데이터를 분석하면 Table 3에 제시된 바와 같이 커피 원두와 분쇄 커피의 Weibull 함수 parameter를 구할 수 있다. 커피 원두에서 최대 CO₂ 발생량인 M_{∞} 값은 약배전 5.08 mg g⁻¹, 중배전 6.15 mg g⁻¹, 강배전 9.77 mg g⁻¹이다. 분쇄 커피에서 M_{∞} 값은 약배전 5.17 mg g⁻¹, 중배전 6.21 mg g⁻¹, 강배전 9.17 mg g⁻¹이었다. 커피 원두와 분쇄 커피에서 로스팅이 진행될수록 CO₂ 발생량이 높아지는 것으로 확인되었다. 반면에 분쇄가 최대 발생량에는 그다지 큰 영향을 주지는 않는 것으로 보인다. 이는 본 실험에서 분쇄 직후에 밀폐병에 바로 담아서 전 과정의 CO₂ 발생을 추적한 것으로도 이해된다. 볶은 커피를 담은 밀폐 용기 내에서 CO₂ 농도 증가를 적외선 흡수 분광법으로 측정된 Wang과 Lim¹⁶⁾은 230°C 18분(강배전) 볶은 커피 원두에서 약 15.6 mg g⁻¹, 230°C 8분(중배전) 볶은 커피 원두에서 약 11.5 mg g⁻¹, 230°C 4분(약배전) 볶은 커피 원두에서 약 6.3 mg g⁻¹의 CO₂가 방출되었다고 보고하였다. Smrke 등²⁾은 시간에 따른 커피 시료의 무게 변화를 기반으로 한 직접 중량법을 통해 CO₂를 포함한 방출 전체 가스의 질량을 측정하고, Weibull 분포 모델을 활용하여 설명한 바 있는데, 커피 원두에서 최대 CO₂ 발생량인 M_{∞} 값은 약배전 3.67 mg g⁻¹, 중배전 7.34 mg g⁻¹, 강배전 12.67 mg g⁻¹이었다. 배전온도와 배전시간의 조건이 달라서 본 연구와 직접적인 비교는 어려울 수 있으나, 전체적으로 비슷한 경향을 보였으며 방출되는 CO₂ 양은 생원두의 원산지와 종류 및 배전조건 그리고, 측정방법에 따라 달라질 수 있는 것으로 이해된다.

커피 원두와 분쇄 커피에 대해 전체 발생량 중에서 63% 발생되는 시점인 λ 은 Table 3에서 확인된다. 커피 원두에서 λ 는 강배전 165.7 시간, 중배전 208.3 시간, 약배전 246.5 시간으로 배전이 약할수록 CO₂ 발생 시간이 지연되고 있다. 분쇄 커피에서 λ 는 강배전 5.12시간, 중배전 6.02 시간, 약배전 6.32 시간으로 커피 원두와 달리 분쇄 작업으로 다

량의 CO₂가 일시적으로 한꺼번에 방출되어 배전정도에 따른 발생 시간의 차이가 거의 없었다. 형태인자 k 에서는 배전정도에 따른 차이는 거의 없었고, 분쇄 제품에서 그 값이 현저히 감소하였다.

Table 3에 제시된 Weibull 함수 parameter를 식 (2)에 대입하면 시간에 따른 발생 속도를 계산할 수 있다. 커피 원두의 경우 63% 발생 시점인 λ 에서 강배전은 0.016 mg g⁻¹ h⁻¹, 중배전은 0.008 mg g⁻¹ h⁻¹, 약배전은 0.006 mg g⁻¹ h⁻¹의 발생 속도이고, 분쇄 커피의 경우 63% 발생 시점인 λ 에서 강배전은 0.269 mg g⁻¹ h⁻¹, 중배전은 0.165 mg g⁻¹ h⁻¹, 약배전은 0.122 mg g⁻¹ h⁻¹의 발생 속도로 확인되었다. 강배전으로 갈수록 발생 속도가 빨랐으며, 커피 원두에 비해 분쇄 커피에서 발생 속도가 약 14~20배 높았다. 이는 분쇄 공정으로 단단한 원두의 조직이 파괴되어 CO₂ 방출 속도를 촉진시킨 결과이다. Wang과 Lim¹⁶⁾은 배전된 원두를 굵은 입자에서 고운 입자로 분쇄할수록 입자 표면적이 증가하여 CO₂의 26%에서 59%가 손실되었다고 보고하였다.

위에서 측정하고 정립한 볶은 커피 제품의 CO₂ 발생 특성의 정보는 제품 가공 조건에 따라서 달라지는 포장내의 기체조성, 부피, 압력의 변화를 예측하는 데에 활용될 수 있을 것이다. 포장의 완전성을 유지하면서 커피의 산화를 지연시키고 커피의 관능적 품질 유지에 도움을 줄 수 있는 기체조성을 형성할 수 있는 최적 포장 설계를 위한 기본 데이터로 활용될 수 있을 것이다. 이는 유통 과정에서의 품질 유지 및 신선도 관리를 위한 커피 저장 및 패키징 기술을 개발하는 데 기여할 것으로 기대된다.

요 약

커피의 배전정도에 따라 초기 품질 특성, CO₂ 용해도, CO₂ 발생량 및 발생 속도를 분석하였다. 생두에서 배전이 진행될수록 커피의 수분함량은 감소하였으며, pH는 증가하고 총산 함량은 감소하였다. 색도의 경우 배전시간과 온도가 높을수록 커피의 색은 어두워져서 밝기 정도를 표현하는 L 값이 낮았다. 25°C에서 CO₂ 용해도는 강배전 커피에서 가장 높았으며, CO₂ 발생량 분석에서는 분쇄유무에

상관없이 강배전에서 발생량이 많았다. 커피 원두에서 배전도가 낮을수록 CO₂가 천천히 발생하였지만, 분쇄커피에서는 배전도에 상관없이 CO₂ 발생이 빠르게 진행되었다. 이는 분쇄로 인해 다량의 CO₂가 일시적으로 배출됨에 따른 현상이었다. CO₂ 방출 속도는 강배전일수록 빠르고, 커피 원두에 비해 분쇄 커피에서 약 14~20배 높은 발생 속도를 보였다. 이러한 연구 결과는 커피의 배전도 및 분쇄 유무에 따라서 달라지는 최적 커피 포장 설계에 적용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(해당사업명: 고부가가치식품개발사업)의 지원을 받아 연구되었음(No.322019-3).

참고문헌

- Geiger, R., Perren, R., Kuenzli, R., & Escher, F. 2005. Carbon dioxide evolution and moisture evaporation during roasting of coffee beans. *J. Food Sci.*, 70, 124-130.
- Smrke, S., Wellinger, M., Suzuki, T., Balsiger, F., Opitz, S.E.W., & Yeretzian, C. 2018. Time-resolved gravimetric method to assess degassing of roasted coffee. *J. Agric. Food Chem.*, 66, 5293-5300.
- Illy, A., & Viani, R. 1995. Espresso coffee: The science of quality. San Diego, CA: Academic Press. Inc.
- Shimoni, E., & Labuza, T.P. 2000. Degassing kinetics and sorption equilibrium of carbon dioxide in fresh roasted and ground coffee. *J. Food Process Eng.*, 23, 419-436.
- Dulsat-Serra, N., Quintanilla-Casas, B., & Vichi, S. 2016. Volatile thiols in coffee: A review on their formation, degradation, assessment and influence on coffee sensory quality. *Food Res. Int.*, 89(2), 982-988.
- Anese, M., Manzocco, L., & Nicoli, M. C. 2006. Modeling the secondary shelf life of ground roasted coffee. *J. Agric. Food Chem.*, 54(15), 5571-5576. <https://doi:10.1021/jf060204k>
- So, Y.J., Lee, M.W., Yoo, K.M., Kang, H.J., & Hwang, I.K. 2014. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of dutch coffee depending on different extraction conditions and storage. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 46(6), 671-676.
- Jaisan, C., An, D. S., & Lee, D. S. 2019. Modeling volume change for active flexible package of CO₂-producing kimchi. *Food Packag. Shelf Life*, 20, 100303. <https://doi:10.1016/j.fpsl.2019.100303>
- Wang, H. J., An, D. S., & Lee, D. S. 2017. A model to tune modified atmosphere conditions of powdered infant formula packaging. *J. Food Process Eng.*, 40, e12380. <https://doi:10.1111/jfpe.12380>
- Hu, G, Peng, X., Gao, Y., Huang, Y., Li, X., Su, H., & Qiu, M. 2020. Effect of roasting degree of coffee beans on sensory evaluation: Research from the perspective of major chemical ingredients. *Food Chem.*, 331(30), <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127329>
- Elmaci, L., Gok, L., Tokusoglu, O., & Tokusoglu, O. 2022. Impact of roasting degree on sensory profile of Turkish coffee and espresso assessed by Turkish and Brazilian panelists. *J. Food Process Eng.*, 46, <https://doi.org/10.1111/jfpp.17201>
- Vignoli, J. A., Viegas, M. C., Bassoli, D. G., & de Toledo Benassi, M. 2014. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. *Food Res. Int.*, 61, 279-285.
- Król, K., Gantner, M., Tatarak, A., & Hallmann, E. 2019. The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *Eur. Food Res. Technol.*, 246, 33-39. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03388-9>
- Schenker, S., Handschin, S., Frey, B., Perren, R., & Escher, F. 2000. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. *J. Food Sci.*, 65, 452-457.
- Anderson, B.A., Shimoni, E., Liardon, R., & Labuza, T. P. 2003. The diffusion kinetics of carbon dioxide in fresh roasted and ground coffee. *J. Food Eng.*, 59, 71-78.
- Wang, X., & Lim, L.-T. 2014. Effect of roasting conditions on carbon dioxide degassing behavior in coffee. *Food Res. Int.*, 61, 144-151.

투고: 2025.06.18 / 심사완료: 2025.06.30 / 게재확정: 2025.07.17

Recent Advances in TEMPO-oxidized Cellulose Nanofibers and Regenerated Cellulose Films from Food by-product Biomass: Mechanisms, Properties, and Applications

Jihyeon Hwang¹, Dowan Kim^{1,2,3*}

¹Department of Food Processing & Distribution, College of Life Science, Gangneung-Wonju National University, 25457, Republic of Korea

²Department of Marine Bio Food Science, College of Life Science, Gangneung-Wonju National University

³Haeram Institute of Bakery Science, Gangneung-Wonju National University

Abstract The environmental impact of petroleum-based plastics packaging continues to grow, increasing attention has been directed toward the development of sustainable materials derived from renewable biomass. Cellulose-based biomass from agricultural residues and food processing by-products has emerged as a promising alternative due to its abundance, renewability, and biodegradability. To enhance the processability and applicability of cellulose derived from such sources, recent studies have focused on chemical modification techniques such as 2,2,6,6-tetramethylpiperidinyloxy (TEMPO)-mediated oxidation, as well as the use of advanced solvent systems including ionic liquids for the production of regenerated cellulose (RC) films. This review explores the fundamental principles and mechanisms of TEMPO-mediated oxidation and highlights the characteristics and potential applications of TEMPO-oxidized cellulose nanofibers (TOCNFs) derived from various biomass sources. In addition, it discusses the fabrication and performance of TOCNF composite films, major cellulose solvent systems and their dissolution mechanisms, and the properties and applicability of RC films.

Keywords Cellulose-based biomass, Food by-products, TEMPO-mediated oxidation, Regenerated cellulose film, DMAc/LiCl solvent system, Sustainable packaging

1. Introduction

Cellulose-based biomass, including cellulose or lignocellulose derived from agricultural, marine, and food processing wastes, is considered one of the most promising alternatives to non-renewable resources due to the environmental benefits such as biodegradability and sustainability¹⁻⁵. However, cellulose-based biomass exhibits robust inter- and intra-molecular H-bonding due to chain stereoregularity and high density of the hydroxyl groups (-OH). As a result, they are insoluble in common organic solvents, which limits their applicability in various fields⁶⁻⁸. To overcome this limitation and improve the processability and applicability, appropriate mechanical and chemical modifications are necessary for converting cellulose-based biomass into nanomaterials⁶⁻⁸. Cellulose-based nanomaterials have aroused significant attention in the fabrication of packaging materials and other applications, due to their

large surface area, high aspect ratio, excellent mechanical properties, biodegradability, and low coefficient of thermal expansion⁹⁻¹¹. Mechanical treatments such as homogenization, grinding, blending, and ultrasonication have been successfully applied to produce these nanomaterials. However, such methods often require massive energy inputs, multiple processing steps, and involve high production costs¹¹⁻¹³. To address these issues, pretreatment with chemicals such as acid hydrolysis, alkaline-acid treatment, and oxidation has been employed to reduce energy consumption^{11,12}. Among them, acid hydrolysis with strong acids (e.g., HCl) is the most widely used technique. However, it presents several drawbacks, including equipment corrosion, wastewater treatment challenges, and environmental concerns¹³.

To address these limitations, 2,2,6,6-tetramethylpiperidinyloxy (TEMPO)-mediated oxidation has attracted recent significant interest as an alternative chemical modification method for cellulose-based biomass^{1,7,10-12}. Owing to the abundance of active -OH groups on its chains, cellulose is highly suitable for chemical modification. TEMPO-mediated oxidation selectively converts the primary -OH groups to carboxylate groups (-COO⁻), thereby allowing for the controlled

*Corresponding Author: Dowan Kim
Department of Marine Bio Food Science, College of Life Science,
Gangneung-Wonju National University, 25457, Republic of Korea
Tel: +82-33-640-2337
E-mail: dowankim@gwnu.ac.kr

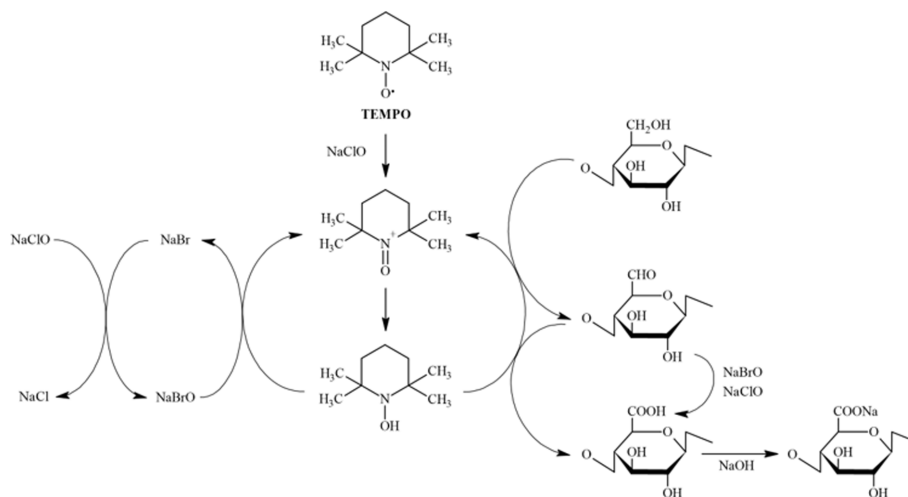


Fig. 1. Mechanism of TEMPO-mediated oxidation of cellulose^{12,16-18}.

spread of surface charge density and selective disintegration of cellulose fibers from plant cell walls. It not only reduces the energy required during mechanical treatment markedly but also enables the efficient production of cellulose-based nanomaterials. Furthermore, it can enhance the hydrophilicity of cellulose, allowing easy dissolution in solvent systems such as aqueous or ionic liquids^{1,7,10-12}.

Despite the increasing hydrophilicity through TEMPO-mediated oxidation, cellulose-based biomass cannot readily dissolve in water or polar organic solvents due to strong H-bonding and crystalline structure. Therefore, several specialized solvent systems, including *N,N*-dimethylacetamide (DMAc)/lithium chloride (LiCl), dimethyl sulfoxide (DMSO)/tetrabutylammonium fluoride, *N*-methylmorpholine-*N*-oxide (NMMO), and sodium hydroxide (NaOH)/urea have been employed to overcome this limitation^{6-8,14}. These have enabled the processing of cellulose into regenerated cellulose (RC) films, which are obtained through a two-step process comprising its dissolution and subsequent regeneration by physical and chemical interactions^{3,5,6,14,15}.

Accordingly, this paper provides an overview of the recent advances achieved in the processing of cellulose-based biomass aimed at enhancing their processability and applicability. Particular emphasis is placed on TEMPO-mediated oxidation and the use of ionic solvents for the fabrication of RC films. First, we outline the principles and mechanisms underlying TEMPO-mediated oxidation. Second, we summarize recent studies addressing the application of TEMPO-oxidized cellulose in the packaging material industry. Third, we outline key solvent systems for cellulose and their respective dissolution mechanisms. Finally, we review the preparation methods and physicochemical properties of RC-based films, highlighting their potential in the field of fabricating sustainable packaging materials.

2. TEMPO-mediated oxidation

2.1. TEMPO-mediated oxidation mechanism

TEMPO is a commercially available, stable, water-soluble nitroxyl radical^{11,16}. Moreover, compared to methods involving chemical modification of the -OH groups within cellulose chains, such as periodate oxidation or carboxymethylation using strong acids or harmful chemicals, TEMPO is a relatively safer with lower environmental impacts and toxicity^{13,17}. Under mild reaction conditions, TEMPO-mediated oxidation can efficiently and selectively oxidize the C6-primary -OH groups of the cellulose chain to C6 sodium carboxylate groups (-COONa) without the need for high temperature and pressure^{1,7,16-18}.

The efficiency and selectivity of TEMPO-mediated oxidation strongly depend on the reaction conditions and the system employed. The TEMPO/sodium bromide (NaBr)/sodium hypochlorite (NaClO) oxidation system in water at pH 10-11 and room temperature is most commonly used^{16,18}. In this system, TEMPO and NaBr are co-catalysts, while NaClO is the primary oxidizing agent, which is consumed during the reaction^{16,18}. NaClO oxidizes the TEMPO to its active radical TEMPO⁺ and NaBr to NaBrO. NaBrO further reacts with TEMPO to produce (⁺N=O), which serves as an additional oxidizing agent. The nitronium ion facilitates the stepwise oxidation of C6 hydroxymethyl groups (-CH₂OH): first to aldehyde groups (-CHO), subsequently to a -COONa groups, as illustrated in Fig. 1^{12,16-18}.

2.2. Effect of TEMPO-mediated oxidation on the physicochemical and morphological properties of the cellulose extracted from diverse sources

TEMPO-mediated oxidation alters the chemical and morphological structure of cellulose, significantly influencing its

physicochemical properties. To assess the feasibility of Spent coffee grounds (SCGs) as an alternative to natural resources like wood, Kanai et al.¹⁾ employed a TEMPO/NaBr/NaClO system to prepare TEMPO-oxidized cellulose nanofibers (TOCNFs) from SCGs. Ground and dried SCGs were stirred in n-hexane to remove the major lipid, triacylglycerol. The pretreated SCGs were stirred in distilled water (DI water) containing TEMPO and NaBr. Oxidation was initiated by adding NaClO, and the mixture was stirred continuously for 3 h. The pH was maintained at 10-10.5 with either 0.5 M NaOH or 1 M HCl. The point at which the pH was stable for 10 min was considered the end-point, and the reaction was terminated by adding ethanol. The TEMPO-oxidized cellulose was vacuum-filtered, washed repeatedly with DI water, and then collected by freeze-drying. In this study, the properties of SCGs-derived TOCNFs were compared with those of the microcrystalline cellulose (MCC) derived from wooden materials. ¹³C solid-state Nuclear Magnetic Resonance (¹³C NMR) analysis confirmed the conversion of the -OH groups on the surface of the SCGs microfibrils to carboxyl groups (-COOH) via TEMPO-mediated oxidation. XRD analysis indicated that SCGs-derived TOCNFs exhibited a lower crystalline structure compared to wood-derived MCC. This effect was attributed to the presence of residual hemicellulose, lignins, and triacylglycerols in the SCGs, which likely hinder the fibrillation process. Thermogravimetric analysis (TGA) revealed that SCGs-derived TOCNFs began to decompose at a markedly lower temperature (100°C) compared to MCC (280°C). Furthermore, differential thermogravimetry (DTG) revealed that TOCNFs underwent thermal degradation in two distinct stages. The first step observed at 251°C is attributed to the decomposition of thermally unstable sodium hydro-glucuronate units introduced during the oxidation process. The second step, observed at 267°C, is associated with the decomposition of unaltered cellulose chains. In contrast, MCC exhibited a single prominent degradation peak at 344°C. This variation might be due to the presence of anhydroglucuronate units in TOCNFs reduces the thermal stability of crystalline cellulose domains, leading to an earlier onset of decomposition. Khoshk & Moeenfar¹⁹⁾ prepared TEMPO-oxidized cellulose from SCGs with varying particle sizes, and their physicochemical properties were evaluated. Roasted *Robusta* coffee beans were powdered using a household grinder and sieved into three distinct size ranges: 850-1400, 500-850, and 355-500 µm. The powder was continuously stirred in DI water, followed by filtration and oven-drying to obtain the SCGs. The dried SCGs were defatted utilizing n-hexane in a Soxhlet apparatus, dispersed in 2 mol/L NaOH, and stirred at 90°C for 1 h. The solid residues were filtered, washed, and bleached with a 3% NaClO solution (v/v) at 90°C for 2 h. The bleached SCGs were suspended in DI water containing TEMPO and NaBr. TEMPO-mediated oxidation was initiated by adding NaClO at

pH 10-10.5, and the reaction was terminated by adding absolute ethanol after the pH stabilized after 3 h of oxidation. The resulting TEMPO-oxidized cellulose was recovered by centrifugation and thoroughly washed, followed by dialysis in DI water at 4°C for 2 days. A 1.5% (w/v) TEMPO-oxidized cellulose suspension was then homogenized by ultrasonication using a disperser. The final TEMPO-oxidized cellulose product was freeze-dried and subsequently analyzed. Fourier transform infrared (FTIR) analysis confirmed that the TEMPO-oxidized cellulose exhibited a distinct C=O absorption peak that was absent in the original SCGs, indicating the formation of -COONa groups through oxidation. Morphological analysis employing scanning electron microscope (SEM) images revealed that the TEMPO-oxidized cellulose prepared from SCGs with particle sizes of 850-1400 µm formed a network-like structure composed of cellulose bundles. In contrast, TEMPO-oxidized cellulose derived from SCGs with particle sizes of 500-850 and 355-500 µm exhibited aggregated cellulose with irregularly shaped, short, and wide fibers. XRD showed that all TEMPO-oxidized cellulose exhibited a crystalline diffraction pattern characteristic of cellulose I. Among them, the TEMPO-oxidized cellulose derived from the 850-1400 µm SCGs fraction exhibited the highest crystallinity (49.9%), which was inversely proportional to the SCGs particle size. This trend may be attributed to a disruption of the crystalline regions within cellulose caused by TEMPO-mediated oxidation and mechanical disintegration. TGA results indicated a reduction in the thermal stability of TEMPO-oxidized cellulose with declining SCGs particle size. The TEMPO-oxidized cellulose prepared from SCGs with a particle size of 850-1400 µm demonstrated the maximal thermal stability, likely due to its greater crystallinity and longer fiber structure. Conversely, TEMPO-oxidized cellulose samples obtained from smaller-sized SCGs particles (500-850 and 355-500 µm) exhibited lower thermal stability, which may be associated with a reduction in the major crystalline domains and a relatively lower content of -COONa groups. Soni et al.¹¹⁾ synthesized four types of cellulose nanofibers (CNFs) from cotton stalks using various chemical treatments such as H₂SO₄ hydrolysis and TEMPO-mediated oxidation, followed by ultrasonication. First, the ground cotton stalks were extracted with ethanol in a Soxhlet apparatus to remove the wax, and then dried. To extract pure cellulose, alkaline-acid pretreatment was used. The cotton stalks were soaked in a 15 wt% NaOH solution and then hydrolyzed with 1.0 M HCl at 80°C to dissolve the hemicelluloses. The fibers were then retreated with a 2.0 wt% NaOH solution and added with an acidified NaClO₂ solution at 75°C until the fibers turned completely white. These fully bleached fibers were then filtered and washed. CNFs were prepared from the pretreated cotton stalks by treating them with various chemicals. The H₂SO₄-neutralized CNFs were prepared by hydrolyzing the pretreated

cotton stalks with a 64% H_2SO_4 solution at 45°C for 50 min, followed by neutralization with a Na_2CO_3 solution and centrifugation. The H_2SO_4 -dialyzed CNFs were prepared in the same manner, followed by dialysis in DI water for 4 days until the pH was neutralized. TOCNFs were prepared by suspending the pretreated cotton stalks in DI water, adding NaBr solution and TEMPO, and stirring for 10 min. The pH was maintained between 10 and 11 with 0.5 M NaOH, and 13% NaClO solution was added while stirring. After 1 h, ethanol was added to end the reaction, and 0.5 M HCl was used to adjust the pH to 7.0. The oxidized suspension was vacuum-filtered and washed with DI water. The H_2SO_4 -neutralized CNFs, H_2SO_4 -dialyzed CNFs, and TOCNFs were collected after ultrasonication followed by freeze-drying. In this study, the properties of the four different types of CNFs—untreated fully bleached pulp, H_2SO_4 -neutralized CNFs, H_2SO_4 -dialyzed CNFs, and TOCNFs—were compared. The chemical-ultrasonication treatment significantly affected the physiological properties of CNFs. Among these, TOCNFs formed more uniform and smaller nanofibers, due to the negative charges introduced by $-\text{COONa}$ groups at the C6 position, which promoted electrostatic repulsion between fibers and their separation. FTIR analysis revealed that the TOCNFs exhibited a distinct $\text{C}=\text{O}$ peak, distinguishing them from the other chemically treated CNFs. Moreover, TGA indicated that the TOCNFs underwent ~70% thermal degradation and began to decompose at a much lower temperature (215°C) compared to the H_2SO_4 -neutralized CNFs (285°C) and H_2SO_4 -dialyzed CNFs (225°C). This earlier onset of thermal degradation is attributed to the presence of $-\text{COONa}$ groups formed during TEMPO-mediated oxidation. Pratama *et al.*¹⁰⁾ prepared CNFs from various cellulose sources, including corn cobs, bagasse, wood waste, and bacterial cellulose via TEMPO-mediated oxidation and evaluated their properties. Cellulose was isolated from lignocellulosic materials such as corn cobs, bagasse, and wood waste by grinding the raw material, followed by stirring the powder in 2% (w/v) NaOH at 80°C. The resulting precipitate was filtered and washed to remove the lignin and alkaline residues, and then dried in an oven at 60°C for 24 h. The dried powders were bleached using 1.7% (v/v) NaClO at 80°C, followed by filtration and washing with DI water. The white solid obtained was oven-dried at 60°C for 24 h, ground, and sieved through a 250 μm mesh. For bacterial cellulose, the gel obtained was processed in the same manner. The CNFs were separated using the TEMPO/NaBr/NaClO system. Cellulose sources (corn cobs, bagasse, wood waste, and bacterial cellulose) were dispersed in DI water containing TEMPO and NaBr. Oxidation was initiated by adding a NaClO solution. The pH was maintained at 10.5 by adding 0.5 M NaOH dropwise, and subsequently neutralized with 0.5 M HCl. The TOCNFs were recovered by vacuum filtration and washed with DI water. A 2% (w/w) suspension of the water-insoluble

oxidized cellulose was prepared by adding DI water, followed by ultrasonication for 30 min. The same procedure was applied to MCC for comparison, and the TOCNFs characteristics were evaluated to assess the influence of diverse cellulose sources. FTIR spectroscopy was employed to analyze the cellulose molecular structure pre- and post-oxidation. A new peak appeared at 1740 cm^{-1} in the spectrum of oxidized cellulose, confirming the conversion of $-\text{OH}$ groups to $-\text{COO}^-$ groups. XRD analysis indicated that all samples exhibited peaks characteristic of cellulose I crystals diffraction at $2\theta = 16^\circ$, 22.6° , and 34° . Notably, TOCNFs derived from MCC and bacterial cellulose were more crystalline than those from lignocellulosic biomass, attributed to the presence of amorphous regions composed of hemicellulose and lignin within the lignocellulosic biomass. The charge-indicative surface $-\text{COOH}$ groups of TOCNFs obtained through TEMPO-mediated oxidation were measured. TOCNFs derived from MCC and bacterial cellulose exhibited higher surface charge than those derived from lignocellulosic biomass. In the case of MCC derived TOCNFs, this is attributed to residual sulfonate groups (SO_4^{2-}) remaining after acid hydrolysis during MCC production. However, TOCNFs derived from bacterial cellulose possess lacks sulfonate groups, resulting in lower surface charge compared to those from MCC. The surface $-\text{COOH}$ groups of TOCNFs can influence suspension stability, interactions with other compounds, and dispersibility in various solvents. Hop *et al.*¹²⁾ also employed the TEMPO/NaBr/NaClO oxidation system to produce nanocellulose from bleached wood pulp. The pulp was stirred in DI water containing TEMPO and NaBr. Oxidation was initiated by slowly adding a NaClO solution, while maintaining the pH at 10, with 0.5 M NaOH. TEMPO-oxidized cellulose was filtered, thoroughly washed, and subsequently suspended in water to obtain a final concentration of 3% (w/v). The suspension was then ultrasonicated for varying durations to obtain the TOCNFs. FTIR analysis revealed a shift in the $-\text{OH}$ bending-related vibration peak at 1630–1600 cm^{-1} , which indicated the conversion of the $-\text{OH}$ groups at the C6 position to $-\text{COONa}$ groups. XRD indicated the crystallinity values of pristine cellulose and TEMPO-oxidized cellulose to be 66% and 65.2%. This finding indicates that TEMPO-mediated oxidation selectively modified only the $-\text{OH}$ groups to form $-\text{COOH}$ groups, without affecting the cellulose crystalline structure. Under phase-contrast microscopy, the TEMPO-oxidized cellulose fibers appeared lighter than pure cellulose ones. This observation can be attributed to the negatively charged $-\text{COOH}$ groups formed on the surface of TEMPO-oxidized cellulose, implying reduced interfacial interaction between the fibers due to charge repulsion. Fukuzumi *et al.*²⁰⁾ also prepared TEMPO-oxidized cellulose from bleached softwood kraft pulp utilizing a TEMPO/NaBr/NaClO oxidation system and evaluated their properties. The pulp was suspended in DI water containing

TEMPO and NaBr. NaClO solution was added, and the suspension was stirred at room temperature and pH 10 until the consumption of 0.5 M NaOH stopped. To prevent unexpected reactions due to the -CHO groups generated during TEMPO oxidation, the oxidized cellulose was further treated with NaClO₂ in 0.5 M acetate buffer (pH 4-5) at room temperature for 24 h to remove these groups. The TEMPO-oxidized cellulose was then filtered, washed, and dispersed in DI water to obtain a solid content of 0.1%, followed by ultrasonication to synthesize the TOCNFs. According to the TGA analysis, the onset decomposition temperature of pristine cellulose was 275°C, whereas that of the TOCNFs decreased to 222°C. This reduction was ascribed to the transformation of the -CH₂OH groups at the C6 position to -COONa groups, which facilitated decarboxylation during thermal decomposition and weakened the molecular interactions, thereby accelerating degradation.

Previous studies have identified that TEMPO-mediated oxidation induces consistent and marked changes in the chemical structure, morphological characteristics, and physicochemical properties of cellulose. Chemically, TEMPO-mediated oxidation selectively converts the primary -OH groups at the C6 position of the cellulose backbone into -COONa or -COOH groups. The introduction of the negatively charged -COO⁻ groups imparts surface charge to the nanofibers, enhancing dispersibility and electrostatic repulsions between the individual fibers. Regarding morphological structure, TEMPO-mediated oxidation reduced the size of cellulose fibers to a nanoscale, resulting in uniform nanofibers. This phenomenon can be attributed to the introduction of surface charges during oxidation, which increases the electrostatic repulsion between fibers, thereby enhancing their susceptibility to subsequent mechanical treatments such as ultrasonication. TOCNFs typically exhibited the diffraction peaks typical of cellulose I crystals, and their crystallinity remained largely unchanged compared to that of pristine cellulose. This uniformity occurs because TEMPO-mediated oxidation selectively modifies only the primary -OH groups, converting them into -COONa or -COOH groups, without significantly affecting the cellulose crystalline structure. However, the TOCNFs derived from lignocellulosic biomass generally exhibited lower crystallinity than those from pristine cellulose or MCC, due to amorphous components of the raw biomass such as hemicellulose and lignin. In general, TOCNFs were less thermally stable compared to pristine cellulose. This finding may be attributed to oxidative degradation caused by the decarboxylation of -COONa groups that were formed during the TEMPO-mediated oxidation process, which weakened the cellulose molecular structure (Table 1).

2.3. Recent studies on physically blended TOCNFs films

To optimize the performance of TOCNFs films for potential

applications in sustainable packaging materials, researchers have explored various physical blending strategies, including the preparation of monolayer films for coating, polymer-TOCNFs composite films, and plasticizers (Table 2).

To investigate the compatibility between polyvinyl alcohol (PVA) and the TOCNFs derived from SCGs, Kanai et al.¹⁾ prepared PVA/TOCNFs composite films by mixing a PVA solution with the TOCNFs derived from SCGs. A shift in the characteristic peaks, such as those of carbonyl and methyl groups, was observed when the TOCNFs were mixed with the PVA matrix. Additionally, TGA analysis revealed that the maximum decomposition temperature (289°C) of the PVA/TOCNFs composite film was between that of pure PVA (313°C) and TOCNFs films (255°C). This thermal behavior suggests H-bonding between the PVA matrix and TOCNFs. These results indicated that the TOCNFs derived from SCGs were successfully incorporated into the PVA matrix. Oh & Lee²¹⁾ investigated the potential use of SCGs as packaging materials in the form of TEMPO-oxidized SCGs films prepared through delignification, TEMPO-mediated oxidation, and ultra-high pressure homogenization. Glycerol as a plasticizer, and 0.02 wt% cinnamaldehyde as a crosslinking agent, were used to improve the physical properties of the TEMPO-oxidized SCGs films. Film-forming solutions were obtained using ultra-high-pressure homogenization and subsequently cast to form monolayer films. An analysis of the resulting TEMPO-oxidized SCGs films showed that the addition of 1.5 wt% glycerol remarkably improved the mechanical properties, increasing tensile strength from 15.5 MPa to 23.3 MPa and elongation at break from 9.26% to 35.19%. This improvement may be attributed to glycerol acting as a plasticizer that disrupts the intermolecular hydrogen bonding within the cellulose network. Soni et al.²²⁾ developed transparent and high-performance bio-nanocomposite films by incorporating TOCNFs into a chitosan matrix as reinforcing agents. In this study, chitosan, TOCNFs, and sorbitol were dispersed in a 2% acetic acid solution, and the mixture was dried in petri dishes to form films. The TOCNFs composition varied at 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%, while the sorbitol ratio was fixed at 25%. Morphological examinations confirmed the uniform dispersion of the TOCNFs within the chitosan matrix. As the TOCNFs concentration within the chitosan matrix increased, the surface of the composite films slightly roughened. In addition, the mechanical properties were improved due to robust electrostatic interactions between the TOCNFs and chitosan. As the water absorption rate, water vapor, and oxygen permeability decreased, the absorption and permeation of the gas molecules into the composite matrix became difficult. This phenomenon can be due to the electrostatic repulsions between the negatively charged TOCNFs and the positively charged chitosan.

Table 1. Summary of the previous research findings on TEMPO-mediated oxidation and its impact on the properties of cellulose derived from diverse natural sources

Cellulose source	Characterization and properties	Major findings	Ref.
SCGs	Chemical structure	• ^{13}C NMR analysis confirmed the conversion of the surface -OH groups of SCGs microfibrils to -COOH groups via TEMPO-mediated oxidation.	(Kanai et al., 2020)
	Morphological structure	• XRD analysis showed that the crystallinity of the TOCNFs derived from SCGs (72%) was lower than that from the MCC (79%).	
	Thermal properties	• The main degradation temperatures of SCGs-derived TOCNFs were observed at 251°C and 267°C, which are significantly lower than that of MCC (344°C), indicating reduced thermal stability of the SCGs-derived TOCNFs.	
SCGs	Chemical structure	• FTIR analysis exhibited a distinct C=O peak at 1610 cm^{-1} in TEMPO-oxidized cellulose, indicating the successful formation of -COONa groups through TEMPO-mediated oxidation.	(Khoshk, & Moeenfar, 2025)
	Morphological structure	• SEM analysis indicated that the SCGs particle size was affected by TEMPO-oxidized cellulose morphology, with larger particles forming networks and smaller particles producing irregular, aggregated fibers. • XRD analysis revealed that TEMPO-oxidized cellulose retained the cellulose I structure; the highest crystallinity was observed in larger SCGs particles (49.2%), and it decreased with smaller particles (37.2%).	
	Thermal properties	• The thermal stability of SCGs-derived TEMPO-oxidized cellulose was directly proportional to the SCGs particle size. TEMPO-oxidized cellulose derived from SCGs with larger particle size showed higher thermal degradation temperatures (290°C and 404°C), while samples from smaller particles exhibited lower values (246-250°C and 353-365°C).	
Cotton stalks	Chemical structure	• FTIR analysis of the TOCNFs showed a distinct absorption peak at 1610 cm^{-1} , corresponding to the -COONa groups introduced at the C6 position.	(Soni, Hassan, & Mahmoud, 2015)
	Morphological structure	• Negatively charged -COONa groups at the C6 position enhanced the electrostatic repulsion between fibers, promoting separation, uniformity, and smaller TOCNFs.	
	Thermal properties	• The decomposition temperature of TOCNFs was observed at 215°C, which is lower than that of H_2SO_4 -dialyzed CNFs (225°C), indicating reduced thermal stability of TOCNFs due to the formation of -COONa groups during the TEMPO-mediated oxidation process.	
Corn cobs Bagasse Wood waste Bacterial cellulose	Chemical structure	• FTIR analysis exhibited that the -OH groups on the TOCNFs were converted to -COO ⁻ groups through TEMPO-mediated oxidation, resulting in the appearance of a new characteristic peak at 1740 cm^{-1} .	(Pratama et al., 2024)
	Morphological structure	• XRD analysis of TOCNFs exhibited characteristic cellulose I crystalline diffraction peaks. TOCNFs derived from MCC (83%) and bacterial cellulose (82%) showed enhanced crystallinity compared to those derived from lignocellulosic biomass (73%-78%).	
Bleached wood pulp	Chemical structure	• FTIR analysis confirmed the conversion of the -OH groups at the C6 position to -COONa groups, as evidenced by the shift of the absorption peak from 1630 cm^{-1} to 1600 cm^{-1} corresponding to the asymmetric stretching of carboxylate groups.	(Hop et al., 2022)
	Morphological structure	• XRD analysis indicated that the crystallinity of TEMPO-oxidized cellulose (65.2%) did not differ significantly from that of pristine cellulose (66%). • Phase-contrast microscopy revealed that the TEMPO-oxidized cellulose fibers appeared brighter than pristine cellulose fibers.	
Bleached softwood kraft pulp	Thermal properties	• The thermal decomposition temperature of TOCNFs was 222°C, which is lower than that of pristine cellulose at 275°C. This decrease in thermal stability is attributed to the presence of -COONa groups formed during TEMPO-mediated oxidation.	(Fukuzumi, Saito, Okita, & Isogai, 2010)

Table 2. Summary of the recent research on physically blended TOCNFs films

Cellulosic source	Product	Preparation method	Major findings	Ref.
SCGs	PVA/TOCNFs composite films	Casting	<ul style="list-style-type: none"> The characteristic peaks (carbonyl and methyl groups) shifted upon mixing TOCNFs with the PVA matrix. The thermal stability was enhanced with a maximum decomposition temperature (289°C) between those of pure PVA (313°C) and TOCNFs films (255°C), indicating H-bonding. 	(Kanai et al., 2020)
SCGs	TEMPO-oxidized SCGs-based monolayer films	Solvent casting, Vacuum filtration	<ul style="list-style-type: none"> The mechanical properties were improved with the addition of 1.5 wt% glycerol as a plasticizer. 	(Khoshk & Moeenfarid, 2025)
Cotton stalks	Chitosan/TOCNFs composite films	Casting	<ul style="list-style-type: none"> The tensile strength and Young's modulus were enhanced by increasing the TOCNFs contents (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%) within the chitosan matrix. The water vapor and oxygen barrier properties were improved by increasing the TOCNFs contents (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%) within the chitosan matrix. 	(Soni et al., 2016)

3. Recent studies on RC films

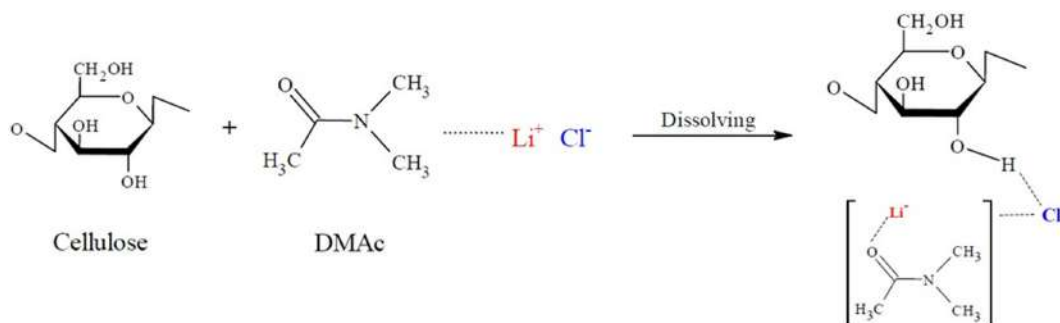
RC films with better biodegradability, renewability, and recyclability have gained significant attention in recent years due to their remarkable potential in a wide range of applications^{6,14,15,23,24}. Owing to their excellent mechanical, optical, and gas barrier properties, RC films are increasingly being used in various industries, including textiles, energy, pulp and paper, pharmaceuticals, and packaging films^{6,14,23,24}.

The preparation of RC films typically involves two key steps: the dissolution of cellulose in an appropriate organic solvent, followed by regeneration in a coagulation bath^{23,24}. Various solvent systems, including aqueous alkali, phosphoric acid, amine oxides, and ionic liquids, have been employed for dissolving cellulose. Among these, the sodium hydroxide/carbon disulfide (NaOH/CS₂) system, used in viscose rayon and cellophane production, is effective but environmentally hazardous, as CS₂ is toxic and generates harmful wastes. Similarly, NMMO enables cellulose dissolution at high temperatures (>85°C), but suffers from side reactions, instability, and by-product formation^{6,8,24,25}. These challenges

necessitate the development of safer and more efficient solvent systems.

3.1. Dissolution mechanism of cellulose in the DMAc/LiCl system

DMAc/LiCl is one of the most extensively studied cellulose solvent systems due to its high polarity, thermal stability, and ability to dissolve without structural degradation. Unlike other ionic liquids, it does not require additives or specialized equipment and offers excellent recyclability^{6,15,24,26}. In this system, LiCl exists as dissociated Li⁺ and Cl⁻ ions⁸, as shown in Fig. 2. The Cl⁻ anions form H-bonds with the -OH groups of cellulose, thereby disrupting their interactions with other groups, and replacing the existing OH-OH-bonds with OH-Cl⁻ ones. Additionally, Li⁺ ions form a Li⁺(DMAc)_x cationic complex by interacting with the carbonyl oxygen (C=O) of the DMAc molecules, facilitating the dissolution of cellulose^{8,26,27}. McCormick et al.²⁷ reported that when cellulose dissolves in the DMAc/LiCl system, the Li⁺(DMAc)_x cationic complex binds with Cl⁻ ions, and the Li⁺ ions do not interact directly with the -OH groups of the cellulose molecules. Thus, Li⁺ ions

**Fig. 2.** Dissolution mechanism of cellulose in DMAc/LiCl solvent^{8,26,27}.

mainly play a role in maintaining the stability of the solvent system without direct interactions with cellulose.

Zhang *et al.*⁸⁾ reported that when cellulose dissolves in the DMAc/LiCl cosolvent system, H-bonds are formed between the protons of the cellulose -OH groups and Cl⁻ ions. During this process, the H-bonding network between cellulose molecules is broken, and LiCl dissociates into Li⁺ and Cl⁻ ions. Subsequently, the Li⁺ ions are further solvated by the free DMAc molecules, and these ions form an electrostatic equilibrium with the Cl⁻ ions that are H-bonded to the cellulose molecules. This rearrangement allows the cellulose chains to disperse within the solvent system and form a homogeneous solution.

Wang *et al.*²⁶⁾ investigated the dissolution mechanism of cotton-derived MCC in the DMAc/LiCl system by employing a pretreatment step involving the prolonged soaking of MCC in either water or DMAc. This pretreatment induced the delamination of cellulose particles, facilitating the formation of nanopores on the cellulose surface, which markedly enhanced the diffusion of Cl⁻ ions into the cellulose matrix. The Cl⁻ ions formed H-bonds with the -OH groups of cellulose and generated the electrostatic repulsion between chains. This phenomenon disrupted the intermolecular H-bonds and peeled off the external cellulose layers. This synergistic effect ultimately enabled the complete dissolution of cellulose in the DMAc/LiCl solvent system. This process is highly dependent on various parameters, such as temperature, the DMAc/LiCl ratio, and coagulation conditions, which influence the viscosity and stability of the RC solution; their optimization is essential for producing high-quality RC films.

3.2. Recent studies on the development of RC film from food by-product biomass

Several recent studies have explored the preparation and characterization of RC films from various biomass sources for use in sustainable packaging, including biodegradable, active, and intelligent packaging systems (Table 3).

Zhao *et al.*⁵⁾ extracted cellulose from durian peels using the DMAc/LiCl solvent system to develop biodegradable packaging materials. After mechanically grinding the peels, hemicellulose and lignin were extracted with alkaline and bleaching solutions, and cellulose via acid treatment. The extracted cellulose was swollen by stirring in water, immersed in methanol and DMAc to prevent H-bond reformation, and then dissolved completely in a DMAc/LiCl solution. The prepared cellulose solution was cast onto a glass plate, regenerated with water, and dried to form a transparent RC film (DC film). XRD and FTIR confirmed that the chemical structure of cellulose extracted from durian peels closely resembled that of commercial cellulose derived from cotton linters. Morphological analysis revealed that the DC film had a smooth and homogeneous surface and a cross-section similar to commercial cel-

lulose (CC) film and cellophane. TGA results indicated that the DC film was more thermally stable compared to the CC film. The CC film exhibited an initial weight loss at ~150°C. However, the thermal degradation of the DC film began at ~270°C, with two distinct stages at ~270 and 345°C due to the decomposition of the cellulose matrix and salts, respectively. Notably, the char residue of the DC film was remarkably lower than cellophane film at 480°C, suggesting high levels of additives in the latter. An examination of the mechanical properties showed that the elongation at break of DC and CC films was ~6% and 8%, much lower than cellophane film (35%). This variation might be due to the inclusion of a plasticizer in cellophane film. Biodegradability was assessed through a 4-week-long soil burial test. Compared with cellophane and DC film, the RC film exhibited a faster biodegradation rate in the soil during the first two weeks and complete degradation at 4 weeks.

Saedi *et al.*³⁾ extracted cellulose from ginger pulp through mechanical and chemical treatments, including grinding, dewaxing, alkali treatment, bleaching, and acid hydrolysis. Initially, 3 g of the extracted cellulose was dispersed in 150 mL of distilled water, followed by redispersion in methanol. Subsequently, the cellulose was filtered and dissolved in a DMAc/LiCl solvent system while stirring for 12 h. The cellulose solution obtained was centrifuged at 5°C for 10 min to remove the air bubbles and then cast onto a Teflon-coated glass plate. The plate was gently immersed in different coagulation baths (water, ethanol, or acetone) to obtain an RC gel. The gel was then immersed overnight in a 3% (v/v) water-glycerol solution to remove any remaining solvent. The gel was spread on a Teflon-coated glass plate and fixed by drying overnight at room temperature to obtain the RC film. Morphological studies revealed that the RC films obtained from the ethanol or acetone coagulation baths exhibited smooth surfaces, whereas those from the water coagulation bath showed rough surfaces. This variation can be attributed to differences in phase inversion rates between the DMAc/LiCl solvent system and coagulation solvents such as water, ethanol, and acetone. The high mixing rate between the DMAc/LiCl solvent system and water leads to immediate phase inversion and coagulation on the surface of the cellulose solution. As a result, the RC chains do not have sufficient time to align and form a dense, uniform structure, resulting in a rough film morphology. In contrast, the slower solvent exchange with organic solvents such as ethanol or acetone allows more time for RC chain rearrangement, promoting the formation of smoother and more dense film surfaces. Mechanical property analyses showed that the RC films obtained from the ethanol and water coagulation baths had the maximum and lowest mechanical strengths of 51.4 ± 5.9 and 29.5 ± 2.4 MPa, respectively. SEM indicated that the RC film prepared using water as the coagulating agent contained numerous pores, which disrupted

Table 3. Summary of the recent research findings on the properties and potential applications of RC film

Cellulosic source	Dissolution Solvent System	Regeneration Method	Major findings	Ref.
Durian peels	DMAc/LiCl	DI. Water	<ul style="list-style-type: none"> The durian peels based RC (DC) film exhibited enhanced thermal stability, with thermal degradation starting at 270°C compared to 150°C for commercial cellulose (CC) film. The DC film showed a smooth and homogeneous morphology with similar cross-sectional structure to cellophane. Biodegradability was significantly improved, with complete degradation observed within 4 weeks during a soil burial test. 	(Zhao et al., 2019)
Ginger pulp	DMAc/LiCl	DI. Water, Ethanol, Acetone	<ul style="list-style-type: none"> The mechanical strength varied significantly depending on the coagulation solvent, with ethanol-based films achieving the highest tensile strength (51.4 ± 5.9 MPa) and water-based films the lowest (29.5 ± 2.4 MPa). Composite RC films incorporating 3% ZnO nanoparticles and 1% curcumin (RC/ZC) exhibited enhanced antimicrobial and antioxidant activity against multiple foodborne pathogens. 	(Saedi et al., 2023)
Borassus fruit fiber	AmimCl	DI. Water	<ul style="list-style-type: none"> XRD analysis indicated a transition from crystalline cellulose I in raw fibers to predominantly amorphous cellulose in the RC film. The RC film demonstrated high mechanical performance with a tensile strength of 111 MPa and an elastic modulus of 6149 MPa. 	(Reddy et al., 2017)

inter-chain bonding, significantly reducing its ability to transmit and withstand mechanical stress. To provide active antimicrobial and antioxidant functionality to the RC films, Saedi et al.³⁾ further developed RC/zinc oxide-curcumin (RC/ZC) composite films. To prepare these composite films, 3% ZnO NPs and 1% curcumin were dispersed in a DMAc/LiCl solution and homogenized utilizing ultrasonication. The prepared mixture was then added to a cellulose solution to obtain the RC film. Compared to the RC film, the RC/ZC composite film showed decreased tensile strength and Young's modulus, but an increased elongation at break. This variation was attributed to a reduction in H-bonding between the polymer chains caused by the incorporation of curcumin and ZnO NPs. Furthermore, the RC/ZC composite film exhibited antimicrobial and antioxidant activities against various foodborne pathogenic bacteria, including *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, and *Vibrio parahaemolyticus*.

Reddy et al.⁶⁾ dissolved the cellulose extracted from borassus fruit fibers in an ionic 1-allyl-3-methylimidazolium chloride liquid (AmimCl) to obtain the RC films. Cellulose extraction involved delignification with a toluene-ethanol mixture, followed by a NaClO solution at 100°C, and hemicellulose removal via NaOH treatment. The extracted cellulose was dissolved in AmimCl at 80°C for 120 min, and cast onto a glass plate to form a film. The film was coagulated, washed with DI water to remove the ionic liquid, and then dried to obtain the final RC film. Morphological analysis of the RC film made from borassus fruit fibers exhibited a smooth surface and compact cross-sectional structure, indicating a higher level of molecular alignment during the regen-

eration process. XRD analysis of the RC film showed that the characteristic diffraction peaks of cellulose I in the raw fibers transformed into those of cellulose II in the extracted cellulose; these peaks almost disappeared in the RC film, where amorphous cellulose predominated. Additionally, a broad peak at $2\theta = 19.6^\circ$ confirmed the presence of residual cellulose II in the RC film. The crystallinity indices of the raw fibers, extracted cellulose, and RC film were 45.5%, 66.6%, and 41%, respectively. The decreased crystallinity in the RC film can be attributed to the disruption of H-bonds during the dissolution and regeneration of the cellulose extracted from the borassus fruit fibers. TGA showed that the maximum decomposition temperatures were 379°C, 394°C, and 368°C for the raw fibers, extracted cellulose, and the RC film, respectively. This decline in the thermal stability of the RC film was attributed to a greater disruption of the inter- and intra-molecular H-bonds during dissolution compared to the raw borassus fibers or the extracted cellulose. The RC film made from borassus cellulose exhibited a high tensile strength (111 MPa) and elastic modulus (6,149 MPa), demonstrating superior properties compared to commercially available polyolefin films (PP and PE).

4. Conclusion

The growing concern over environmental issues, the demand for sustainable materials has been increasing. Cellulose-based biomass derived from renewable resources such as agricultural, marine, and food processing wastes is considered a promising alternative to non-renewable resources due to its biodegradability and sustainability. Consequently,

extensive research efforts have been dedicated to valorizing food by-products and waste into high-value materials. This review investigates the principles and mechanisms of TEMPO-mediated oxidation, the characteristics of TOCNFs and their applications, the main solvent systems and dissolution mechanisms of cellulose, as well as the properties and utilization of RC films. Previous studies have extensively demonstrated the fabrication of TOCNFs and TOCNFs composite films via TEMPO-mediated oxidation from various biomass resources, evaluations of their physicochemical properties. Characterization of TOCNFs has confirmed their high aspect ratio, abundant functional groups (-COONa), and excellent thermal stability. Furthermore, TOCNFs composite films exhibit superior mechanical strength, thermal properties, and oxygen barrier performance. Recent research has reported that RC films exhibit excellent biodegradability, renewability, and mechanical properties, indicating their high potential as eco-friendly packaging materials. Especially, the DMAc/LiCl solvent system has attracted attention as a promising solvent due to its effective cellulose dissolution capability while minimizing structural damage. Extensive studies have been conducted on the fabrication and property evaluation of RC films derived from various food by-products. These films have demonstrated thermal stability, crystallinity, and mechanical strength comparable to or exceeding those of commercial cellulose films. TOCNFs and RC films are recognized as promising sustainable materials with diverse potential applications. The complementary properties of these materials provide opportunities for the development of multilayer films through a layer-by-layer coating approach. However, there are still some challenges that limit industrial applications. Future research and technological development should focus on the large scale production of high-quality materials, enhancement of functional properties, design integration with food products, cost-effectiveness, and comprehensive safety assessments.

Acknowledgment

This research was supported by Kangwon Green Environment Center as Research Development Project in 2025(KWGEC-2025) and Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(RS-2024-00463647).

References

1. Kanai, N., Honda, T., Yoshihara, N., Oyama, T., Naito, A., Ueda, K. and Kawamura, I. 2020. Structural characterization of cellulose nanofibers isolated from spent coffee grounds and their composite films with poly(vinyl alcohol): A new non-wood source. *Cellulose*. 27(9): 5017-5028.
2. Liu, Z., Li, X., Xie, W. and Deng, H. 2017. Extraction, isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from industrial kelp (*Laminaria japonica*) waste. *Carbohydr. Polym.* 173: 353-359.
3. Saedi, S., Kim, J.T., Lee, E.H., Kumar, A. and Shin, G.H. 2023. Fully transparent and flexible antibacterial packaging films based on regenerated cellulose extracted from ginger pulp. *Ind. Crops Prod.* 197: 116554.
4. SEKÍ, Y. 2025. Isolation and characterization of cellulose from spent ground coffee (*Coffea Arabica* L.): A comparative study. *Waste Manag.* 193: 54-61.
5. Zhao, G., Lyu, X., Lee, J., Cui, X. and Chen, W.-N. 2019. Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application. *Food Packag. Shelf Life.* 21: 100345.
6. Reddy, K.O., Maheswari, C.U., Dhlamini, M.S., Mothudi, B.M., Zhang, J., Zhang, J., Zhang, J., Nagarajan, R. and Rajulu, A.V. 2017. Preparation and characterization of regenerated cellulose films using borassus fruit fibers and an ionic liquid. *Carbohydr. Polym.* 160: 203-211.
7. Wang, F.-P., Li, J.-J., Zhang, Y., Sun, M.-Y., Li, L., Wahid, F., Xie, Y.-Y., Jia, S., Li, W. and Zhong, C. 2022. TEMPO-mediated oxidation promotes cellulose dissolution in a zincate-NaOH system at suprazero temperatures. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 10(22): 7374-7384.
8. Zhang, C., Liu, R., Xiang, J., Kang, H., Liu, Z. and Huang, Y. 2014. Dissolution mechanism of cellulose in *N,N*-dimethylacetamide/lithium chloride: Revisiting through molecular interactions. *J. Phys. Chem. B.* 118(31): 9507-9514.
9. Perumal, A.B., Nambiar, R.B., Moses, J.A. and Anandharamakrishnan, C. 2022. Nanocellulose: Recent trends and applications in the food industry. *Food Hydrocoll.* 127: 107484.
10. Pratama, A.W., Piluharto, B., Mahardika, M., Widiastuti, N., Firmanda, A. and Norrrahim, M.N.F. 2024. Comparative study of oxidized cellulose nanofibrils properties from diverse sources via TEMPO-mediated oxidation. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 10: 100823.
11. Soni, B., Hassan, E.B. and Mahmoud, B. 2015. Chemical isolation and characterization of different cellulose nanofibers from cotton stalks. *Carbohydr. Polym.* 134: 581-589.
12. Hop, T.T.T., Mai, D.T., Cong, T.D., Nhi, T.T.Y., Loi, V.D., Huong, N.T.M. and Tung, N.T. 2022. A comprehensive study on preparation of nanocellulose from bleached wood pulps by TEMPO-mediated oxidation. *Results Chem.* 4: 100540.
13. Xu, Y., Wu, Z., Li, A., Chen, N., Rao, J. and Zeng, Q. 2024. Nanocellulose composite films in food packaging materials: A review. *Polymers.* 16(3): 423.
14. Liu, Z., Wang, H., Li, Z., Lu, X., Zhang, X., Zhang, S. and Zhou, K. 2011. Characterization of the regenerated cellulose films in ionic liquids and rheological properties of the solutions. *Mater. Chem. Phys.* 128(1-2): 220-227.
15. Gao, X., Li, M., Zhang, H., Tang, X. and Chen, K. 2021. Fabrication of regenerated cellulose films by DMAc dissolution using parenchyma cells via low-temperature pulping from Yunnan-endemic bamboos. *Ind. Crops Prod.* 160: 113116.

16. Isogai, A., Hänninen, T., Fujisawa, S. and Saito, T. 2018. Review: Catalytic oxidation of cellulose with nitroxyl radicals under aqueous conditions. *Prog. Polym. Sci.* 86: 122-148.
17. Rol, F., Belgacem, M.N., Gandini, A. and Bras, J. 2019. Recent advances in surface-modified cellulose nanofibrils. *Prog. Polym. Sci.* 88: 241-264.
18. Isogai, A. and Zhou, Y. 2019. Diverse nanocelluloses prepared from TEMPO-oxidized wood cellulose fibers: Nanonetworks, nanofibers, and nanocrystals. *Curr Opin Solid St M.* 23(2): 101-106.
19. Khoshk, H.R. and Moenfarad, M. 2025. TEMPO-oxidized cellulose fiber from spent coffee ground: Studying their properties as a function of particle size. *Heliyon.*11(1): e41646.
20. Fukuzumi, H., Saito, T., Okita, Y. and Isogai, A. 2010. Thermal stabilization of TEMPO-oxidized cellulose. *Polym. Degrad. Stab.* 95(9): 1502-1508.
21. Oh, H.W. and Lee, S.H. 2022. A study on film manufacturing methods and quality characteristics using coffee by-products. *Food Eng. Prog.* 26(2): 105-111.
22. Soni, B., Hassan, E.B., Schilling, M.W. and Mahmoud, B. 2016. Transparent bionanocomposite films based on chitosan and TEMPO-oxidized cellulose nanofibers with enhanced mechanical and barrier properties. *Carbohydr. Polym.* 151: 779-789.
23. Huang, K. and Wang, Y. 2022. Recent applications of regenerated cellulose films and hydrogels in food packaging. *Curr. Opin. Food Sci.* 43: 7-17.
24. Wang, S., Lu, A. and Zhang, L. 2016. Recent advances in regenerated cellulose materials. *Prog. Polym. Sci.* 53: 169-206.
25. Liu, X., Tian, Y., Wang, L., Chen, L., Jin, Z. and Zhang, Q. 2024. A cost-effective and chemical-recycling approach for facile preparation of regenerated cellulose materials. *Nano Lett.* 24(29): 9074-9081.
26. Wang, W., Li, Y., Li, W., Zhang, B. and Liu, Y. 2019. Effect of solvent pre-treatment on the structures and dissolution of microcrystalline cellulose in lithium chloride/dimethylacetamide. *Cellulose.* 26(5): 3095-3109.
27. McCormick, C.L., Callais, P.A. and Hutchinson, B.H. 1985. Solution studies of cellulose in lithium chloride and *N,N*-dimethylacetamide. *Macromolecules.* 18(12): 2394-2401.

투고: 2025.07.14 / 심사완료: 2025.08.08 / 게재확정: 2025.08.13

SEBS-g-MAH를 이용한 재활용 PP/EVOH 다층 플라스틱의 계면 특징 및 차단성 연구

하성철 · 이창용*

공주대학교 환경공학과

Interfacial Properties and Barrier Performance of Recycled PP/EVOH Multilayer Plastics Using SEBS-g-MAH

Sung-Chul Ha, and Chang-Yong Lee*

Department of Environmental Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea.

Abstract This study examines the influence of SEBS-g-MAH (styrene ethylene butadiene styrene grafted maleic anhydride) content (0, 10, and 20 wt%) on the oxygen and moisture barrier properties, as well as the morphological and chemical structural changes in multilayer plastics composed of recycled polypropylene (PP) and ethylene vinyl alcohol (EVOH). Oxygen transmission rate (OTR) and water vapor transmission rate (WVTR) analyses revealed a gradual decrease in permeability with increasing SEBS-g-MAH content, indicating improved barrier performance. Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy confirmed the formation of ester bonds between the anhydride groups of SEBS-g-MAH and the hydroxyl groups of EVOH, as evidenced by a distinct absorption peak near 1735 cm^{-1} . This covalent interaction suggests enhanced interfacial compatibility. Transmission electron microscopy (TEM) revealed significant morphological evolution: without SEBS-g-MAH, EVOH domains were irregularly and coarsely dispersed within the PP matrix, whereas the addition of 10 wt% SEBS-g-MAH led to smaller domains and improved interfacial diffusion. At 20 wt%, the EVOH phase was finely and uniformly distributed, indicating stabilized phase morphology. These improvements in both chemical and morphological compatibility contributed to reduced interfacial tension, suppressed phase separation, and enhanced blend homogeneity. Overall, the results highlight the effectiveness of SEBS-g-MAH as a compatibilizer for recycled PP/EVOH plastics, providing a promising strategy for the development of sustainable, high-performance packaging materials.

Keywords PP (Polypropylene), EVOH (Ethylene Vinyl Alcohol), SEBS-g-MAH (Styrene Ethylene Butadiene Styrene grafted Maleic anhydride), OTR (Oxygen Transmission Rate), WVTR (Water Vapor Transmission Rate), Recycled PP/EVOH

서 론

폴리프로필렌(polypropylene, PP)과 에틸렌비닐알코올(ethylene vinyl alcohol, EVOH)로 구성된 다층 구조는 국내에서 식품 용기, 특히 즉석밥 포장에 널리 사용되고 있다. 국내에서는 연간 약 5억 5천만 개 이상의 즉석밥 용기가 소비되어 플라스틱 사용량은 약 5,000톤에 달한다. 또한,

즉석밥 용기 1개당 약 329g의 이산화탄소(CO_2)가 배출되는 것으로 추정되며, 이는 연간 수십만 톤 규모의 이산화탄소 배출로 이어진다. 이러한 환경적 영향을 완화하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으나, 현재 재활용량은 연간 약 60톤 수준으로 전체 사용량의 약 1%에 불과하다. 따라서 재활용률 향상을 위한 추가적인 노력이 요구된다¹⁾. PP/EVOH 다층 구조의 식품 포장 용기는 서로 다른 물성을 가진 재료가 적층된 복합 소재로, 사용 후 재활용이 어려운 대표적인 사례이다. 이러한 복합 구조는 기존의 단일 소재 기반 재활용 공정에 적합하지 않아 재활용 후 식품 포장용 재료의 재사용에는 한계가 있다^{2,3)}. 기존 연구들은 주로 기계적 물성 향상을 위한 상용화제의 적용^{4,5)}에 집중된 반면,

*Corresponding Author: Chang-Yong Lee
Kongju National University, Department of Environmental Engineering,
1223-24 Cheonandaero, Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam, 31080, Korea.
Tel: +82-41-521-9421
E-mail: cylee@kongju.ac.kr

PP/EVOH 식품 용기의 반복 재활용 과정에서 발생할 수 있는 상분리 특성 변화 및 산소/수분 차단성 저하에 대한 연구는 부족한 실정이다.

PP/EVOH 식품 용기 제조는 일반적으로 다층 시트를 압출 성형한 후 열성형(thermoforming)을 통해 3차원 용기로 성형하는 공정을 따른다^{6,7,8}. 열성형은 시트 형태의 소재를 열과 압력을 이용해 복잡한 형상으로 성형하는 기술이다. EVOH층은 우수한 산소 차단 특성을, PP층은 기계적 강도 및 내구성을 제공하여, 이 두 재료의 조합은 내용물의 장기 보존성과 포장재의 구조적 안정성을 동시에 충족시킨다. PP는 주로 용기의 외부 및 내용물 접촉면에 적용되며, 외부 보호 및 수분 차단층 역할을 한다. PP는 가볍고 내화학성 및 가공성이 우수하다⁹⁻¹¹. 반면, EVOH는 산소 차단층으로서 내용물의 산화를 방지하는 역할을 하지만, 수분에 민감하여 고습 환경에서는 차단 성능이 저하될 수 있다. 따라서 PP와 같은 수분 차단 소재로의 보호가 필수적이다¹²⁻¹⁴. 또한, PP와 EVOH 간의 낮은 상용성을 개선하기 위해 말레산 무수물로 개질된 PP-g-MAH (polypropylene grafted with maleic anhydride)가 접착층으로 활용된다. 이는 층간 결합력을 향상시켜 구조적 안정성을 높이는 역할을 한다. 아울러, 이산화티타늄(TiO₂)은 자외선 차단을 위한 백색 착색제로 사용되어 식품 내용물의 변질 방지에 기여한다¹⁵⁻¹⁷. PP와 EVOH는 각각 우수한 기계적 물성과 뛰어난 가스 차단성을 지닌 고분자이다. 그러나 사용 후 재활용 과정에서 이 둘을 단순히 혼합하면 극성 차이로 인해 계면 장력이 매우 높아져 열역학적으로 상호 혼합되지 않는 비상용성 블렌드(immiscible blend)가 형성된다. 결과적으로 거친 상 분리가 발생하여 블렌드의 모든 물성이 저하된다¹⁸.

이러한 문제를 해결하기 위해 선행 연구에서는 말레산 무수물이 그래프트된 스티렌-에틸렌-부틸렌-스티렌 공중합체(SEBS-g-MAH)를 상용화제로 활용한다. SEBS-g-MAH는 PP와 EVOH 사이에서 분자 수준의 “다리(molecular bridge)” 역할을 하여 계면 에너지를 낮추고 계면 접착력을 형성함으로써 블렌드의 미세 구조와 최종 물성을 개선한다¹⁹. PP와 EVOH 간의 상용성 향상을 위해 PP-g-MAH, 에틸렌-메타크릴산 공중합체(EMAA), 스티렌-말레산 무수물 공중합체(SMA), 그리고 SEBS-g-MAH 등 다양한 개질제가 사용된다. 이들 중 SEBS-g-MAH는 분산성 측면에서 가장 우수한 특성을 보인다. SEBS-g-MAH는 코어-셸 구조의 블록 공중합체로, 비극성인 PP 매트릭스 내에 효과적으로 분산된다. 또한, 말레산 무수물(MAH) 작용기를 통해 EVOH와의 화학적 결합이 가능하며, 특히 고무상 블록인 EB(Ethylene-Butylene) 세그먼트가 존재하여 상간 응력 집중을 완화하고 미세한 크기로 균일하게 분산되는 경향이 강하다. 반면, PP-g-MAH는 PP 기반으로 상용성을 확보할 수 있으나, 분자량이 크고 유연성이 낮아 EVOH 상에서의

미세 분산에는 한계가 있으며 블렌드 내에서 상 분리가 상대적으로 쉽게 발생할 수 있다. EMMA와 SMA 역시 극성 고분자와의 상용성은 우수하지만, 미세 분산을 위해서는 별도의 혼련 공정 조건이 필요하며, 나노미터 수준의 균일한 분산을 유도하기 어려운 구조이다. 이러한 이유로 SEBS-g-MAH는 우수한 분산 안정성과 계면 결합성을 동시에 확보할 수 있는 개질제로서, 복합재의 계면 안정성 및 장기 내구성 확보에 유리한 첨가제로 평가된다.

비상용성 블렌드의 열역학적 해석은 혼합 과정의 깁스 자유 에너지 변화(ΔG_{mix})에 의해 설명되며, 이는 다음 식 (1)로 표현된다.

$$\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T\Delta S_{mix} \quad (1)$$

여기서 ΔH_{mix} 는 혼합 엔탈피 변화, $T\Delta S_{mix}$ 는 혼합 엔트로피 변화(T 는 절대 온도), 두 고분자 상용성을 가지려면 $\Delta G_{mix} < 0$ 이어야 한다. 화학 및 재료 과학에서 $\Delta G_{mix} < 0$ 이라는 표현은 혼합 과정에서 깁스 자유 에너지(Gibbs Free Energy) 변화가 음수라는 뜻이다. 이는 해당 혼합 과정이 자발적으로 일어날 수 있으며, 혼합물이 열역학적으로 안정하다는 것을 의미한다. 깁스 자유 에너지 변화(ΔG)는 특정 과정의 자발성을 예측하는 데 사용되는 열역학 함수이다. 따라서 $\Delta G_{mix} < 0$ 은 특정 온도와 압력에서 두 가지 이상의 물질이 서로 섞여 균일한 혼합물을 형성하는 것이 열역학적으로 유리하다는 것을 나타낸다. 엔탈피 변화(ΔH_{mix})의 기여는 두 물질이 섞일 때 열이 방출되는 발열 혼합($\Delta H_{mix} < 0$)의 경우, 혼합물의 안정성에 긍정적으로 기여한다. 이는 시스템이 더 낮은 에너지 상태로 이동하는 것을 선호하기 때문이다. 반대로 열이 흡수되는 흡열 혼합($\Delta H_{mix} > 0$)이더라도, 엔트로피 변화(ΔS_{mix})의 기여가 충분히 크다면 ΔG_{mix} 는 여전히 음수가 될 수 있다. 엔트로피 변화(ΔS_{mix})의 기여는 두 물질이 섞이면 일반적으로 무질서도가 증가하므로, 대부분의 혼합 과정에서 엔트로피는 증가($\Delta S_{mix} > 0$)한다. 식 (1)에서 $T\Delta S$ 항은 $\Delta S_{mix} > 0$ 일 때 양수 값을 가지며, 이는 ΔG_{mix} 값을 음수로 만드는 데 기여한다. 온도가 높을수록 이 엔트로피 효과는 더욱 증대된다^{20,21}.

폴리머 블렌드에서 $\Delta G_{mix} < 0$ 의 중요성에서 대부분의 폴리머 쌍은 서로 비혼화성(immiscible)을 보인다. 이는 폴리머 분자의 거대한 크기로 인해 혼합시 발생하는 엔트로피 증가($T\Delta S_{mix}$) 효과가 매우 작기 때문이다. 결과적으로 혼합 깁스 자유 에너지(ΔG_{mix}) 값이 양수가 되어 상 분리가 빈번하게 발생한다.

하지만 상용화제(compatibilizer)를 사용하거나 특정 조건에서 혼합엔탈피(ΔH_{mix})가 충분히 음수가 되도록 조절함으로써 $\Delta G_{mix} < 0$ 조건을 만들 수 있다. 상용화제는 두 폴리머 간의 계면 에너지를 낮추고, 궁극적으로 ΔH_{mix} 를 더 음

의 값으로 유도하거나 혼합으로 인한 상호작용 에너지를 유리하게 변화시켜 $\Delta G_{mix} < 0$ 이 되도록 돕는다. 이를 통해 폴리머들이 서로 잘 섞여 혼화성(miscibility)이 개선된 블렌드를 형성할 수 있다. 블렌드의 형성이 열역학적으로 자발적이며 결과물이 안정하게 유지되려면 혼합 깃스 자유 에너지(ΔG_{mix})가 0보다 작아야 한다($\Delta G_{mix} < 0$). 이는 단순히 두 물질이 섞일 수 있다는 것을 넘어, 시간이 지나도 다시 분리되지 않고 균일한 상태를 유지하려는 경향이 있음을 의미한다. 하지만 폴리머 블렌드의 경우, 폴리머 분자들의 분자량이 매우 크기 때문에 혼합에 따른 조합 엔트로피($T\Delta S_{mix}$)의 기여는 일반적으로 미미하다. 따라서 폴리머 블렌드의 상용성은 주로 혼합 엔탈피(ΔH_{mix})에 의해 결정된다. 엔탈피(ΔH_{mix}) Flory-Huggins이론에 따르면, ΔH_{mix} 는 식 (2)와 같다.

$$\Delta H_{mix} \approx RT\phi_A\phi_B\chi_{AB} \quad (2)$$

여기서 ϕ_A, ϕ_B 는 각 고분자의 부피 분율이고, χ_{AB} 는 Flory-Huggins 상호작용 매개변수이다. χ_{AB} 는 두 고분자 세그먼트 간의 인력/반발력을 나타내며, χ_{AB} 값이 양수이면 반발력이, 음수이면 인력이 작용함을 의미한다. 비극성이며 낮은 표면 에너지를 가진 PP와 극성이며 높은 표면 에너지를 가진 EVOH는 화학 구조와 극성 차이가 매우 크다. 이로 인해 PP와 EVOH 사이의 χ_{AB} 값은 크고 양수($\chi_{AB} \gg 0$)이다. 이는 두 고분자 간의 강한 반발력을 시사하며, 결과적으로 혼합 엔탈피(ΔH_{mix})가 큰 양수 값을 가져 혼합 깃스 자유 에너지(ΔG_{mix})가 0보다 커져 상 분리가 일어난다. 즉, 엔트로피 증가로 인한 무질서도가 증가하면서 깃스 에너지는 감소하게 된다²²⁾. Fig. 1에서와 같이 SEBS의 백본을 구성하는 스티렌-에틸렌-부틸렌-스티렌 중 에틸렌-부틸렌(EB) 블록은 수소화된 폴리부타디엔으로부터 유래한 고무상(rubbery)으로, PP와 유사한 비극성 탄화수소 사슬로 이루어져 있다. EB 블록은 PP와의 물리적 상용성 확보에 핵심적인 역할을 하며, 블렌딩 과정에서 PP 매트릭스 내로 침투하여 분자 간 얽힘(chain entanglement) 및 분산력(london dispersion forces)을 통해 안정적인 물리적 상호작용을 유도

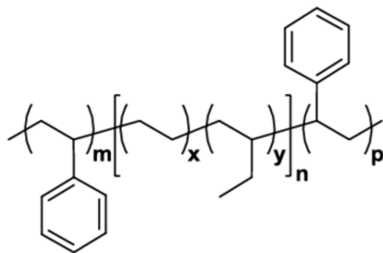


Fig. 1. Chemical structure of Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene (SEBS) block copolymer.

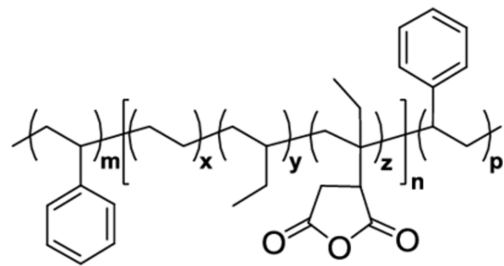


Fig. 2. Chemical structure of Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene grafted with Maleic Anhydride (SEBS-g-MAH).

한다²³⁾.

Fig. 2에서 나타나는 바와 같이, SEBS-g-MAH는 PP와 EVOH를 계면에서 효과적으로 연결하기 위한 독특한 양친매성(amphiphilic) 구조를 지닌다. 이 구조는 비극성 백본(backbone)과 극성 작용기가 각각 상용성 확보에 중요한 역할을 수행한다.

이와 같은 상호작용은 마치 낚싯바늘이 걸리듯 SEBS-g-MAH가 PP 사슬에 물리적으로 견고히 고정되도록 한다. 한편, SEBS-g-MAH의 MAH 작용기는 EB 블록에 그래프트된 고리형 무수물 구조로서 높은 극성과 반응성을 가진다. 블렌딩 과정에서 가해지는 열과 미량의 수분에 의해 MAH는 고리 열림(ring-opening) 반응을 거쳐 두 개의 카르복실산(-COOH) 그룹으로 전환될 수 있다. 생성된 카르복실산 그룹은 EVOH의 하이드록실(-OH) 그룹과 수소 결합 또는 에스터화 반응을 통해 강력한 계면 접착력을 발휘하며, 이로써 상간 계면 안정성 향상에 기여한다²⁴⁾.

SEBS-g-MAH는 용융 혼합(melt blending) 과정에서 다음과 같은 일련의 메커니즘을 통해 PP와 EVOH를 상용화한다.

첫째, 계면으로의 이동 및 정렬(Interfacial Migration and Orientation).

비상용성 블렌드에서 두 고분자 상 사이의 계면 에너지는 매우 높아 열역학적으로 불안정하다. 이에 따라 SEBS-g-MAH는 계면 에너지를 낮추려는 열역학적 구동력에 의해 자발적으로 PP/EVOH 계면으로 이동한다. 이 현상은 마치 물과 기름 사이의 계면에 계면활성제가 모이는 것과 유사하다. 계면에 도달한 SEBS-g-MAH 분자는 PP 상을 향해 비극성 SEBS 블록을, EVOH 상을 향해 극성 MAH 작용기를 정렬시키며 계면에 자리 잡는다. 이러한 분자 정렬은 계면 자유 에너지를 효과적으로 감소시켜 계면 안정성을 향상시킨다. 계면에 정렬된 SEBS-g-MAH는 PP와 EVOH 양쪽 모두와 물리화학적으로 상호작용하여 강력한 계면 접착력을 형성한다²⁵⁾.

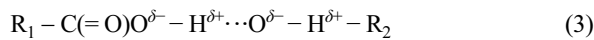
둘째, 물리적 얽힘(Physical Entanglement).

SEBS-g-MAH의 비극성 EB (Ethylene-Butylene) 블록은 PP 매트릭스의 비극성 사슬과 화학적 유사성을 가진다. 용융

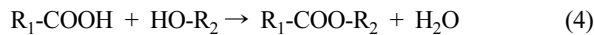
상태에서 PP 사슬과 EB 블록은 서로 침투(interpenetrate)하고 얽히면서 강한 물리적 결합을 형성한다. 이 상호작용은 주로 분자 사슬 간의 분산력(van der Waals forces)에 기반하며, 계면에서 SEBS-g-MAH가 PP 상에 견고히 고정되도록 한다. 이러한 얽힘은 계면 안정성을 부여하는 핵심적인 물리적 기반이다.

셋째, 화학적 상호작용(Chemical Interaction).

MAH 작용기와 EVOH 사슬 간의 화학적 상호작용은 식 (3)에서와 같이 일어난다. MAH 작용기는 EVOH에 다량 존재하는 하이드록실(-OH) 그룹과 상호작용할 수 있는 잠재력을 가지며, 특히 수소 결합이 형성될 수 있다. 블렌딩 과정 중 고리 열림(ring-opening) 반응을 통해 생성된 SEBS-g-MAH의 카르복실산(-COOH) 그룹과 EVOH의 하이드록실(-OH) 그룹 사이에는 전기음성도 차이로 인한 부분 전하(δ^- , δ^+)에 기반한 정전기적 인력이 발생하여 강력한 계면 결합을 돕는다. 이러한 화학적 결합은 계면 접착력을 더욱 강화한다.



여기서 점선은 수소 결합을 나타내며, 카보닐 산소와 하이드록실 수소, 또는 하이드록실 산소와 카르복실산 수소 사이에서 형성된다. 수소 결합은 공유 결합보다는 약하지만, 계면에서 강력한 분자 간 인력을 제공하여 두 고분자 사슬을 견고하게 끌어당긴다. 이러한 상호작용은 계면의 물리적 접착력을 향상시키고, 계면에서의 응력 집중을 완화하여 재료의 연신율과 인성을 개선하는 데 중요한 역할을 한다. 더불어, 수소 결합 네트워크는 계면 내 분자 이동성을 제한하여 상 안정성을 증진시킨다. 한편, 에스터화 반응 및 공유 결합 형성은 용융 혼합 과정의 고온 조건에서 진행된다. 이때 SEBS-g-MAH의 카르복실산 그룹과 EVOH의 하이드록실 그룹 사이에 축합 반응이 일어나 물 분자가 부산물로 배출되며, 에스터 결합 (-C(=O)-O-)이라는 강력한 공유 결합이 형성된다.



이 반응은 일반적으로 산 촉매와 같은 에스터화 촉매의 존재 하에서, 또는 충분한 활성화 에너지를 제공하는 고온 조건에서 더욱 효율적으로 진행된다. 식 (4)에서와 같이 형성된

에스터 결합은 두 고분자 사슬을 화학적으로 영구히 연결하는 강력한 계면 결합 형태이다. 이는 마치 두 상을 ‘깨내는’ 것과 같은 역할을 수행하며, 계면의 화학적 접착력을 극대화한다. 이러한 공유 결합은 외부 응력이 가해질 때 계면에서의 파괴를 효과적으로 방지하고, 응력을 두 상 사이에 균일하게 분산시키는 데 결정적인 역할을 한다²⁶⁾.

SEBS-g-MAH의 복합적인 물리-화학적 상호작용은 블렌드의 미세 구조와 거시적 물성에 뚜렷한 변화를 유도한다. SEBS-g-MAH가 PP와 EVOH 간 계면에 정렬되면서 두 상 간의 계면 장력이 현저히 감소한다. 이는 용융 상태에서 EVOH 상이 PP 매트릭스 내에 보다 미세한 입자 형태로 분산되도록 하여 도메인 구조의 미세화를 유도한다. 또한, SEBS-g-MAH는 분산된 EVOH 액적(droplet)의 표면을 둘러싸 상호 응집(coalescence)을 억제함으로써 도메인 안정화를 유도한다. 이러한 안정적인 구조는 고형화 이후에도 유지되며 투과전자현미경(TEM) 분석을 통해 확인할 수 있다. EVOH의 주된 기능인 산소 및 가스 차단성은 상 분리 없이 블렌드 전체에 균일하게 분산될 때 가장 효과적으로 발현된다. SEBS-g-MAH는 이러한 균일한 도메인 분산을 유도하여 가스 분자의 이동 경로를 효과적으로 차단함으로써 차단 성능의 유지 및 향상에 기여한다. 반면, 상 분리가 심화될 경우 연속적인 가스 누출 경로가 형성되어 차단 특성이 저하될 수 있다²⁷⁻²⁹⁾. 따라서 본 연구에서는 재활용된 PP/EVOH에 SEBS-g-MAH를 첨가함으로써, PP/EVOH 블렌드의 모폴로지 변화와 산소 및 수분 차단성 변화를 확인하였다.

재료 및 방법

1. 시편 제조

본 연구에 사용된 시편은 Table 1에 제시된 바와 같이, PP/EVOH 다층 구조 시트에 재생 PP/EVOH를 함량별로 혼합하여 공압출 공정으로 제조했다. 공압출에는 Reifenhäuser 사(Worms, Germany)의 시트 압출기를 사용했으며, 압출 온도는 240°C로 설정했다. 최종 제작된 시트의 두께는 약 900 μm 로 유지했고, 이 시트는 Fig. 3과 같이 ASANO사 (FLC, Miyoshi, Japan)의 열성형 장비를 통해 식품 용기로 성형했다. 원재료로는 PP (Lotte chemical B110), Tie resin (Mitsubishi chemical P674V), EVOH (Kuraray J171B), SEBS-g-MAH (Kraton FG1901 G)를 사용했다.

Table 1. Multilayer compositions of recycled PP/EVOH sheets with varying SEBS-g-MAH content

Multilayer	1	2	3	2	4	1, 4
specimen	Recycled PP 50/EVOH 50	Tie resin	EVOH	Tie resin	Recycled PP 50/EVOH 50	SEBS-g-MAH
1	45%	3%	2%	3%	45%	0%
2	45%	3%	2%	3%	45%	10%
3	45%	3%	2%	3%	45%	20%

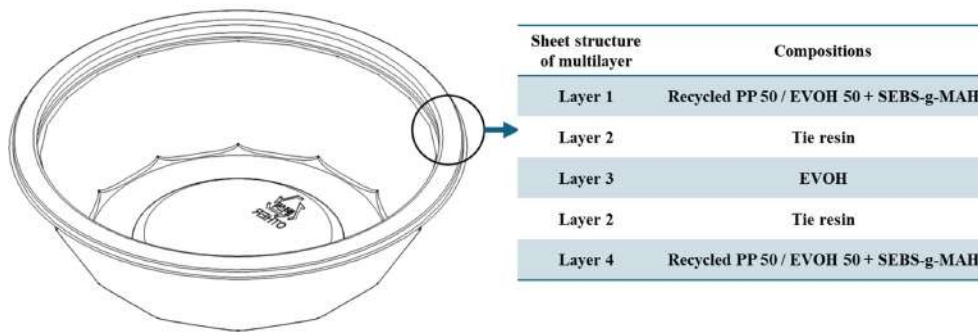


Fig. 3. Schematic illustration of the multilayer cross-sectional structure of the recycled PP/EVOH container with SEBS-g-MAH-modified interfacial layer (magnified view of the wall section).

2. FTIR 분석

PP/EVOH와 SEBS-g-MAH 블렌드 시, SEBS-g-MAH의 고리 열림(ring-opening) 반응을 통해 형성된 카르복실산(-COOH) 그룹과 EVOH의 하이드록실(-OH) 그룹 간에 에스터화 반응이 발생하는지 확인하기 위해 FTIR 분석을 수행했다. 시료는 PP/EVOH 시편과 SEBS-g-MAH 10%가 블렌드된 PP/EVOH 시편을 사용했다. 각 시료는 두께 0.1 mm, 직경 1.5 cm의 원형으로 제작했다. Thermo Scientific사(Nicolet iS10, Madison Wisconsin, USA)의 분광기를 사용하여 ATR 모드에서 1735 cm^{-1} 부근에서 관찰되는 특징적인 에스터 결합(C=O) 흡수 피크를 통해 MAH와 OH기 반응으로 인한 에스터 결합 형성 여부를 확인했다.

3. Morphology 분석

PP/EVOH 다층 시트의 나노스케일 구조, 상간 계면 및 미세 입자 분산 특성을 관찰하기 위해 TEM (Transmission Electron Microscopy) 분석을 수행했다. 시료는 약 70~100 nm 두께로 제작했으며, 초저온 마이크로톰(Cryo-ultramicrotome, Leica EM UC7, Leica Microsystems, Germany)을 이용해 -80°C 이하 조건에서 절단했다. 절편된 시료는 200 mesh 구리 격자망에 부착하여 명암 대비를 향상시켰다. TEM 분석은 JEOL JEM-2100 (JEOL Ltd., Japan)을 사용하여 고해상도 조건에서 수행했고, 가속 전압은 200 kV로 설정했다. 촬영된 영상은 고감도 CCD 카메라 시스템인 Gatan Orius SC1000 (Gatan Inc., USA)을 통해 획득 및 저장했다. 분석 배율은 5,000배, 20,000배, 50,000배 및 50,000배 이상에서 측정했으며, 이를 바탕으로 시료 내 고분자 상 분리 정도, 계면 구조, 미세 입자의 분산 상태 및 결정성 변화를 평가했다.

4. OTR 분석

재활용 공정에 따른 PP/EVOH 다층 포장재의 산소 차단 성능 변화를 평가하기 위해 산소 투과도(OTR) 분석을 수행했다. OTR 측정은 ASTM D3985 표준 시험 방법에 따라

MOCON OX-TRAN 2/21 (AMETEK MOCON Inc., USA) 장비를 사용하여 진행했다. 시료는 직경 5 cm 원형으로 절단 후 시험 장비 챔버에 고정하여 측정했다. 측정 조건은 $23 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 상대습도 0%(건조 상태)의 표준 환경이며, 산소는 한쪽 표면에 공급하고 반대쪽에는 질소(N_2)를 흘려 산소 투과량을 검출 센서로 감지했다. 시료 두께는 마이크로미터($\pm 0.001\text{ mm}$ 정밀도)로 5지점 이상 측정된 평균값을 사용했으며, 최종 OTR 값은 $\text{cc}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 단위로 환산했다. 각 재활용 횟수별 시료에 대해 3회 반복 측정하여 산소 차단 특성을 정량적으로 평가했다.

5. WVTR 분석

재활용 횟수에 따른 PP/EVOH 다층 포장재의 수분 차단 특성 변화를 정량적으로 평가하기 위해, 수분 투과도(WVTR) 분석을 수행했다. WVTR 측정은 ASTM F1249 표준에 따라 진행되었다. 챔버 내 한쪽 면에 상대습도 100%의 수증기, 반대편에는 상대습도 0%의 건조 질소를 흘려 시편을 통과한 수증기를 적외선 검출기(IR sensor)로 측정하는 방식으로 수행했다. 분석 조건은 $38 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $90 \pm 2\%$ 상대습도였으며, 시험 시편은 직경 5 cm 원형으로 절단 후 분석 챔버에 밀착 고정했다. 시편 두께는 디지털 마이크로미터로 5지점 이상 측정하여 평균값을 산출하였으며, WVTR 결과는 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 단위로 환산했다. 각 조건별 시험은 동일 시료에 대해 3회 반복 측정했고, 평균값과 표준편차를 산출하여 결과의 신뢰성을 확보했다. 이를 통해 수분 차단 특성을 정량적으로 평가했다.

결과 및 고찰

1. Morphology 분석 결과

Fig. 4-7에서 나타나는 바와 같이, SEBS-g-MAH 첨가량이 증가함에 따라 재활용 PP/EVOH 블렌드의 상 분리 구조가 완화되는 경향이 관찰되었다. 이는 SEBS-g-MAH가 효과적인 반응성 상용화제(reactive compatibilizer)로 작용하

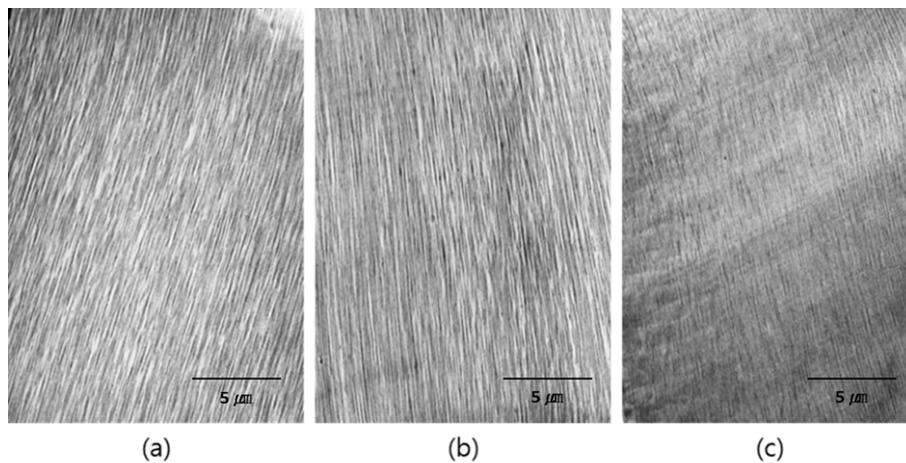


Fig. 4. TEM analysis images (5,000x magnification) show the morphological changes in recycled PP/EVOH blends with different SEBS-g-MAH concentrations. white regions indicate the PP phase, while dark regions represent the SEBS-g-MAH & EVOH phases: (a) 0%, (b) 10%, and (c) 20% SEBS-g-MAH.

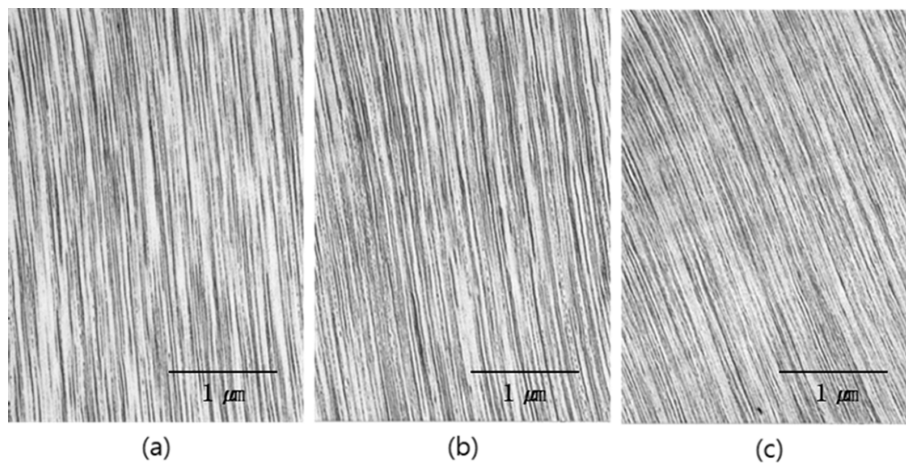


Fig. 5. TEM analysis images (20,000x magnification) show the morphological changes in recycled PP/EVOH blends with different SEBS-g-MAH concentrations. white regions indicate the PP phase, while dark regions represent the SEBS-g-MAH & EVOH phases: (a) 0%, (b) 10%, and (c) 20% SEBS-g-MAH.

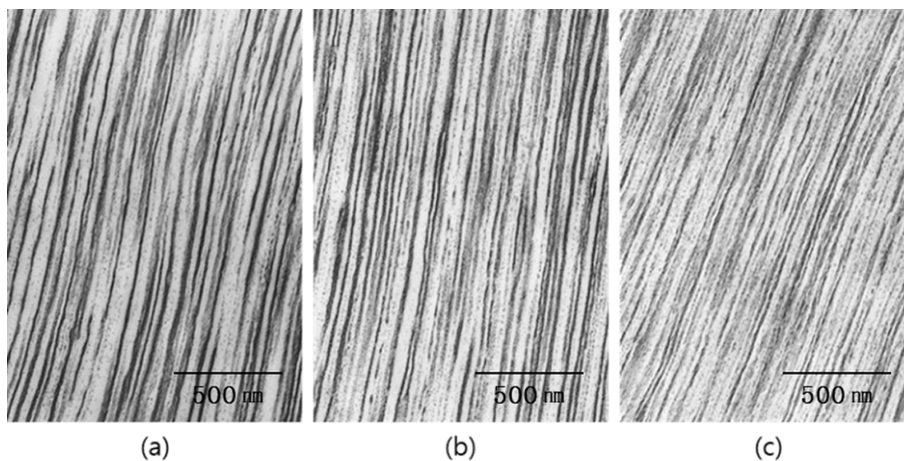


Fig. 6. TEM analysis images (50,000x magnification) show the morphological changes in recycled PP/EVOH blends with different SEBS-g-MAH concentrations. white regions indicate the PP phase, while dark regions represent the SEBS-g-MAH & EVOH phases: (a) 0%, (b) 10%, and (c) 20% SEBS-g-MAH.

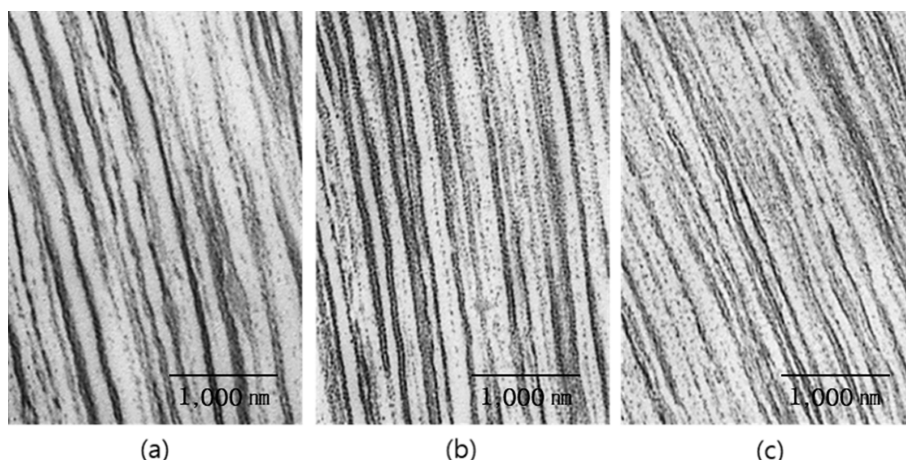


Fig. 7. TEM analysis images (>50,000x magnification) show the morphological changes in recycled PP/EVOH blends with different SEBS-g-MAH concentrations. white regions indicate the PP phase, while dark regions represent the SEBS-g-MAH & EVOH phases: (a) 0%, (b) 10%, and (c) 20% SEBS-g-MAH.

여 상간 계면의 열역학적 비상용성 문제를 완화함을 시사한다^{30,31}. SEBS-g-MAH가 첨가되지 않은 조건에서는 PP 매트릭스 내에 불균일하고 조대한(coarse particles) EVOH 도메인이 독립적으로 분산된 형태로 관찰되었다. 이는 두 상간 계면에 존재하는 높은 계면 자유 에너지와 극성으로 인해 상호 간의 상용성(miscibility)이 극히 낮은 상태를 나타낸다. 반면, SEBS-g-MAH 10 wt% 첨가 시에는 EVOH 도메인의 크기가 감소하고 계면의 명확성이 흐려졌다. 20 wt% 첨가 조건에서는 작은 스케일로 균질하게 분산된 EVOH 상이 PP 연속상 내부에 잘 분산된 이미지를 통해 계면 안정성이 크게 향상되었음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 SEBS-g-MAH 분자 중 MAH 작용기가 EVOH의 수산기(-OH)와 수소 결합 및 부분적인 공유결합 반응을 통해 화학적 계면 결합을 형성하고, 동시에 비극성 SEBS 백본(backbone)은 PP와의 상호작용을 통해 두 상 사이에서 ‘분자적 교량(molecular bridge)’ 역할을 수행하며 물리적 및 화학적 상용성을 동시에 증가시킨 결과로 해석된다³². 이와 같은 계면 안정화는 상 분리 억제, 도메인 미세화, 그리고 계면 장력 감소를 유도함으로써 블렌드의 열역학적 안정성을 향상시킨다. 결과적으로 응력 전달 효율이 높아져 재활용 플라스틱의 기계적 성능 및 가공 안정성 향상으로 이어질 수 있다³³.

또한, 이러한 계면 구조 변화는 반복 재활용 과정에서 물성 저하를 최소화할 수 있는 구조적 기반을 제공한다. 따라서 SEBS-g-MAH의 첨가는 재활용 PP/EVOH 시스템 내에서 상용성 조절뿐 아니라 장기적인 안정성 확보를 위한 전략적 수단으로 기능함을 보여준다. 이는 열역학적 관점에서 SEBS-g-MAH의 첨가가 혼합계의 총 Gibbs 자유 에너지를 감소시켜 상용성을 향상시킨 결과로 해석된다. 일반적으로 두 고분자 상의 상 분리는 혼합 자유 에너지에 따

라 지배되며, 비상용 고분자계에서는 혼합 엔탈피가 양(+)의 큰 값을 가져 혼합 자유 에너지가 양수가 되어 상 분리가 자발적으로 일어난다³⁴.

본 실험에서 SEBS-g-MAH의 MAH 작용기가 EVOH의 수산기와의 수소 결합 및 부분적 공유 결합을 통해 계면에서 화학적 상호작용을 유도함으로써 혼합 엔탈피를 효과적으로 감소시켰다. 동시에 SEBS의 고무상 블록이 PP 매트릭스와의 반데르발스(van der Waals) 상호작용을 통해 두 상 모두에 친화적으로 작용하면서 전체 계의 Gibbs 자유 에너지를 음(-)의 방향으로 이동시켰다. 이러한 반응성 상용화 효과는 상간 계면에서의 계면 장력을 낮추고, EVOH 도메인의 크기를 나노 수준으로 미세화하여 상 분리 경향을 억제함으로써 열역학적으로 보다 안정한 미세 구조를 유도했다. 특히, SEBS-g-MAH 함량이 20 wt%까지 증가함에 따라 EVOH 상이 PP 연속상 내부에 보다 정제된 형태로 균일하게 분산되는 양상이 나타났으며, 이는 혼합 자유 에너지 감소를 통한 상 안정화가 향상된 결과로 해석된다³⁵.

결론적으로, SEBS-g-MAH의 첨가는 단순한 물리적 분산을 넘어 고분자 혼합계의 자유 에너지 평형을 조절함으로써 상 분리 억제 및 구조적 안정성 확보에 기여한다. 또한, 반복 재활용 과정에서 발생할 수 있는 상 열화(degradation of phase/morphology) 및 물성 열화(degradation of physical properties)를 방지하는 열역학적 기반을 제공할 수 있다.

2. FTIR 분석 결과

Fig. 8에 나타난 FTIR 분석 결과, 1735 cm^{-1} 부근에서 에스터 결합(C=O) 흡수 피크가 확인되어 SEBS-g-MAH의 MAH와 EVOH의 OH기가 반응하여 에스터 결합이 형성되었음을 확인했다. FTIR 분석을 통해 SEBS-g-MAH 첨가 여부에 따른 PP/EVOH 블렌드의 화학 구조 변화를 비교한

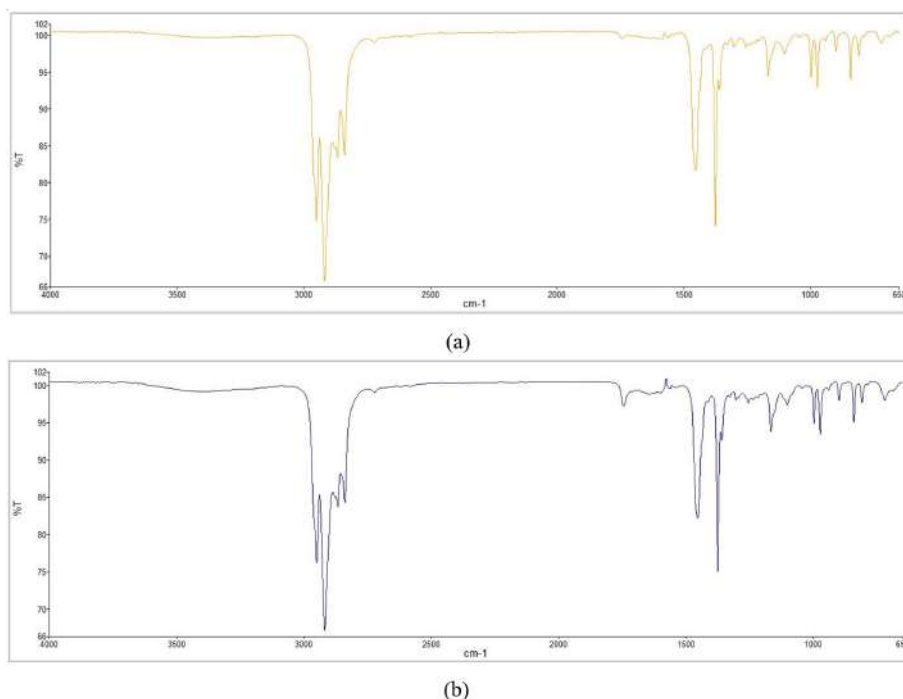


Fig. 8. FT-IR spectra of (a) PP/EVOH blend without SEBS-g-MAH and (b) PP/EVOH blend with 10 wt% SEBS-g-MAH. In spectrum (b), a new absorption band appears near 1735 cm^{-1} , corresponding to the C=O stretching vibration of ester groups. This indicates the formation of ester linkages resulting from the chemical reaction between maleic anhydride (MAH) groups in SEBS-g-MAH and hydroxyl (-OH) groups in EVOH, confirming interfacial compatibilization.

결과, 약 1735 cm^{-1} 부근에서 유의미한 흡수 피크 유무 차이가 관찰되었다. SEBS-g-MAH가 첨가된 시료(Fig. 8(b))에서는 해당 파수 영역에서 뚜렷한 흡수 피크가 확인되었는데, 이는 일반적으로 에스터 작용기(-COO-) 내 카보닐기(C=O)의 신축 진동(stretching vibration)에 기인하는 것으로 알려져 있다. 반면, SEBS-g-MAH가 첨가되지 않은 대조군 시료(Fig. 8(a))에서는 동일한 파수대에서 명확한 흡수 피크가 나타나지 않거나, 검출 가능한 수준 이하로 매우 약하게 나타났다. 이러한 스펙트럼 차이는 SEBS-g-MAH의 말레인산 무수물 구조가 EVOH 고분자 사슬의 하이드록실기(-OH)와 화학적으로 반응하여 에스터 결합을 형성했을 가능성을 시사한다.

MAH는 반응성이 높은 친전자성 작용기로, 고분자 블렌드의 상용성(compatibility)을 향상시키기 위한 개질제로 널리 사용된다. 또한, 수산기와의 반응을 통해 수분 존재 하에 에스터화 반응을 일으켜 안정한 공유 결합을 형성하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 에스터 결합이 형성될 경우 FTIR 스펙트럼에서는 $1720\sim 1750\text{ cm}^{-1}$ 범위 내에서 특유의 카보닐기 신축 진동 피크가 나타난다. 본 연구에서도 SEBS-g-MAH가 첨가된 시료에서 1735 cm^{-1} 부근에서 이와 일치하는 특성 피크가 확인되었다. 이는 SEBS-g-MAH 내 MAH 작용기가 EVOH의 하이드록실기와의 반응을 통해 계면에서 에스터 결합을 형성했음을 간접적으로 입증하

는 결과로 해석될 수 있다. 따라서 이러한 분석 결과는 SEBS-g-MAH가 단순한 물리적 혼합제로 작용한 것이 아니라, 고분자 간의 화학적 상호작용을 유도함으로써 PP와 EVOH 간 계면 결합력을 향상시키고, 나아가 블렌드 복합체 내에서 보다 안정된 계면 구조와 우수한 물성을 구현하는 데 기여했음을 의미한다. 이는 향후 고분자 복합체의 상용성 개선을 위한 개질제 설계에 있어 SEBS-g-MAH와 같은 기능성 블록 공중합체의 적용 가능성을 시사하는 중요한 근거로 활용될 수 있다.

3. OTR 분석 결과

OTR 분석 결과에 따르면, SEBS-g-MAH 함량이 증가할수록 산소 차단성이 유의미하게 향상됨을 확인했다. Table 2와 Fig. 9에서 나타난 SEBS-g-MAH 0% 그룹은 시험 초기와 12시간 경과 후 모두에서 상대적으로 높은 산소 투과 특성을 보여, SEBS-g-MAH가 부재할 경우 산소 차단 효과가 저하됨을 시사한다. 반면, Table 3과 Fig. 10에서 나타난 SEBS-g-MAH 10% 그룹은 동일한 조건에서 더 우수한 산소 차단성을 보였다. 특히 Table 4와 Fig. 11에 제시된 SEBS-g-MAH 20% 그룹은 전체 측정 시간 동안 가장 우수한 산소 차단 특성을 나타내, SEBS-g-MAH 함량 증가가 산소 투과를 현저히 억제하는 데 기여함을 입증했다. 이러한 결과는 SEBS-g-MAH의 첨가가 고분자 재료의 차

Table 2. Oxygen Transmission Rate (OTR) of recycled PP/EVOH without SEBS-g-MAH

Time (hr)	SEBS-g-MAH 0% Test 1	SEBS-g-MAH 0% Test 2	SEBS-g-MAH 0% Test 3
0	0.00	0.00	0.00
1	29.27	30.24	28.13
2	11.62	12.58	11.45
3	6.93	7.22	5.86
4	6.20	5.98	4.51
5	5.34	4.22	3.95
6	5.13	3.96	3.54
7	4.92	3.64	3.31
8	4.90	3.45	3.21
9	4.67	3.25	3.19
10	4.62	3.22	3.17
11	4.55	3.20	3.16
12	4.55	3.18	3.15

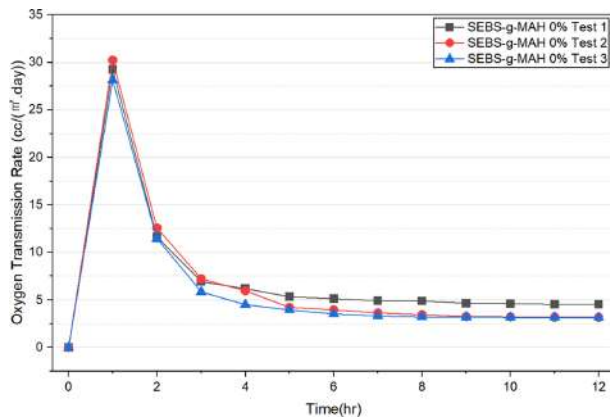


Fig. 9. Oxygen Transmission Rate (OTR) measurements (n=3) for recycled PP/EVOH without SEBS-g-MAH.

Table 4. Oxygen Transmission Rate (OTR) of recycled PP/EVOH with 20% SEBS-g-MAH

Time (hr)	SEBS-g-MAH 20% Test 1	SEBS-g-MAH 20% Test 2	SEBS-g-MAH 20% Test 3
0	0.00	0.00	0.00
1	26.17	26.14	25.13
2	8.52	8.48	8.43
3	3.83	3.12	2.84
4	2.10	1.88	1.49
5	1.26	1.14	0.93
6	1.05	0.88	0.52
7	0.84	0.56	0.29
8	0.82	0.37	0.19
9	0.59	0.17	0.17
10	0.54	0.14	0.15
11	0.47	0.10	0.14
12	0.45	0.08	0.15

Table 3. Oxygen Transmission Rate (OTR) of recycled PP/EVOH with 10% SEBS-g-MAH

Time (hr)	SEBS-g-MAH 10% Test 1	SEBS-g-MAH 10% Test 2	SEBS-g-MAH 10% Test 3
0	0.00	0.00	0.00
1	28.17	29.04	26.93
2	10.52	11.38	10.25
3	5.83	6.02	4.66
4	4.10	4.78	3.31
5	3.26	4.04	2.75
6	3.05	3.78	2.34
7	2.84	3.46	2.11
8	2.82	3.27	2.01
9	2.59	3.17	1.99
10	2.54	3.04	1.97
11	2.47	3.11	1.96
12	2.45	2.98	1.95

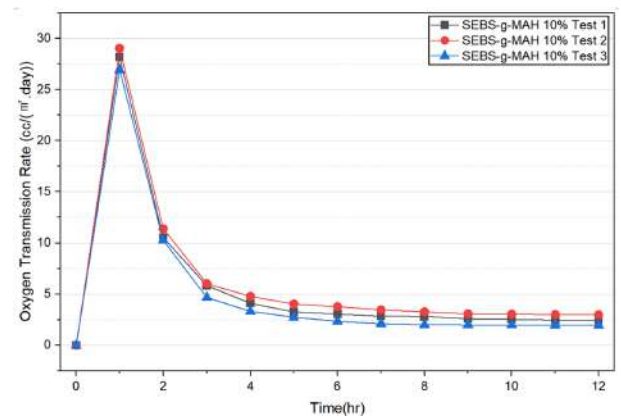


Fig. 10. Oxygen Transmission Rate (OTR) measurements (n=3) for recycled PP/EVOH with 10% SEBS-g-MAH.

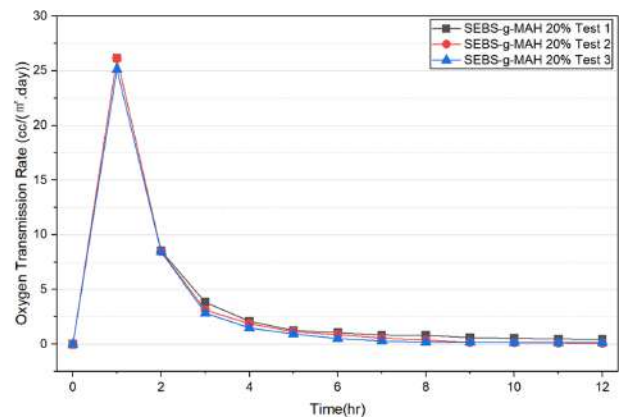


Fig. 11. Oxygen Transmission Rate (OTR) measurements (n=3) for recycled PP/EVOH with 20% SEBS-g-MAH.

단성을 향상시킴을 시사한다³⁶). SEBS-g-MAH 첨가에 관한 학술적 해석 시 다음과 같은 메커니즘을 통해 설명할 수 있다.

첫째, 극성 상호작용 및 치밀한 구조 형성.

SEBS-g-MAH에 도입된 말레산 무수물 작용기는 EVOH와 같은 극성 고분자나 무기 필러와 강한 상호작용을 유도하여 계면 접착력을 강화한다. 이로 인해 고분자 매트릭스 내부에 산소 투과를 효과적으로 저해하는 치밀하고 균일한 구조가 형성된다³⁷⁾.

둘째, 구불구불한 경로 효과(Tortuous Path Effect) 극대화.

복합재료 시스템에서 SEBS-g-MAH는 미세하게 분산된 EVOH 도메인 주변에 정렬되어, 산소 분자가 시트를 투과해야 하는 경로를 현저히 길게 만드는 역할을 한다. 이는 마치 미로와 같은 복잡한 경로를 형성하여 가스 분자의 이동을 지연시키는 “구불구불한 경로 효과”를 극대화해 투과도를 낮추는 핵심적인 요인이 된다³⁸⁾.

셋째, 자유 부피(Free Volume) 감소.

SEBS-g-MAH의 도입은 고분자 사슬 간의 패킹 밀도(packing density)를 증가시켜 고분자 내의 자유 부피를 감소시킨다. 자유 부피는 고분자 사슬의 운동이 가능한 빈 공간을 의미하는데, 이 부피가 줄어들면 산소 분자가 고분자 막 내에서 이동할 수 있는 공간이 제한되어 확산 계수(diffusion coefficient)가 낮아진다. 결과적으로 이는 산소 투과도 감소에 직접적으로 기여한다³⁹⁾.

Table 5. Water Vapor Transmission Rate (WVTR) of recycled PP/EVOH without SEBS-g-MAH

Time (hr)	SEBS-g-MAH 0% Test 1	SEBS-g-MAH 0% Test 2	SEBS-g-MAH 0% Test 3
0	0.000	0.000	0.000
1	0.372	0.348	0.346
2	0.591	0.551	0.564
3	0.742	0.704	0.714
4	0.686	0.654	0.654
5	0.639	0.606	0.605
6	0.613	0.559	0.574
7	0.586	0.535	0.558
8	0.565	0.517	0.534
9	0.538	0.495	0.518
10	0.524	0.485	0.499
11	0.511	0.478	0.493
12	0.505	0.470	0.483
13	0.498	0.468	0.476
14	0.497	0.460	0.471
15	0.497	0.457	0.467
16	0.495	0.459	0.466
17	0.496	0.458	0.467
18	0.495	0.457	0.466
19	0.496	0.458	0.465
20	0.495	0.458	0.465
21	0.496	0.457	0.465
22	0.494	0.458	0.466
23	0.496	0.458	0.465

4. WVTR 분석 결과

Table 5-7과 Fig. 12-14에서 확인된 바와 같이, 재활용 PP/EVOH 블렌드에 SEBS-g-MAH 첨가량이 증가할수록 WVTR이 유의미하게 감소하는 경향을 보였다. 이는 SEBS-g-MAH가 다층 구조 내에서 발생하는 비상용적 상 분리(non-compatible phase separation)를 억제하고, PP와 EVOH 간의 계면 접착력을 향상시켜 수분의 투과 경로를 효과적으로 차단했기 때문으로 분석된다.

SEBS-g-MAH의 MAH 작용기는 극성기로서, EVOH 내 수산기(-OH)와 수소 결합 또는 공유 결합과 유사한 상호작용을 유도한다. 이로 인해 비극성 PP 매트릭스와 극성 EVOH 장벽층 사이의 계면 접착력이 강화되고, 계면층에서의 층간 박리나 미세 공극 형성이 현저히 감소한다. 결과적으로 수증기의 투과 경로가 단축되고 복잡해지면서 WVTR이 감소하게 된다⁴⁰⁾. 또한, SEBS-g-MAH는 고무상(gum phase)을 포함하는 블록 공중합체로서 재활용층 내 내부 응력 완화와 계면 인장 응력 분산에 기여한다. 이는 다층 구조의 기계적 안정성과 수분 장벽 특성의 지속성(long-term barrier stability)을 동시에 향상시킨다. 특히, 20 wt% 첨가 조건에서는 가장 낮은 WVTR 수치를 나타냈는데, 이는 구조적 치밀도와 계면 연속성이 가장 우수하게 형성되었음을

Table 6. Water Vapor Transmission Rate (WVTR) of recycled PP/EVOH with 10% SEBS-g-MAH

Time (hr)	SEBS-g-MAH 10% Test 1	SEBS-g-MAH 10% Test 2	SEBS-g-MAH 10% Test 3
0	0.000	0.000	0.000
1	0.131	0.125	0.137
2	0.358	0.398	0.365
3	0.677	0.663	0.677
4	0.522	0.517	0.528
5	0.375	0.406	0.389
6	0.330	0.362	0.346
7	0.310	0.340	0.322
8	0.294	0.323	0.308
9	0.274	0.309	0.289
10	0.269	0.299	0.279
11	0.265	0.292	0.273
12	0.256	0.284	0.265
13	0.250	0.279	0.263
14	0.250	0.278	0.261
15	0.249	0.277	0.261
16	0.245	0.275	0.260
17	0.245	0.276	0.258
18	0.242	0.275	0.258
19	0.243	0.276	0.259
20	0.242	0.275	0.259
21	0.243	0.275	0.258
22	0.242	0.276	0.259
23	0.243	0.275	0.258

Table 7. Water Vapor Transmission Rate (WVTR) of recycled PP/EVOH with 20% SEBS-g-MAH

Time (hr)	SEBS-g-MAH 20% Test 1	SEBS-g-MAH 20% Test 2	SEBS-g-MAH 20% Test 3
0	0.000	0.000	0.000
1	0.137	0.125	0.131
2	0.271	0.302	0.296
3	0.653	0.647	0.655
4	0.450	0.430	0.467
5	0.394	0.370	0.409
6	0.325	0.318	0.357
7	0.286	0.270	0.309
8	0.272	0.253	0.296
9	0.253	0.240	0.278
10	0.244	0.230	0.265
11	0.237	0.223	0.260
12	0.230	0.215	0.251
13	0.228	0.210	0.247
14	0.226	0.209	0.245
15	0.226	0.208	0.244
16	0.225	0.206	0.240
17	0.223	0.207	0.240
18	0.224	0.206	0.237
19	0.224	0.207	0.238
20	0.223	0.206	0.237
21	0.223	0.207	0.238
22	0.224	0.209	0.237
23	0.223	0.208	0.237

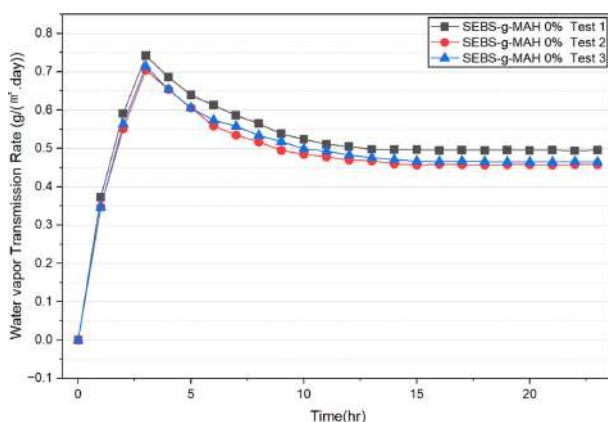


Fig. 12. Water Vapor Transmission Rate (WVTR) measurements (n=3) for recycled PP/EVOH without SEBS-g-MAH.

시사한다. 또한, 혼합 자유 에너지 관점에서 볼 때, SEBS-g-MAH의 첨가는 복합체 내 상간 혼합의 자유 에너지를 더욱 음의 방향으로 유도하여 열역학적으로 안정한 상 분산 상태를 형성하게 한다. 이때 식 (1)과 같이 MAH기의 도입은 혼합 엔탈피를 감소시키는 방향으로 작용하며, 계면에서의 친화력을 증가시키고 상 분리 경향을 저감시켜 복합

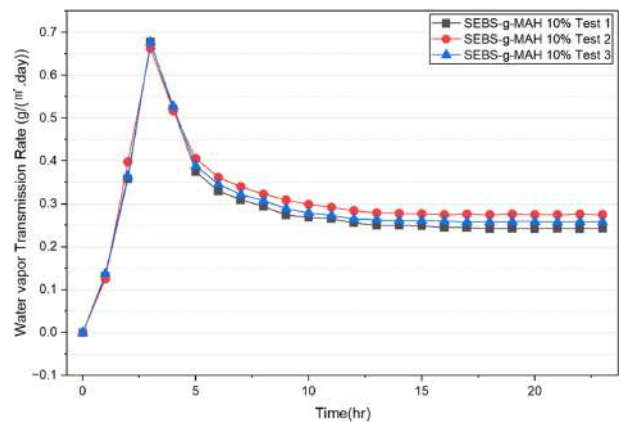


Fig. 13. Water Vapor Transmission Rate (WVTR) measurements (n=3) for recycled PP/EVOH with 10% SEBS-g-MAH.

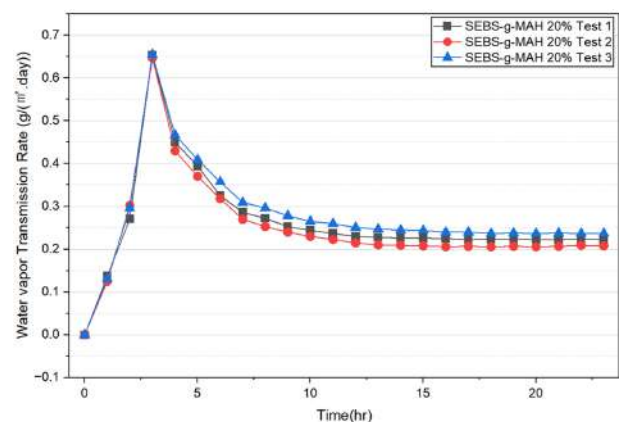


Fig. 14. Water Vapor Transmission Rate (WVTR) measurements (n=3) for recycled PP/EVOH with 20% SEBS-g-MAH.

다층 구조의 수분 투과 저항성을 증대시킨다.

수분 차단 특성 결과는 SEBS-g-MAH가 재생된 PP/EVOH 다층 시트의 계면 특성을 향상시키고, 구조적 연속성과 장벽 기능성을 동시에 개선할 수 있는 유효한 계면 개질제(interfacial compatibilizer)로 기능함을 보여준다. 특히, SEBS-g-MAH 20 wt% 조건에서 수분 차단 성능이 극대화되는 현상은 재활용 기반 수분 차단성 포장재 개발에 있어 중요한 설계 변수로 활용될 수 있다.

요 약

본 연구는 재활용 PP/EVOH 기반 다층 시트에 SEBS-g-MAH를 0, 10, 20 wt.% 첨가했을 때 미치는 영향을 종합적으로 평가했다.

실험 결과, SEBS-g-MAH 함량이 증가함에 따라 OTR 및 WVTR이 유의미하게 감소하여 기체 및 수분 차단성이 향상됨을 확인했다. TEM 분석에서는 SEBS-g-MAH가 첨가되지 않은 시편의 불균일한 EVOH 도메인이 SEBS-g-

MAH 첨가 시 나노 수준으로 균일하게 분산되는 현상이 나타났다. FTIR 분석을 통해서 SEBS-g-MAH가 첨가된 시편의 1735 cm⁻¹ 부근에서 에스터 결합(C=O) 흡수 피크가 뚜렷이 관찰되었다. 이는 SEBS-g-MAH의 말레인 무수물(MAH) 작용기가 EVOH의 하이드록실기(-OH)와 화학적으로 반응해 안정한 공유 결합을 형성했음을 입증한다.

이러한 결과는 SEBS-g-MAH의 양친매성(amphiphilic) 구조가 EVOH와의 화학적 상호작용과 PP와의 물리적 상호작용을 통해 분자적 교량(molecular bridge) 역할을 수행했기 때문으로 해석된다. 이로 인해 계면 안정화, 상 분리 억제, 도메인 미세화가 이루어졌고, 결과적으로 복합체의 열역학적 안정성 향상과 응력 전달 효율 증대를 가져왔다. 특히 SEBS-g-MAH의 함량 증가는 계면 친화력 강화와 미세 구조 안정화를 촉진하여, 재활용 과정에서도 장기적인 산소 및 수분 차단 기능 유지를 가능하게 했다.

결론적으로, 본 연구는 SEBS-g-MAH가 재활용 PP/EVOH 시스템의 분산 상태 및 차단 성능을 개선할 수 있는 효과적인 전략적 계면 개질제임을 명확히 제시한다. 이는 PP/EVOH 재활용 포장재 개발에 있어 지속 가능한 고성능 소재 솔루션으로서의 활용 가능성을 보여주는 중요한 근거가 될 것이다.

참고문헌

- Kang, H.W. 2024. Overcoming the limitations of complex materials in instant rice containers. *Daily Pharm.* Retrieved from <https://v.daum.net/v/fhb1lr7A1e>
- Chun, Y.J. and Ahn, T.K. 2006. A study of properties of recycled PP/EVOH/PP scrap by compatibilizers. *J. Korea Academia-Industrial Cooperation Society.* 11: 283-286. Retrieved from <https://www.koreascience.or.kr/article/CFKO200606950836411.page>.
- Bauer, A.S., Tacker, M., Uysal, I.U., Cruz, R.M.S., Varzakas, T., and Krauter, V. 2021. Recyclability and redesign challenges in multilayer flexible food packaging—A review. *Foods*, 10(11), 2702. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/11/2702#>
- Kim, D.H. and Kim, J.S. 2016. The grafted polypropylene copolymer containing itaconic acid and the compatibilizer for its use in PP/EVOH blends. KR Patent 1020160023987.
- Chun, Y.J. and Ahn, T.K. 2008. The thermal and mechanical properties of recycled PP/EVOH/PP scrap with compatibilizers. *J. Korea Academia-Industrial Cooperation Society.* 9(1): 176-181. Retrieved from <https://doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.1.176>
- Wang, L. 2019. Effect of regrind content on PP-EVOH sheets properties and effect of orientation on permeability of EVOH multilayer films. M.Eng. dissertation, Polytechnique Montreal Technological University. Retrieved from https://publications.polymtl.ca/4013/1/2019_LiliWang.pdf
- Gimenez, E., Lagaron, J.M., Cabedo, L., Gavara, R. and Saura, J. 2004. Study of the thermoformability of ethylene-vinyl alcohol copolymer based barrier blends of interest in food packaging applications. *J. Appl. Polym. Sci.* 91: 3851-3855. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/229868738_Study_of_the_thermoformability_of_ethylene-vinyl_alcohol_copolymer_based_barrier_blends_of_interest_in_food_packaging_applications
- DESU Plastic. n.d. High barrier PE/EVOH/PP plastic sheet for thermoforming. DESU Plastic. Retrieved from <https://desuplastic.com/study/high-barrier-pe-evoh-pp-plastic-sheet-for-thermoforming/>
- Maddah, H. 2016. Polypropylene as a promising plastic: A review. *J. Chem. Eng. Process Technol.* 7(3): 2163-1352. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/290439450_Polypropylene_as_a_Promising_Plastic_A_Review
- Uyor, U.O., Popoola, P.A., Popoola, O.M. and Aigbodion, V.S. 2023. A review of recent advances on the properties of polypropylene - carbon nanotubes composites. *J. Thermoplast. Compos. Mater.* 36(9): 3737-3770. Retrieved from 10.1177/08927057221077868
- Wikipedia contributors. 2025. Polypropylene. Wikipedia: The Free Encyclopedia. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>
- Mokwena, K. 2010. Barrier properties of ethylene vinyl alcohol films. Ph.D. dissertation, Washington State University, USA Retrieved from https://www.dissertations.wsu.edu/Dissertations/Spring2010/k_mokwena_050310.pdf
- Matsui, Y. 2004. Study on orientable EVOH. *TAPPI Journal*, 3(10): 29-35. Retrieved from <https://www.tappi.org/content/enewsletters/eplace/2004/10-3matsui.pdf>
- Dalgicdir, C. 2015. Investigation of barrier properties of as cast and oriented EVOH films. M.Eng. dissertation, Sabanci University. Retrieved from <https://research.sabanciuniv.edu/16333/1/CahitDalgicdir.PDF>
- Detogni, G. 2012. Tie layers development for Triple Bubble® technology. M.Eng. dissertation, Politecnico di Milano. Retrieved from https://www.politesi.polimi.it/retrieve/a81cb05d-7922-616b-e053-1605fe0a889a/Detogni_thesis.pdf
- Lee, S.H. 2015. The microstructure of polypropylene blends with ethylene vinyl alcohol copolymer. Ph.D. dissertation, McGill University. Retrieved from <https://escholarship.mcgill.ca/downloads/wp988m10n.PDF>
- Mokwena, K. 2010. Barrier properties of ethylene vinyl alcohol films. Ph.D. dissertation, Washington State University. Retrieved from https://www.dissertations.wsu.edu/Dissertations/Spring2010/k_mokwena_050310.pdf
- Kim, J. S., Jang, J. H., Jeon, D. G. and Kim, D. H. 2014. Preparation of PP-g-IA and its compatibilizing effects in PP/EVOH blends. *Elastomers and Composites*, 49(3), pp. 241-247. Retrieved from <https://doi.org/10.7473/EC.2014.49.3.225>
- Yeo, J. H., Lee, C. H., Park, C. S., Lee, K. J., Nam, J. D. and Kim, S. W. 2001. Rheological, morphological, mechanical, and barrier properties of PP/EVOH blends. *Advances in Polymer Technology.* Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adv.1015>
- Utracki, L. A. and Wilkie, C. A. 2014. *Polymer Blends*

- Handbook. Springer.
21. Sperling, L. H. 2006. Introduction to physical polymer science. 4th Ed. Wiley.
 22. Rubinstein, M. and Colby, R. H. 2003. Polymer physics. Oxford University Press.
 23. Pajares, E., Maestu, J. F., Fernandez-de-Mendiola, I., Silvan, U., Costa, P., Agirrezabal-Telleria, I., Tubio, C. R., Corona-Galván, S. and Lanceros-Mendez, S. 2024. Strategies for improving sustainability in the development of high-performance styrenic block copolymers by developing blends with cellulose derivatives. *Polymers*, 16(6), pp. 856. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/polym16060856>
 24. Kusmono, Ishak, Z. A. M., Chow, W. S., Takeichi, T. and Rochmadi. 2008. Compatibilizing effect of SEBS-g-MA on the mechanical properties of different types of OMMT filled polyamide 6/polypropylene nanocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.08.009>
 25. Cui, J., Wang, C., Zhang, T., Xiao, Z. and Xie, X. 2024. Super Tough PA6/PP/ABS/SEBS Blends Compatibilized by a Combination of Multi-Phase Compatibilizers. *Materials*, 17(21), pp. 5370. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ma17215370>
 26. Zhang, X., Li, Y. and Wang, J. 2021. Structure and properties of PP/EVOH blends: Influence of MAH-based compatibilizers. *Plast. Mater. China*.
 27. Jung, J. S., Kim, D. H., Kim, D. H. and Lee, Y. S. 2021. Various properties of PP/EVOH blends applying itaconic acid-based compatibilizer according to ethylene content in the EVOH. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 60(11), pp. 1176-1184. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/25740881.2021.1882492>
 28. Yeo, J. H., Lee, C. H., Park, C. S., Lee, K. J., Nam, J. D. and Kim, S. W. 2001. Rheological, morphological, mechanical, and barrier properties of PP/EVOH blends. *Advances in Polymer Technology*. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/adv.1015>.
 29. Ait-Kadi, A., Bousmina, M., Yousefi, A. A. and Mighri, F. 2007. High performance structured polymer barrier films obtained from compatibilized polypropylene/ethylene vinyl alcohol blends. *Polymer Engineering and Science*, 47(7), pp. 895-901. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/pen.20794>
 30. Zhang, Q., Xu, K., Deng, J., Wu, H. and Guo, S. 2012. Effects of SEBS-g-MAH on morphology and mechanical properties of PPO/HIPS/talc composites. *Gaofenzi Cailiao Kexue Yu Gongcheng (Polymeric Materials Science and Engineering)*, 28(11), pp. 109-112. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/281908401_Effects_of_SEBS-g-MAH_on_morphology_and_mechanical_properties_of_PP_OHIPStalc_composites
 31. Koning, C., Van Duin, M., Pagnoulle, C. and Jérôme, R. 1998. Strategies for compatibilization of polymer blends. *Progress in Polymer Science*, 23(4), pp. 707-757. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(97\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(97)00054-3)
 32. Kim, J. S., Jang, J. H., Kim, J. H., Lim, D. Y., Lee, Y. S., Chang, Y. W. and Kim, D. H. 2016. Morphological, thermal, rheological and mechanical properties of PP/EVOH blends compatibilized with PP-g-IA. *Polymer Engineering & Science*, 56(10), pp. 1148-1156. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/pen.24357>
 33. Jazani, O. M., Arefazar, A., Jafari, S. H. and Peymanfar, M. R. 2013. SEBS-g-MAH as a reactive compatibilizer precursor for PP/PTT/SEBS ternary blends: Morphology and mechanical properties. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52(2), pp. 206-212. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/03602559.2012.735739>
 34. Khan, I., Chohan, M. M. and Mazumder, M. A. J. 2018. Polymer Blends. In *Functional Polymers. Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series* (1st Ed. Chap. 16, pp. 1-38). Springer, Cham. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92067-2>
 35. Jazani, O. M., Arefazar, A., Jafari, S. H., Peymanfar, M. R., Kiasat, A. R. and Sadeghi, M. 2013. Corrigendum to SEBS-g-MAH as a Reactive Compatibilizer Precursor for PP/PTT/SEBS Ternary Blends: Morphology and Mechanical Properties. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52(9). Retrieved from <https://doi.org/10.1080/03602559.2013.801312>
 36. Bayer, U., Berberich, D., Jones, R. L., Neubig, A. and Sun, Q. 2016. Polymer blends for improved gas barrier properties WIPO 2017066189A1. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/WO2017066189A1/en>
 37. Abedin, F. N. J., Hamid, H. A., Alkarkhi, A. F. M., Abu Amr, S. S., Khalil, N. A., Yahaya, A. N. A. and Zulkifli, M. 2021. The effect of graphene oxide and SEBS-g-MAH compatibilizer on mechanical and thermal properties of acrylonitrile-butadiene-styrene/talc composite. *Polymers*, 13(18), pp. 3180. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/polym13183180>
 38. Wolf, C., Angellier-Coussy, H., Gontard, N., Doghieri, F. and Guillard, V. 2018. How the shape of fillers affects the barrier properties of polymer/non-porous particles nanocomposites: A review. *Journal of Membrane Science*. 556: 393-418. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.03.085>
 39. Frounchi, M. and Dourbash, A. 2009. Oxygen barrier properties of poly(ethylene terephthalate) nanocomposite films. *Macromolecular Materials and Engineering*, 294(1), pp. 68-74. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/mame.200800238>
 40. Tariq, A., Afzal, A., Abdul Rashid, I. and Shakir, M. F. 2020. Study of thermal, morphological, barrier and viscoelastic properties of PP grafted with maleic anhydride (PP-g-MAH) and PET blends. *Journal of Polymer Research*. 27: Article 309. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10965-020-02291-2>

신선 꽃송이버섯(*Sparassis latifolia*)의 저장·유통 중 품질 유지 및 가공 활용 기술에 대한 종합 고찰

최지원^{1*} · 권나영¹ · 조재한¹ · 허병수² · 안기홍³ · 장민선¹ · 임종국¹

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 저장유통과

²전북특별자치도농업기술원

³농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 버섯과

A Comprehensive Review of Quality Preservation and Processing Utilization Techniques for Fresh *Sparassis latifolia* During Storage and Distribution

Ji Weon Choi^{1*}, Nayeong Kwon¹, Jae-Han Cho¹, Byong-Soo Heo², Gi-Hong An³, Min-Sun Chang¹,
and Jong-Guk Lim¹

¹Postharvest Technology Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

²Jeonbuk State Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea

³Mushroom Research Division, Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Eumseong 27709, Korea

Abstract This review comprehensively examines current and emerging technologies for maintaining quality and enhancing the processing utilization of *Sparassis latifolia*, a high-value edible mushroom primarily cultivated in Korea. *S. latifolia* is rich in β -glucan and various functional compounds, but its high moisture content and delicate texture make it highly susceptible to rapid quality deterioration during storage and distribution. This paper summarizes established freshness preservation techniques, including micro-perforated films, functional and intelligent packaging, and modified or controlled atmosphere (MA/CA) packaging. In addition, emerging technologies for non-thermal sterilization, photodynamic inactivation (PDI), and nanocomposite packaging are discussed. The review also outlines the general composition, standard specifications, and domestic quality standards for *S. latifolia*. Furthermore, various processing methods including hot water and ethanol extraction, hot-air drying, and freeze-drying are compared in terms of their applicability and extraction efficiency. These findings are expected to provide a practical foundation for future research aimed at improving the storability and value-added utilization of fresh *S. latifolia*.

Keywords *Sparassis*, Freshness preservation, Storage and distribution, Packaging technology, Processing utilization

서 론

꽃송이버섯속(*Sparassis*)은 Sparassidaceae Herter과에 속하며¹⁾, 주로 북반구의 온대 및 냉대지역에서 발견되는 종들로 유럽, 북미, 동아시아를 중심으로 널리 분포되어 있다. 이 속에는 *Sparassis crispa*, *S. radicata*, *S. brevipes*, *S. spathulata*, *S. cystidiosa*, *S. latifolia*, *S. nemecii*, *S. laminosa*,

그리고 최근 보고된 *S. miniensis* 등 19종이 포함되어 있다^{2,3)}.

꽃송이버섯은 1998년 일본에서 최초로 인공재배에 성공하였으며, 우리나라를 포함한 중국, 독일, 미국 등지에서 성공적으로 재배되고 있다. 특히 *S. latifolia* 종은 아시아 지역에서 널리 재배되며, 다당류 중심의 기능성 성분 연구가 주로 보고되고 있다. 국내에서는 2000년대 초반부터 일부 농가 및 연구기관을 중심으로 재배 시도가 이루어졌으나 발이율이 극히 낮아 상업적 재배로의 확대에는 어려움이 있었다. 2019년 이후 배지 pH와 C/N율이 꽃송이버섯 발이에 중요한 역할을 하는 것이 구명됨에 따라 현재는 방임생산이 가능한 기술 수준에 도달하였다. 이에 2019년까지 국내에 등록된 품종은 '너울⁴⁾'이 유일했으나 현재는 5품종이 등

*Corresponding Author: Ji Weon Choi
National institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Wanju 54874, Republic of Korea
Tel: +82-63-238-6521, Fax: +82-63-238-6505
E-mail: jwcnpri@korea.kr



록되었고 한여울⁵⁾ 등 2품종이 출원되었다. 꽃송이버섯의 재배 주기가 길어지는 이유에 대해 Shu 등(2022)은 균사가 배양 과정에서 분비하는 과도한 옥살산(oxalic acid)이 자기생장을 억제하고 배지 분해를 지연시키기 때문이라고 밝혔고, 옥살산 조절이 재배 주기 단축의 핵심전략이라고 하였다. 최근에는 일본 및 중국으로부터 도입된 *S. latifolia*의 인공재배도 이루어지고 있다. 특히 β -글루칸 함량, 성장 속도, 자실체 형상 등에서 유전적 차이를 보이는 품종들이 선발 및 분화되고 있다²⁾. 최근 산림청 국립산림과학원에서 ‘썸머퀸’이라는 꽃송이버섯 신품종을 개발하고 품종보호를 출원(출원번호 2023-5)하였다. 이 품종은 기존 꽃송이버섯에 비해 재배기간이 약 1/3가량 단축되어, 3개월 이내에 수확이 가능한 것이 특징이다(국립산림과학원, 2023).

Sparassis 속은 단백질, 탄수화물, 지질, 비타민, 무기염류 등 다양한 영양소와 생리활성 화합물이 풍부하며, 다당류, 페놀 화합물, 테르페노이드, 렉틴 등의 생리활성 성분이 항염, 항산화, 면역조절, 항암, 항균, 혈당강하, 지질강하 등의 생리활성을 나타내는 것으로 보고되었다³⁾. 특히 꽃송이버섯에 다량 함유된 β -글루칸은 면역세포 수용체와 특이적으로 결합하여 면역 증강하는 효과와 더불어 항암 효과, 항염 효과, 항산화 작용 및 항당뇨 효과 등 다양한 효능이 보고

되어 있다²⁾. 최근 한국에서는 신선 꽃송이버섯 유통하거나 택배를 통한 직거래 소비가 확대되고 있으며, 건조 및 분말 가공 후 건강기능성 소재나 간편식 재료로 활용되는 사례도 증가하고 있다. 특히, 고함량 β -글루칸의 생리활성이 소비자 인식 개선에 긍정적 영향을 주며, 건조, 냉동 및 동결 건조를 거쳐 기능성 식품, 분말차, 캡슐형 건강보조식품 등 고부가가치 제품 개발이 활발히 진행 중이다. 그러나 신선 꽃송이버섯 수확후 저장 및 유통에 관한 연구와 적용 기술이 매우 적으며, 건조 방법에 대한 연구 보고 또한 제한적이다.

본 조사에서는 *S. latifolia*¹⁾와 *S. crispa*⁷⁾의 형태 차이를 구분하여 기술하였으며, 이 외 품질 규격, 수확후 관리 기술, 가공 방법, 기능성 성분 및 효능 등에 관해서는 두 종을 구별하지 않고 통합적으로 다루었다. 수확후 관리 기술 및 가공 방법에 대해서는 꽃송이버섯과 외형적으로 유사한 흰목이버섯(*Tremella fuciformis* Berk.) 또는 기타 버섯류에 적용되고 있는 MA 포장, 멸균, 보존제 처리, 건조 방법 및 유효 성분 추출 기술 등을 중심으로, 꽃송이버섯에의 적용 가능성을 고찰하였다. 본 조사는 꽃송이버섯의 저장성 향상 및 부가가치 증대를 위한 기초자료로 활용하고, 향후 산업적 이용 확대 및 기술 개발의 방향성을 제시하는데 목적이 있다.

Table 1. Comparison of growth environment and morphological characteristics between *Sparassis latifolia* and *S. crispa*.(2, 54, 55)

Category	Characteristics	
	<i>Sparassis latifolia</i>	<i>Sparassis crispa</i>
Appearance		
Host trees	Mostly conifers: <i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus koraiensis</i> ; some broadleaf trees: <i>Quercus spp.</i>	Conifers: <i>Picea spp.</i> , <i>Abies spp.</i> , <i>Pinus spp.</i>
Fruiting body	Solitary, 300–400 mm diameter, white to cream, uniform color and texture (azonate)	100-450 mm diameter, pale yellow to light brown
Flabella	Wide, flat, slightly twisted with wavy or serrated edge	Narrow, intricately twisted with irregularly curled ends
Stipe	15-20 mm thick at base, short and thick, branches from base	Relatively thinner and longer, branches from upper part
Basidiospores	5.0-6.0 × 4.0-5.0 μ m, Q value: 1.26, ovoid, thick wall, colorless	4-6 × 3-5 μ m, ovoid, smooth surface
Basidia	4-spored, 39-51 μ m in length, clavate	4-spored
Clamp connection	Present	Present
Chemical reaction	Negative for KOH and Melzer's reagent → inamyloid	Negative for KOH and Melzer's reagent → inamyloid

문헌 검색

조사는 *Sparassis latifolia* 및 *S. crispa*와 관련된 분류, 저장·유통, 포장, 가공, 영양성분 등의 연구를 대상으로 문헌 고찰을 수행하였다. 문헌 검색은 Google Scholar, ResearchGate, Google, 연구보고서 등을 이용하였으며, 주요 검색어는 ‘*Sparassis latifolia*’, ‘*Sparassis crispa*’, ‘cauliflower mushroom’, ‘mushroom’, ‘postharvest’, ‘storage’, ‘shelf life’, ‘packaging technology’, ‘drying’, ‘extraction’ 등이었다. 검색 결과 중 원저 및 조사 논문, 특히, 학위논문을 포함하였으며, 상업적 목적의 자료나 과학적 근거가 부족한 문헌은 제외하였다. 최종 선정된 문헌은 주제별로 분류하여 본 조사에 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 속명

Sparassis 속의 분류는 자실체의 형태, 엽상 구조, 담자포자의 크기, 기주 식물 특성 등을 기반으로 이루어져 왔으며, 분자 계통학적 접근을 통해 종 수준에서의 구분이 정립되어 왔다(Table 1). Dai 등(2006)은 아시아에서 수집된 *Sparassis* 균주가 유럽 및 북미 지역의 *S. crispa*와는 형태 및 유전적 특성이 명확히 다름을 확인하고, 이를 새로운 종인 *S. latifolia*로 명명하였다⁸⁾. 이후 Rhim 등(2013)의 연구에서는 한국에서 수집된 *Sparassis* 균주 또한 유럽산 *S. crispa*와 구별되는 계통군에 속함을 분자생물학적으로 입증하였으며, 한국 내에 *S. latifolia*가 존재함을 최초로 보고하였다¹⁾. 특히 ITS 염기서열 분석 및 형태 비교를 통해, 국내에서 “꽃송이버섯”으로 불리는 자실체가 과거에는 *S. crispa*로 잘못 표기되었으나 실제로는 *S. latifolia*에 해당함을 밝혔다. 이러한 분석 결과, 한국, 중국, 일본 등 동아시아에서 수집된 균주들은 하나의 계통군을 형성하고 있으며, 유럽 및 북미 동부의 *S. crispa* 또는 북미 서부의 *S. radicata*와는 명확히 분리되는 독립 종으로 분류되나, 모두 ‘cauliflower mushroom’이라는 공통 명칭으로 통용되고 있다.

*S. crispa*는 유럽과 북미 동부에 자생하며 전통적인 약용 이용 사례와 함께 면역 및 항종양 활성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 반면, *S. latifolia*는 주로 한국, 중국, 일본에서 인공재배되고 있으며, β-글루칸 함량이 높고 다양한 생리활성 물질을 함유하고 있어 기능성 식품 및 약리 자원으로서의 활용 가능성이 주목받고 있다⁹⁾.

2. 구성 성분 및 약리 활성

*Sparassis latifolia*는 다양한 기능성분을 고함량으로 함유하고 있어 건강기능성 소재로서 주목받고 있다. 꽃송이버섯의 자실체에는 물이 약 90%, 단백질 13.4-14.2%, 지질 2.0%,

회분 1.8%, 탄수화물 21.5%, 그리고 식이섬유가 61.2% 함유되어 있다^{10, 11)}. 다당류는 주요한 생리활성 고분자 물질로, 면역조절, 항종양, 항산화 등 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 보고되었다(Table 2). 다당류의 생물학적 활성은 그 구조와 밀접한 관련이 있다. *Sparassis*속 균류는 약 40%-54.8% 수준의 고함량 β-글루칸을 포함하고 있으며, 이 β-글루칸은 β-(1→3)-글루칸 주사슬에 β-(1→6)-결합된 포도당 가지가 부착된 구조로 되어 있다^{3, 12)}. 꽃송이버섯의 β-글루칸의 함량은 건조중 기준으로 43.6%로 보고되었으며, 이는 잎새버섯(15-20%), 송이버섯(18.1%), 영지버섯(8-15%) 등에 비해 높은 함량이다⁹⁾. 총 페놀 화합물 함량은 8.52 mg GAE/g, 총 플라보노이드 함량은 2.11 mg QE/g으로 측정되었으며⁶⁾, 이는 *S. latifolia*의 강력한 항산화 능력을 뒷받침하는 지표이다.

꽃송이버섯은 버섯의 갓 부분에 해당하는 자실체(Pileus)와 자실체를 제외한 부분인 기부(stipe)로 구성되어 있다. 보통 자실체 부분을 식용이나 기능식품으로 활용하고 있고, 기부는 폐기되거나 사료 또는 가공품으로 일부 활용되고 있다. 이는 기부의 외관적인 상품성이 떨어지고, 점성과 점착성을 지녀 식감이 떨어지며, 또 재배시 사용된 톱밥을 제거하기 어렵기 때문이다.

Wang 등(2014)는 다양한 톱밥 배지 입자 크기 및 영양원 조건에서 재배하여 부위별 β-글루칸 함량을 비교한 결과, 기부의 β-글루칸 함량이 모든 조건에서 자실체에 비해 1.4-2.4배 높았다고 면역 활성 효능은 자실체와 차이가 없었다고 보고하였다¹³⁾.

Seo 등(2016)도 꽃송이버섯 기부에 함유된 β-글루칸 함량이 35.9%-59.5%로 자실체의 β-글루칸 함량 22.9%-38.2%보다 높고, 톱밥은 분쇄기 등 간단한 물리적 처리만으로 쉽게 분리 가능하므로, 꽃송이버섯 기부의 활용성을 높일 필요가 있다고 밝혔다¹⁴⁾.

3. 수확시기

꽃송이버섯은 고함량의 β-글루칸을 함유한 식용 및 약용 버섯으로, 기능성 물질의 함량 변화에 따라 적절한 수확 시기를 설정하는 것이 중요하다. 임산물 표준재배지침서(산림청, 2023)에 따르면, 꽃송이버섯 자실체 내 β-글루칸 함량은 원기 형성 후 생육 경과 일수에 따라 유의미한 차이를 나타낸다(Table 3).

실험 결과에 따르면, 자실체 발생 후 26일차에 수확한 경우 갓 부위의 β-글루칸 함량은 평균 47.72 ± 4.90%로 가장 높았으며, 대 부위 역시 47.80 ± 3.86%로 유사한 수준을 보였다. 이는 21일차 수확 시점과 비교할 때 갓과 대 모두에서 함량이 증가한 수치이며, 이후 31일차부터는 각각 43.42%, 36.28%로 감소하는 경향을 보였다. 같은 경향은 36일차 및 41일차에서도 관찰되었으며, 특히 41일차에는 갓

Table 2. Bioactive compounds and pharmacological activities of *Sparassis latifolia*

Classification	Compound or Extract	Pharmacological activity	References
Total phenolics and flavonoids	gallic acid, protocatechuic acid, p-hydroxybenzoic acid, caffeic acid, syringic acid, ferulic acid, coumaric acid, cinnamic acid, vanillic acid, catechin, quercetin, naringenin, kaempferol, xanthoangelol, 2 chalcones	antioxidant, anti-inflammatory, free radical scavenging, SOD activity, antibacterial	[14-16]
	isoverminic acid, 4-hydroxydyricin	antibacterial	[17]
	4,6-dihydroxy-3-methoxyphthalic acid, 5,6-dihydroxy-7-methoxyphthalide, 3-formylsalicylic acid	antioxidant, antihypertensive	[18-20]
	isoverminic acid	antibacterial	[17]
	xanthoangelol, 2 chalcones, 4-hydroxydyricin	antibacterial	[18]
Polysaccharides	1,3- β -D-glucan, β -(1 \rightarrow 3,1 \rightarrow 6)-D-glucan, polysaccharide fractions	anticancer, immunomodulatory, anti-inflammatory, innate immunity enhancement, wound healing	[13,21-24]
other polysaccharides	high-molecular-weight polysaccharides, acid hydrolysates (including glucose, galactose, mannose)	improved bioavailability, gut microbiota modulation	[25,26]
Amino acids and Proteins	17 amino acids including glutamic acid, aspartic acid, lysine, leucine; tryptophan, indole, tryptamine, melatonin, serotonin	nutritional value, antioxidant, neurotransmitter function	[15,16]
	lectin	antibacterial, antifungal	[19]
Enzymatic proteins	alkaliphilic esterase	biocatalytic potential, hydrolysis of bioactive substances	[56]
Lipids and derivatives	linoleic acid, oleic acid, palmitic acid, stearic acid, pentadecanoic acid	anti-inflammatory, hypolipidemic effect, flavor contribution	[9,57,58]
Sterols and Vitamins	ergosterol, ergocalciferol, α -, γ -, δ -tocopherol, β -carotene, vitamin b group	antioxidant, anti-inflammatory, inhibition of melanin synthesis, immune regulation	[59-61]
Terpenoids	isodaucane-type sesquiterpenoid, 5 α ,6 α -epoxy-(22e,24r)-ergosta-8(14),22-diene-3 β ,7 β -diol, hanabiratakeldide d	anticancer, anti-hyperlipidemic	[9,59]

Table 3. Comparison of β -glucan content and total yield in different parts of the fruiting body of *Sparassis latifolia* at various harvest times. (15)

Harvest time (days)	β -glucan content in pileus (%/g)	β -glucan content in stipe (%/g)	Total yield (g)
21	46.26 \pm 3.44	46.50 \pm 5.47	78.22
26	47.72 \pm 4.90	47.80 \pm 3.86	111.48
31	43.42 \pm 4.08	36.28 \pm 3.11	84.47
36	42.81 \pm 6.12	35.30 \pm 2.57	103.79
41	39.04 \pm 5.66	34.49 \pm 1.85	99.67

• Data are presented as mean \pm standard deviation.

• Harvest dates were determined by the number of days after primordium formation according to the 2023 standard cultivation guideline for forest products.

부위 39.04%, 대 부위 34.49%로 β -글루칸 함량이 현저히 낮아지는 것으로 확인되었다¹⁵⁾.

총생산량 측면에서도 26일차 수확 시 111.48 g으로 가장 높았고, 이후 31일차(84.47 g), 36일차(103.79 g), 41일차(99.67 g)로 점차 감소하거나 정체되는 양상을 나타냈다. 이러한 결과는 자실체의 생장이 일정 기간 진행된 이후부터

는 오히려 품질과 생산성을 동시에 저해함을 의미한다.

따라서 꽃송이버섯의 수확 시기는 기능성 물질 함량과 생산량을 동시에 고려할 때, 자실체 원기 형성 후 26일 경과 시점이 가장 적절한 수확 시기로 판단된다. 특히 주목할 점은, 일반적으로 가공 시 폐기되는 대 부위 또한 갓 부위와 유사한 수준의 β -글루칸을 함유하고 있어 기능성

원료로서의 활용 가능성이 높다는 점이다. 이는 자실체 전체의 전량 이용을 통해 버섯의 부가가치를 극대화할 수 있는 근거가 된다.

4. 품질 규격

꽃송이버섯의 품질 규격은 「임산물 표준규격 고시」에 따라 제정되어 있으며, 건조 제품과 생버섯 제품 각각에 대해 별도의 등급 기준이 마련되어 있다(산림청, 2023). 해당 기준은 주로 갓의 크기, 균일도, 모양과 색택, 피해품 비율, 수분함량(건제품 한정) 등을 기준으로 하여 ‘특’, ‘상’, ‘보통’ 3등급으로 분류된다.

건조 꽃송이버섯의 경우, 등급 판정은 크기와 형태, 색택 및 피해품 비율 등을 종합적으로 고려하여 이루어진다. 특 등급은 동일 크기의 자실체가 균일하게 혼합되어 있으며, 갓의 크기가 직경 7 cm 이상(L 등급)에 해당하며, 수분 함량이 13% 이하이고, 외형이 품종 고유의 색과 형태를 잘 유지하고 있어야 한다. 또한 파쇄, 변질, 오염 등 피해품 비율이 3% 이하로 제한된다. 상등급은 중간 크기(M 등급, 직경 4-7 cm)의 자실체로서 5% 이하의 이품 및 5% 이하의 피해품만 허용되며, 보통등급은 직경 4 cm 미만(S 등급) 포함 여부와 함께 최대 20%까지의 피해품이 허용된다.

생꽃송이버섯의 경우에도 등급 기준은 유사하나, 수분함량 대신 신선도, 탄력성, 향기 유지 여부가 평가 기준에 포함된다. 특등급은 갓의 크기가 평균 직경 15 cm 이상(L 등급)이고, 이품이 없으며, 조직의 탄력성과 고유 향기가 유지되는 등 신선도가 높아야 한다. 상등급은 7-15 cm(M 등급)에 해당하며, 외형과 향은 양호하지만 일부 이품이 허용된다. 보통등급은 7 cm 미만(S 등급) 자실체가 포함될 수 있으며, 피해품 비율이 최대 20%까지 허용된다.

재배 방법(병재배, 봉지재배, 단목재배) 간 외형 차이가 존재하더라도, 동일한 등급 기준이 적용되며, 갓의 크기는 최소 및 최대 지름의 평균값으로 산정하고 있다.

5. 신선 꽃송이버섯 수확후관리기술

5.1. 포장

식용버섯은 수확 후 고수분, 고대사활성 및 연조직 구조로 인해 저장 중 품질 저하가 빠르게 진행된다. 이를 억제하기 위한 다양한 포장 기술이 개발되고 있으며, 대표적으로 미세천공 필름, 나노 복합포장, 능동 포장(active packaging), 지능형 포장(intelligent packaging)이 다양한 식용 버섯에 적용되고 있다(Table 4)¹⁶⁾.

5.1.1. 미세천공 필름(Micro-perforated films)

일반적으로 신선 농산물 저장에 사용되는 폴리에틸렌(PE), 폴리염화비닐(PVC), 폴리프로필렌(PP) 등의 포장재는 낮은 투기성과 투습성으로 인해 포장 내부에 이산화탄소가 과도

하게 축적되거나 수증기가 응결하는 문제를 야기한다. 이에 비해 미세천공 필름은 투기성과 투습성이 개선되어 이러한 문제를 완화할 수 있다. 특히 천공의 직경, 개수, 분포를 조절한 필름은 포장 내 응축수 형성 및 휘발성 유해물질 생성을 억제하고, 내부 습도와 향기성분을 유지함으로써 양송이버섯의 색상과 풍미 보존, 저장 수명 연장에 효과적인 것으로 보고되었다¹⁷⁾.

5.1.2. 나노포장 및 나노복합포장(Nanopackaging and nanocomposite packaging)

나노기술을 응용한 포장재는 뛰어난 기계적 강도와 항균성, 기체 조절 기능을 제공하여 저장 중 버섯의 품질 열화를 억제하는 데 효과적인 것으로 평가된다. 대표적으로 나노은(nano-Ag), 나노이산화티타늄(nano-TiO₂), 나노이산화규소(nano-SiO₂), 나노아타풀자이트(nano-attapulgit) 등 다양한 무기 나노물질이 폴리에틸렌이나 저밀도 폴리에틸렌에 첨가된 복합소재 포장이 양송이버섯의 갈변 억제 등 품질 개선효과를 보였다^{18, 19)}. 이는 나노 소재의 항균 작용에 의한 부패 미생물 증식 억제, 항산화 작용에 의한 활성산소종 제거 및 세포막 지질 과산화 억제, 그리고 필름의 기체 및 수분 투과 특성 변화에 따른 호흡속도 및 폴리페놀옥시다아제 활성 저하가 복합적으로 작용한 결과이다. 또한, 팽이버섯의 경우, 나노 복합필름 포장이 미토콘드리아 기능을 보호하고 활성산소종(ROS) 생성을 억제하여 저장 중 품질 저하를 지연시켰다²⁰⁾. 이러한 나노 포장 기술은 항산화 효소 경로의 조절, PPO(polyphenol oxidase) 활성 억제, 멜라닌 생합성 관련 유전자 발현 저해를 통해 갈변을 지연시키는 작용기전을 가지며, 저장 중 외관, 조직감, 풍미 유지에 기여할 수 있다.

5.1.3. 능동 포장(Active packaging)

1-MCP(1-methylcyclopropene)와 과망간산칼륨이 탑재된 분자체(molecular sieve)를 포장재에 적용하여 항균, 산화억제, 방습, 탈취 등의 기능성 물질을 포장재에 탑재하는 능동 포장(active packaging) 기술을 표고버섯에 적용한 결과, 표고버섯의 자실체 내 에틸렌 생성 관련 유전자 및 효소 활성을 억제하고 외부 에틸렌을 흡착함으로써 연화, 갈변, 중량 감소를 효과적으로 지연시켰다²¹⁾. 또한 MgO 나노입자 및 포도씨유를 Poly(3-hydroxybutyrate)에 적재한 포장 필름은 *S. aureus* 및 *E. coli*의 성장을 억제함으로써 양송이버섯의 실은 저장 수명을 최대 6일까지 연장시켰다²²⁾.

5.1.4. 지능형 포장(Intelligent packaging)

1-MCP를 탑재한 하이드로겔 포장은 환경 변화 시 1-MCP를 방출하여 버섯 조직 내 에틸렌 수용체에 결합함으로써 에틸렌의 작용을 차단하고, 연화, 갈변, 수분 손실과

Table 4. Packaging technologies and effects for mushrooms

Packaging technology	Packaging material characteristics	Target mushroom and major findings	Reference
Micro-perforated film	A/PE film, thickness 76 μm , pore size 0.5 mm	<i>Agaricus bisporus</i> – maintained total phenolics and flavonoids, reduced electrical conductivity and MDA content, suppressed specific gene expression, lowered browning index	[62]
	PE film, thickness 25.1 μm , 8 pores of 0.3 mm diameter	<i>Agaricus bisporus</i> – reduced browning index, increased concentration of 13 key aroma compounds	[63]
Micro-perforated film with high CO ₂ (80%)	Polyolefin film (PSF-700), thickness 25 μm , 25 pores, pore size 143 μm	<i>Agaricus bisporus</i> – preserved color, reduced MDA content, suppressed browning index	[64]
Nano and nano-composite packaging	PE-based nano-Ag film, thickness 35 μm , treated with 2,711 mg/m ³ ozone	<i>Agaricus bisporus</i> – high antioxidant capacity maintained, delayed browning and softening, preserved up to 9 days	[19]
	PE-based nano-Ag/TiO ₂ film, thickness 40 μm	<i>Agaricus bisporus</i> – delayed phospholipid degradation, suppressed lipid peroxidation	[65]
	LDPE with anti-condensation agent, thickness 40 μm ; nano-Ag, nano-TiO ₂ , nano-SiO ₂ , nano-attapulgit, nano-attapulgit,	<i>Agaricus bisporus</i> – preserved total phenolics and flavonoids, suppressed melanin accumulation and browning	[18]
	PE-based film, thickness 40 μm ; nano-Ag, nano-TiO ₂ , nano-attapulgit, nano-SiO ₂	<i>Flammulina velutipes</i> – maintained mitochondrial function and energy balance, improved storage quality	[66]
	PE-based film, thickness 40 μm ; nano-Ag, nano-TiO ₂ , nano-attapulgit, nano-SiO ₂	<i>Flammulina velutipes</i> – suppressed ROS generation pathway, delayed lignin accumulation	[67]
Active packaging	1-MCP, potassium permanganate, cinnamon essential oil, packaging film	<i>Agaricus bisporus</i> – removed ethylene, delayed browning and softening, reduced weight loss	[21]
	zeolite, ginseng extract, gelatin, glycerol	<i>Agaricus bisporus</i> – enhanced antioxidant activity, suppressed ethylene production, reduced browning rate	[68]
	gelatin, pomegranate peel powder, PE film	<i>Pleurotus ostreatus</i> – improved antimicrobial activity, maintained tissue firmness, extended shelf life up to 11 days	[69]
	MgO nanoparticles, grape seed oil, poly(3-hydroxybutyrate)	<i>Agaricus bisporus</i> – high antimicrobial activity, extended storage period up to 6 days	[22]
Intelligent packaging	activated carbon/palladium, 1-MCP	<i>Agaricus bisporus</i> – suppressed ethylene emission and removal, delayed browning and weight loss	[23]
	citrus pectin, cellulose nanofiber, thymol	<i>Agaricus bisporus</i> – controlled moisture and ethylene release, stabilized relative humidity, inhibited microbial growth	[24]

같은 에틸렌 유도 노화를 억제하였다²³⁾. 카테콜을 탑재한 펙틴-셀룰로오스 나노섬유 기반 하이브리드 에어로젤 포장 은 양송이버섯의 저장 중 내부 습도를 90-95% 범위로 안정적으로 유지하여 미생물 성장과 수분 손실로 인한 품질 저하를 지연시키고, 조직 경도와 색도를 보존하는 효과를 나타냈다²⁴⁾.

이러한 포장 기술은 포장 내부의 온도, 습도, pH, 또는 에틸렌 농도 변화와 같은 환경 자극을 고분자 네트워크의 팽윤도나 분해 속도 변화로 감지하며, 이 변화에 따라 포장 재에 결합된 신선도 유지제(예: 1-MCP, 카테콜)를 제어된 속도로 방출하여 표고버섯을 포함한 버섯류의 저장 수명을

연장하는 데 효과적이다. 이와 같은 스마트 반응형 포장은 향후 식용버섯의 유통 과정에서 보다 지속가능하고 고기능적인 저장기술로 발전할 가능성을 보여주며, 신선 꽃송이버섯에도 적용 시 유통 수명을 연장할 수 있을 것이다.

5.1.5. 꽃송이버섯에 포장 적용 가능성 및 과제

꽃송이버섯은 연조직과 다당류가 풍부한 구조로 인해 수분 증발, 점액성 변화, 갈변 등이 빠르게 발생하는 특성이 있다. 현재까지 꽃송이버섯의 저장 온도에 따른 호흡률, 에틸렌 발생량, 장기 저장을 위한 적정 포장 조건에 대한 기초 정보는 부족한 실정이다. 따라서 다양한 포장 기술의 적

용 가능성을 탐색하기 위해 우선 저장 중 품질 변화 특성에 대한 과학적 정보 구축이 선행되어야 하며, 이를 바탕으로 꽃송이버섯의 품질을 유지할 수 있는 최적의 포장재와 포장 방법을 구명할 필요가 있다.

5.2. 저온플라즈마 (cold plasma)

비가열 식품 처리 공정 중 하나인 콜드 플라즈마 처리 기술은 탈오염 처리 및 품질 개선으로 큰 주목을 받고 있다. 플라즈마는 자연계에서 물질의 네 번째 상태로, 고에너지 전자에 의해 공기가 분해되어 생성된다. 콜드플라즈마는 대기 중 기체에서 전기 방전을 통해 생성되는 다양한 반응성 화학종을 포함하며, 세균, 곰팡이, 포자, 바이러스는 물론 농약과 곰팡이독소에 대해 높은 제거 효과를 나타낸다. 밀봉된 포장 내부에서 콜드 플라즈마를 생성(인패키지 플라즈마; in-package plasma)하면 반응성 물질의 작용을 미생물에 국소화시키고 작용시간을 연장할 수 있으며, 동시에 처리 후 오염을 방지할 수 있다²⁵⁾. 인패키지 플라즈마 기술은 최소가공 신선편이 식품이나 생식용 식품의 저장 수명 연장기술로서 새로운 가능성을 제시한다. 로메인 상추²⁶⁾, 벨크 포장 체리토마토²⁷⁾, 양송이버섯²⁸⁻³⁰⁾ 및 혼합 채소 샐러드³¹⁾ 등에서 인패키지 콜드플라즈마 처리로 인한 유해 미생물 억제 및 신선 농산물의 갈변 및 품질을 효과적으로 관리할 수 있다는 실험 결과가 보고되었다^{32, 33)}. Misra 등 (2019)은 신선 식품에 대한 인패키지 플라즈마 처리 방법으로는 volumetric DBD, 내부형 SDBD(surface dielectric barrier discharge), 외부형 SDBD으로 구분할 수 있는데, 이중 volumetric DBD 방식이 가장 높은 미생물 사멸 효과를 보인다고 밝혔다²⁵⁾. Volumetric DBD 방식은 포장 전체에 고전압을 사용하여 포장 내부 전체에서 플라즈마를 발생하는 방법이고, 내부형 SDBD 방식은 전극을 포장 내부에 삽입하여 표면 플라즈마를 발생하는 방법, 외부형 SDBD 방식은 전극을 포장 외부에 밀착시켜 헤드스페이스에서 플라즈마를 발생하는 방식이다.

향후 신선 꽃송이버섯의 저장·유통 과정에서 신선도 유지를 위해, MA 포장과 연계한 포장 내 저온플라즈마 처리의 공정 최적화와 미생물학적 안전성·품질 유지 효과에 대한 실증 연구가 필요하다.

5.3. 보존제

보존제는 침지, 분무, 스프레이, 훈증 등 다양한 방식으로 식품에 적용하며, 항균, 항산화, 갈변 억제, 노화 지연 효과를 목적으로 한다.

5.3.1. 1-MCP(1-Methylcyclopropene)

1-MCP는 대표적인 에틸렌 생합성 및 작용 억제제로, 식물 조직 내 에틸렌 수용체에 비가역적으로 결합하여 에틸

렌 신호 전달을 차단함으로써 숙성과 노화 과정을 지연시키는 기능을 갖는다³⁴⁾. 양송이버섯에 1-MCP 0.5 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 처리하고 고무습성 필름(MPP)으로 포장한 결과, 저장 중 갈변 억제, 경도 유지, 에틸렌 생합성 저해 등 품질 유지에 효과적인 것으로 보고되었다³⁴⁾. 벚짚버섯(*Volvarella volvacea*)의 경우, 1-MCP 0.75 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 포함한 종이로 MA 저장 전 $15\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 12시간 처리한 결과, 외관, 색상, 조직감, 풍미 등 관능 품질이 대조구에 비해 유의하게 우수하였으며, 최적 농도는 0.75 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 확인되었다³⁵⁾. 또한, 벚짚버섯에 1-MCP 250 ppb를 25°C 에서 6시간 훈증 처리하거나, 40% CO_2 를 동일 시간 동안 전처리한 경우 모두 유사한 수준의 갈변 억제 및 저장성 향상 효과가 나타났으며, 이는 polyphenol oxidase(PPO) 활성을 억제하고 malondialdehyde(MDA) 축적을 지연시킴으로써 품질 유지에 기여한 것으로 나타났다³⁶⁾. 산느타리(*Pleurotus pulmonarius*)에 1-MCP 0.75 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 처리한 경우, 저장 중 경도, 글루타치온 함량, T-SOD 활성을 유지하면서 세포막 투과성, 중량 감소율, MDA 함량을 감소시켜 항산화 능력과 저장 품질이 향상되었다. 반면, 에테폰 0.05% 처리는 PPO 활성을 증가시키고 b*값과 에틸렌 생성을 촉진하여 갈변을 가속화하였다. 전사체 분석 결과 총 5,422개의 차등 발현 유전자 중 62개 유전자가 글리세롤지질 대사, 2-옥소카복실산 대사, 뉴클레오타이드 당 생합성 등 저장 품질과 밀접한 대사 경로에 특이적으로 관여함으로써, 1-MCP의 저장성 개선 효과에 대한 유전적 기작을 제시하였다³⁷⁾. 표고버섯(*Lentinus edodes*)에 1-MCP 0.25-0.75 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 6시간 훈증 처리한 경우, 갖의 갈변 억제, 호흡 저해, PPO 활성 감소와 함께 저장 중 ATPase, succinate dehydrogenase(SDH), cytochrome c oxidase(CCO) 활성이 유지되어 에너지 대사 조절을 통한 품질 유지 효과가 확인되었다³⁸⁾.

꽃송이버섯은 조직이 부드럽고 다당류 함량이 높아 저장 중 점액성 변화, 갈변, 수분 손실 등 품질 열화가 빠르게 진행되는 특성을 나타낸다. 이러한 특성은 기존 연구에서 보고된 다른 버섯류와 유사한 품질 저하 양상으로, 이에 따라 1-MCP가 저장 및 유통 중 선도 유지에 효과적일 것으로 기대된다. 1-MCP를 0.5-1.0 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 농도로 6-12시간 훈증 처리한 후 적절한 포장재를 활용한 저장 조건은 꽃송이버섯의 저장 중 품질 유지에 효과적일 것으로 예상된다. 다만, 실제 적용을 위해서는 꽃송이버섯 고유의 품종 특성과 조직학적 특성에 따라 최적의 전처리 온도, 포장재 종류, MA 적용 여부 등의 저장 조건을 설정하기 위한 실험적 검토가 선행되어야 한다.

5.3.2. 이산화염소(Chlorine dioxide; ClO_2)

이산화염소는 *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 등 다양한 세균, 곰팡이, 바이러스에 대해 광범위

한 항균 효과를 가지며³⁹⁾, 에틸렌의 이중결합을 끊는 작용을 가지는 것으로 보고되어 있다. International Chemical Safety Cards (ICSC)에 따르면 이산화염소의 직업적 노출 한계치는 0.1ppm(최고 허용 농도)이다. ClO₂는 미국 FDA 규정(21 CFR 173.300)에 따라 비농산물 원재료의 세척에 사용되는 물에서 잔류 ClO₂가 3 ppm을 초과하지 않는 범위 내에서 항균제로 사용할 수 있다.

Ku 등(2006)은 ClO₂를 5, 10, 50 ppm 농도로 처리한 결과, 양송이버섯의 중량 감소를 지연시키고, polyphenol oxidase (PPO) 활성을 억제하며, 미생물 증식을 효과적으로 억제한다고 보고하였다⁴⁰⁾. 절단된 양송이버섯에 ClO₂를 처리한 후 저온(4°C)에서 저장하면서 품질 변화를 평가한 결과, ClO₂ 10 ppm 처리구에서 경도 유지, 갈변 억제, 중량 손실 저감, 세균수 억제 등 저장 중 품질 유지에 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 감각 평가에서도 우수한 기호도를 유지하였다³⁹⁾. Jin 등(2024)도 이산화염소(50 mg·L⁻¹) 처리가 절단된 양송이버섯의 표면 호기성 세균 수를 감소시키고 중량 감소 억제 및 경도 유지, 휘발성 향기 유지, 관능평가 점수 유지에 효과적이었다고 보고하였다⁴⁰⁾. 이러한 결과는 ClO₂가 에틸렌 관련 신호 전달을 조절하고, 항산화 활성 유지 및 미생물 억제를 통해 절단 버섯의 저장성을 향상시킬 수 있음을 의미한다.

따라서 ClO₂는 기존의 저장성 향상 기술과 병행하여 꽃송이버섯과 같은 고수분·고다당류 함유 버섯의 품질 열화를 지연시키는 데 유용한 후처리 기술로 적용 가능성이 높다. 단, 실제 산업적 적용을 위해서는 처리 농도, 처리 시간, 포장 조건 및 제품 특성에 따른 최적화 연구가 필요하다.

5.3.3. 기타

양송이버섯 표면에 에르고티오네인(ergothioneine)을 분사한 결과, 총 페놀 함량과 아스코르빈산 함량이 유지되어 갈변이 지연되었다⁴¹⁾. 감마-아미노부티르산(γ -aminobutyric acid)으로 양송이버섯을 침지 처리하였을 때, 페닐알라닌 암모니아 분해효소(PAL) 활성이 증가하고 관련 유전자 발현이 향상되어 저온 저장 중 갈변 억제 효과가 나타났다⁴²⁾. 에센셜 오일(essential oils)은 휘발성이 강한 천연 방향성 오일 추출물로, 탁월한 항산화 및 항균 작용을 지니며, 주로 훈증(fumigation) 형태로 사용된다⁴³⁾. 예를 들어, 페퍼민트 오일로 양송이버섯을 훈증 처리한 결과, 버섯의 경도, 총 페놀, 아스코르빈산 함량이 증가하고, 중량 감소가 줄며 노화 억제 효과가 나타났다⁴⁴⁾. 최근에는 에센셜 오일을 함유한 포장 필름을 통해 버섯의 수확 후 품질을 효과적으로 유지할 수 있음이 보고되었다⁴⁵⁾.

5.4. 광역동 비활성화(PDI; Photodynamic inactivation)

식품의 유해균을 줄이거나 제거하기 위한 방법으로 고온

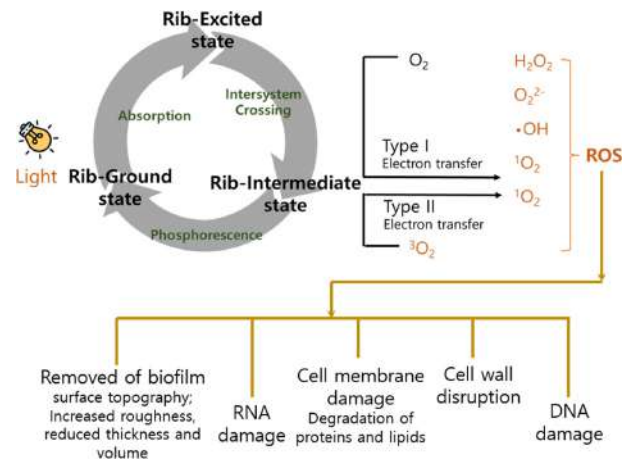


Fig. 1. Mechanism of reactive oxygen species generation and microbial inactivation by riboflavin-mediated photodynamic activation.

을 활용한 열처리 기술이 식품 산업에서 널리 사용되어 왔으나, 고온 처리 과정에서 식품의 색, 질감, 풍미 및 영양성분의 변화가 동반될 수 있다. 이에 대응하여 강력한 산화제, 방사선 조사, 초고전압 펄스 전기장 등 비열 살균 기술들이 대체 수단으로 제안되어 왔다. 그러나 이들 기술은 살균 효율이 낮거나 화학적 잔류물 생성, 높은 비용 등과 같은 한계로 인해 실제 활용도는 높지 않다. 광역동 비활성화는 이러한 한계를 극복하기 위한 새로운 비열 살균 기술로 최근 식품 산업에 적용되고 있다⁴⁶⁾. 이 기술은 특정 파장의 빛을 통해 광감작제를 활성화시키고, 이를 통해 활성 산소종을 생성하여 병원성 미생물을 불활성화시키는 원리를 기반으로 한다(Fig. 1). 광감작제는 식품 표면에 처리되거나 필름형 제형으로 사용할 수도 있다. 광감작제로 키큐민 2019년도 이래 주로 사용되어 왔으나, 리보플라빈은 더 저렴하고 안정성이 높으며 열에 덜 민감하여 식품용 광감작제로서의 실용성이 뛰어나다고 보고되었다²¹⁾. 리보플라빈 기반 광역동 비활성화는 무독성, 친환경성, 에너지 소비가 적고 살균 효과가 높은 장점으로 인해 2018년 이후 식품 보존에 본격적으로 연구가 시작되었다. 광감작제를 이용한 유해 미생물 살균 효과는 농도 및 조건에 따라 상이하므로 꽃송이버섯에 적용할 경우 공정 최적화 연구가 필요하다.

6. 건조 방법 및 건조 효과

6.1. 세절 꽃송이버섯의 열풍건조

An 등(2020)은 꽃송이버섯의 생시료 1,400 g을 7 mm 크기로 세절한 후, 대류식 열풍건조기를 이용하여 1차로 45°C의 초기 온도와 55°C의 온수 온도 조건에서 30시간 동안 건조하였다⁴⁷⁾. 이후, 동일 장비에서 건조기 내 온도를 60°C, 온수 온도를 70°C로 설정하여 12시간 동안 2차 건조를 수행하였다. 이러한 열풍건조 과정을 통해 최종 수분

함량은 약 7% 수준으로 조절되었다. 열풍건조된 꽃송이버섯은 항산화활성 측면에서 DPPH 라디칼 소거능은 생시료와 비교시 유의적 차이는 없었던 반면, 철환원능 항산화능(FRAP)은 생시료에 비해 증가하는 경향이였다. 총 폴리페놀 함량은 생시료 대비 감소하는 경향이었는데, 생시료에서의 총 폴리페놀 함량은 14.84 ± 0.53 mg GAE/g이었으나, 건조 시료에서는 11.39 ± 0.20 mg GAE/g으로 유의하게 낮아졌다($p < 0.05$). 이는 열풍건조 과정에서 일부 폴리페놀 화합물이 열에 의해 분해되거나 휘발되었기 때문으로 해석된다. 아미노산 조성에 있어서는 전체적인 아미노산 함량이 생시료보다 증가하였다. 필수 아미노산의 경우, 히스티딘(His), 발린(Val), 메티오닌(Met), 류신(Leu), 이소류신(Ile) 등의 함량이 건조 처리에 의해 다소 증가하였으며, 이는 단백질 분해 및 농축 효과로 인한 결과로 판단된다. 또한 감칠맛과 단맛을 유도하는 아미노산 성분(예: 글루탐산, 세린, 알라닌 등)도 소폭 증가하였다⁴⁷⁾.

6.2. 통자실체 꽃송이버섯의 열풍 건조

농촌진흥청 국립원예특작과학원 저장유통과(2024)는 절하지 않은 *Sparassis latifolia* 통 자실체를 대상으로 열풍 건조 온도에 따른 수분 감소율, 건조 소요 시간, 색도 변화를 종합적으로 분석하였다(Fig. 2, Fig. 3). 건조 온도는 30, 35, 40, 50, 60, 70°C로 설정하였으며, 모든 처리구의 최종 수분 함량은 약 10% 내외로 조정하였다. 수분 손실 곡선 분석 결과, 모든 온도 조건에서 초기 2시간 동안 급격한 수분 감소가 나타났으며, 이후 건조 속도가 점차 완만해지는 경향을 보였다. 특히 30°C 조건에서는 초기 4시간 동안 총 수분 손실률이 약 50% 수준에 머물렀으나, 60°C와 70°C 조건에서는 같은 시간에 80% 이상이 손실되어 고온에서 건조 속도가 크게 향상되었다. 건조 완료 시간은 30°C 조건에서 약 15시간, 35°C에서 12시간, 40°C 이상에서는 6~7시간, 70°C 조건에서는 6시간 미만으로 단축되었다. 외관 변화는 건조 온도에 따라 뚜렷하게 구분되었으며,

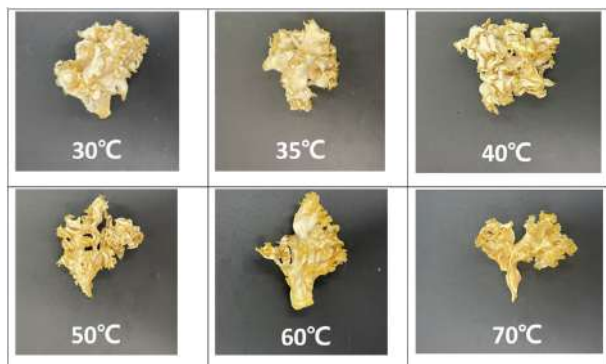


Fig. 2. External appearance of *Sparassis latifolia* fruiting bodies at different hot-air drying temperatures

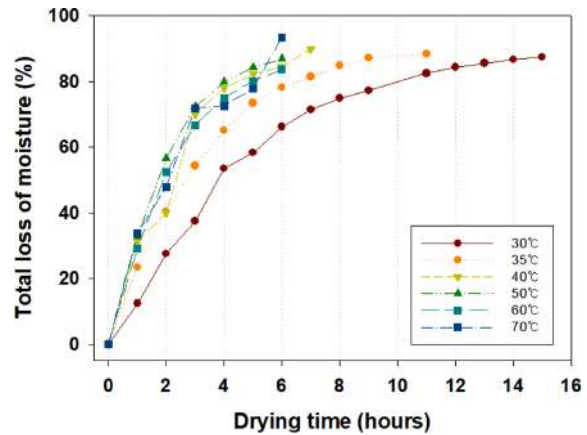


Fig. 3. Moisture loss rate of whole fruiting bodies of *Sparassis latifolia* during hot-air drying at different temperatures and times.

저온 조건(30-35°C)에서는 자실체의 주름과 가지 구조가 잘 유지되고 백색도가 높게 보존되었다. 반면, 40°C 이상에서는 표면이 진한 황색~갈색으로 변색되고, 일부 시료에서 수축·뒤틀림이 발생하였다. 명도는 30°C에서 가장 높게 유지되었으며, 온도가 높아질수록 L* 값이 유의적으로 감소하였는데, 이는 고온에서 비효소적 갈변 반응(마이야르 반응) 및 색소 변성 가능성이 증가했기 때문으로 해석된다.

건조 시간과 색도 변화 양상을 종합적으로 고려할 때 35°C 조건이 가장 적절한 건조 조건으로 판단되나, 향후 건조된 시료의 β-글루칸 등 주요 유효성분의 함량 변화와 경제성을 분석할 필요가 있다.

6.3. 동결 건조

꽃송이버섯은 건조 및 분말화하여 상품화되고 있으며, 열풍건조에 비해 동결건조 시 색상 유지 및 신선한 외관이 우수하여 소비자 기호도가 높다. 동결 건조는 시료 내 수분을 먼저 얼린 후 진공 하에서 승화를 통해 수분을 제거하는 원리를 이용한다. Li 등(2022)은 흰목이버섯(*Tremella fuciformis*)의 동결건조 공정을 다음과 같이 수행하였다⁴⁸⁾. 먼저, 수확한 신선 버섯을 흐르는 물로 세척한 후, 효소 불활성화 및 미생물 저감을 위해 100°C의 물에서 3분간 열탕 처리하였다. 열탕 처리한 시료는 즉시 냉수에 침지하여 급속히 냉각(pre-cooling)한 뒤, 균일한 건조를 유도하기 위해 균일한 크기로 절단하였다. 전처리 동결(pre-freezing) 조건으로는 -25°C에서 3시간 예냉을 사용하였으며, 이때 공융점은 -15.49°C, 공융 혼합온도는 -8.35°C로 확인되었다. Wang 등(2014)은 표고버섯의 건조 전처리로 -80°C에서 24시간 동안 급속 동결을 수행하였으며, 이후 총 4단계의 판온도 조건에 따라 동결건조를 실시하였다¹³⁾. 동결건조는 80°C에서 3시간, 70°C에서 5시간, 60°C에서 12시간, 마지막으로 50°C에서 일정 시간 유지하는 순서로 진행되었으며,

총 건조 시간은 약 25시간이었다. 건조 개시 약 8시간 이후부터는 수분이 급격히 제거되는 주요 승화 단계에 진입하였다. 이 공정에서 진공 상태는 약 10 Pa의 고진공으로 유지되었으며, 이는 수분의 승화를 촉진하고 건조 효율을 높이기 위한 조건이었다. 급속 동결 전처리하는 시료 내 수분을 미세한 얼음 결정 형태로 전환하여 조직 구조를 안정화시키고, 이후 건조 단계에서 세포벽 붕괴를 최소화하는 데 목적이 있었다. 최종적으로 제조된 시료의 잔류 수분 함량은 5% 이하로 조절되었으며, 온도와 진공 조건을 정밀하게 제어한 본 공정은 표고버섯 내 수분을 효과적으로 제거하면서도 구조적 손상을 억제한 것으로 평가되었다.

동결건조 공정을 흰목이버섯에 적용할 경우, Li 등(2022)은 최종 제품이 색도 유지, 조직 보존성 및 재수화성이 우수한 품질 특성을 나타냈음을 보고하였고⁴⁸⁾, 세절한 흰목이버섯을 열풍건조(55°C, 5시간), 진공건조(60°C, -0.098 MPa, 7시간), 동결건조(-40°C에서 동결 후 -55°C, 10 Pa에서 24 시간)한 결과, 동결건조가 색상, 수용성 다당류 함량, 재수화율 등에서 가장 우수한 품질 특성을 나타냈다⁴⁹⁾. 열풍 건조시에는 색도 변화가 가장 커 갈변으로 외관 품질이 저하되었고, 수용성 다당류 함량이 가장 낮았다. 동결 건조 시 최종 수분 함량은 약 6.6%, 재수화율은 700% 이상으로 나타났다⁴⁸⁾. 주사전자현미경(SEM) 관찰 결과 세포벽의 붕괴나 수축이 거의 없이 구조가 잘 유지되었으며, 이는 식감과 소비자 기호도 유지에 긍정적인 영향을 미친다. 따라서 동결건조 공정은 흰목이버섯 뿐 아니라 꽃송이버섯에도 기능성 및 외관 품질을 장기간 유지할 수 있는 효과적인 가공 기술로 활용 가능성이 매우 높다.

Liu 등(2020)은 동결건조와 열풍 건조한 절단 표고버섯의 생리활성 물질을 분석한 결과, 건조 방법에 따라 다당류의 구성 성분, 당 조성비, 구조적 특성, 항산화 활성 및 면역조절 활성이 유의하게 달라지는 것을 확인하였다⁵⁰⁾. 동결건조는 48시간 동안 진공 상태로 건조하였으며, 열풍건조는 60°C에서 5시간 동안 열풍 건조기를 이용하여 수행하였다. 동결건조 처리 시 다당류의 포도당 함량과 ABTS 라디칼 소거능이 높아 항산화 활성이 우수하였으며, 열풍건조 처리시에는 갈락토오스 및 우론산 함량 증가와 α -배열 구조 비율 증가로 인해 면역세포의 NO, TNF- α , IL-6 분비 촉진 등 면역조절 활성이 더 우수하게 나타났다. 이러한 결과는 표고버섯의 생리활성 다당류를 추출하기 위한 건조 전처리로서 항산화 활성 향상이 목적일 경우 동결건조, 면역조절 활성이 목적일 경우 열풍건조가 적합함을 의미한다.

6.4. 진공 건조

Wang 등(2014)은 표고버섯을 대상으로 진공건조 공정을 수행하였다¹³⁾. 건조 장비로 진공건조기를 사용하였고, 시료

는 50°C, 60°C, 70°C의 세 가지 온도 조건에서 각각 건조되었다. 진공건조기의 내부에는 가열판(heating shelf)이 설치되어 있으며, 이를 통해 간접적인 열전달이 이루어진다. 진공도는 0.085 MPa로 유지되었으며, 건조는 시료의 최종 수분함량이 약 13%에 도달할 때까지 지속되었다. 60°C 조건에서 진공건조한 표고버섯은 색상 유지와 항산화 활성 보존 측면에서 가장 우수한 결과를 나타내었다. 진공건조는 열풍건조에 비해 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 더 효과적으로 보존하였으며, 이는 기능성 성분 유지와 품질 향상에 유리한 공정으로 평가되었다.

진공건조는 낮은 압력(진공) 환경에서 열을 가하여 증발을 통해 시료 내 수분을 효율적으로 제거하는 탈수 공정으로, 비교적 낮은 온도에서도 증발이 가능하다는 장점이 있다. 진공건조는 산소가 제거된 환경에서 진행되므로 산화반응이 억제되어 폴리페놀 및 플라보노이드와 같은 기능성 성분의 보존에 유리하다. 또한 색도 변화가 적고 갈변이 억제되며, 휘발성 향미 성분의 손실이 적어 버섯 고유의 풍미 유지에도 효과적이다. 그러나 진공건조는 건조 시간이 다소 길고, 에너지 소비가 높으며, 열풍건조에 비해 설비 비용이 높다는 단점이 있다. 또한, 수분의 내외부 이동 속도 불균형에 따라 조직의 수축이나 변형이 발생할 수 있다.

꽃송이버섯에 진공건조를 실시할 경우 몇 가지 주의사항이 요구된다. 우선, 적절한 건조 온도의 선택이 중요하며, 고온에서는 폴리페놀 화합물과 같은 열에 민감한 성분이 분해될 수 있다. 또한, 과도한 진공 상태는 시료 표면의 수분을 과도하게 빠르게 제거하여 내부 수분과의 이동 속도 불균형을 초래함으로써 조직 손상을 유발할 수 있다. 따라서 일정하고 균일한 진공 상태의 유지가 필요하며, 이는 승화에 의한 품질 저하나 기포 형성을 방지하는 데 기여한다.

7. 로스팅 방법 및 효과

An 등(2020)은 회전드럼식 로스팅 쿠키(rotary drum type roasting cooker)를 이용하여 꽃송이버섯을 로스팅하여 성분변화를 관찰하였다⁴⁷⁾. 로스팅에 사용된 장비는 일반적으로 커피 원두의 로스팅에 사용되는 장비와 동일한 유형으로, 균일한 열전달과 회전을 통해 시료의 열처리가 가능하도록 설계되어 있다. 열풍건조를 마친 꽃송이버섯 시료 일부를 로스팅 장비에 투입한 후, 170°C의 설정 온도에서 분당 15회 회전 속도 조건으로 로스팅을 진행하였다. 처리 중에는 초기 시료 내 여분의 수분이 수증기로 증발하면서 조직이 연화되고, 점차 갈변 반응이 진행되었다. 로스팅은 시료 표면에 갈색 색조가 형성될 때까지 지속되었으며, 이는 가공 특유의 향미 성분이 생성되고 기능성 물질의 농도가 변화하는 시점으로 판단되어 종료 기준으로 삼았다. 로스팅된 꽃송이버섯(*Sparassis crispa*)은 FRAP 항산화능과 아질산염 소거능이 생시료 및 열풍건조 시료에 비해 유의

적으로 증가하였다. 총 폴리페놀 함량 또한 16.90 ± 0.40 mg GAE/g로 생시료(14.84 ± 0.53) 및 열풍 건조 시료(11.39 ± 0.20)보다 높게 나타났다. 로스팅 과정에서 갈변 반응이 일어나면서 폴리페놀계 화합물이 구조적으로 변화하거나 새로운 항산화성분이 생성될 수 있음이 알려져 있다⁵¹). 로스팅 처리는 꽃송이버섯의 아미노산 조성에 뚜렷한 영향을 미쳐, 대부분의 아미노산 함량이 생시료 및 건조 시료에 비해 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 히스티딘(His), 발린(Val), 메티오닌(Met), 류신(Leu), 이소류신(Ile) 등과 같은 필수 아미노산의 함량 증가가 두드러졌으며, 이는 단백질의 영양적 가치를 향상시키는 중요한 지표로 작용한다. 또한, 글루탐산(Glu), 알라닌(Ala), 세린(Ser) 등 감칠맛과 단맛을 유도하는 아미노산 성분 역시 로스팅 처리 후 증가하여 관능적 품질 향상에도 기여하는 것으로 판단된다. 반면, 페닐알라닌(Phe)과 티로신(Tyr)을 제외한 거의 모든 아미노산이 로스팅 과정에서 증가하였으며, 이러한 변화는 고온 처리에 따른 단백질 구조 변화, 가수분해 반응, 아미노산의 농축 효과 및 열안정성에 기인하는 것으로 해석된다.

8. 꽃송이버섯 유효성분의 추출 최적화 및 품질 저해 요소 저감 전략

꽃송이버섯은 β -(1→3)-D-glucan 함량이 높은 기능성 버섯으로, 항암, 항산화, 면역조절 등의 다양한 생리활성을 나타내어 산업적 활용 가치가 높은 자원으로 평가된다. 그러나 β -글루칸은 고분자 구조를 가지는 불용성 다당류로 대부분 물에 잘 용해되지 않으며, 일반적인 열수 추출만으로는 수율이 낮아 10% 미만의 회수율을 보이는 경우가 많다.

또한 꽃송이버섯은 특유의 강한 향을 지니고 있고, 나트륨(Na), 칼륨(K) 등 미네랄 함량이 높은 특징을 갖는다. 이러한 특성은 기능성 식품 소재로의 활용 시 기호성과 품질 측면에서 부정적인 영향을 줄 수 있다. Kwak(2019)는 열처리 온도와 추출용매 조성에 따른 유효성분의 추출 수율과 향 성분, 무기물 제거 효율을 종합적으로 분석한 결과 (Table 5), 120°C 고온 열처리와 에탄올을 단계적으로 적용한 증류수-에탄올 단계적 혼합 추출법이 고형분, β -글루칸, 총 폴리페놀의 수율에서 가장 우수한 추출 효율을 나타냈으며, 대표 향 성분인 2-Acetyl-5-methylfuran이 제거되는

등 특유의 향기 성분이 효과적으로 저감되었다고 밝혔다¹⁰). 한편 나트륨(Na)과 칼륨(K)의 제거는 투석법을 이용하였는데, 이는 추출 농축액 50 g을 증류수로 4배 및 10배 희석한 뒤 반투막에 주입하고, 이를 10L의 증류수에 담가 4시간 동안 침지시키는 과정을 7회 반복하여 총 28시간 동안 진행되는 방식이다. 투석이 완료된 추출액은 진공회전증발기를 이용해 농축한 후, 무기물 함량 분석을 통해 Na와 K의 유의미한 감소를 확인하였으며, 이 과정에서 β -글루칸과 같은 고분자 유효성분은 막을 통과하지 않아 보존됨으로써 선택적인 무기물 제거 효과를 입증하였다.

Kim(2010)⁵²)과 Bae 등(2012)⁵³)은 각각 반응표면분석법(Response Surface Methodology, RSM)을 이용하여 꽃송이버섯(*Sparassis crispa*)로부터 수용성 β -글루칸의 효율적인 추출 조건을 최적화하였다. 두 연구 모두 추출 조건으로 pH, 추출 시간, 버섯 건중량 대비 물의 비율을 변수로 설정하였으며, 최적 조건은 pH 6.05, 추출 시간 8시간 55분, 물 대 원료 비율 19.74로 도출되었다. 회귀분석 결과, Kim(2010)은 결정계수(R^2) 0.9544, 유의확률(P) 0.0074를 보고하여 1% 수준에서 통계적으로 유의한 예측 모델임을 입증하였다. 최적 조건에서 추출된 수용성 희분은 총당 62%, β -글루칸 59%, 단백질 13%의 일반성분을 함유하였으며, 구성당 분석에서는 glucose가 67%로 주요 구성성분으로 확인되었다. 구조 분석 결과, 이 추출물은 β -(1→3) 주사슬에 β -(1→6) 가지가 결합된 전형적인 구조를 나타냈고, 분자량 분포는 3,400 kDa(27%), 30 kDa(65%), 9 kDa(8%)로 고분자 비율이 우세하였다. 또한 수화능 분석에서 용해도 100%로 우수한 수용성이 확인되었으며, 이는 기능성 물질로서의 활용 가능성을 시사한다. Bae 등(2012) 또한 유사한 최적 조건을 통해 60.76%의 β -글루칸 함량을 예측하였으며, 실험값은 R^2 0.95, $p = 0.0074$ 의 회귀모형과 높은 적합도를 보여 두 연구 결과 간의 일관성과 재현성을 입증하였다⁵³).

9. 향후 연구 방향

신선 꽃송이버섯의 저장성 개선과 고부가가치 가공소재화를 실현하기 위해서는 저장 및 유통 수명 연장을 중심으로 한 단계별 정밀 연구가 요구된다. 첫째, 수확 후 생리 특성에 대한 정량적 분석을 통해 저장 중 호흡률, 에틸렌

Table 5. β -glucan yield according to extraction methods of *Sparassis latifolia*

Extraction method	Summary of extraction procedure	β -Glucan yield (mg/g)
Hot water extraction	Extracted three times using distilled water at 120 °C	66.41 ± 2.20
Ethanol extraction	Reflux extraction three times using 95% ethanol	13.58 ± 1.94
Ethanol-distilled water mixed solvent extraction	Extracted three times using 1:1 mixed solvent (ethanol:water)	76.34 ± 1.63
Stepwise extraction with distilled water and ethanol	Sequential extraction with distilled water → ethanol → 1:1 mixture → distilled water	90.91 ± 2.47

생성량, 수분 손실 및 조직 변화 등 품질 열화 지표를 정립하고, 이를 바탕으로 저장 및 유통 수명을 예측할 수 있는 모델 개발이 필요하다. 둘째, 포장재 및 저장 조건의 최적화를 위해 미세천공 필름, 나노복합포장, 능동 및 지능형 포장재의 기체 조절능, 습도 유지력, 항산화 효과에 대한 적용성 검토가 필요하며, 표면 유해 미생물 억제에 위한 조건 구명도 필요하다. 이를 통해 저장 및 유통 중 품질 저하를 최소화할 수 있는 기술 조합을 도출해야 한다. 셋째, 저온 플라즈마 및 광역동 비활성화와 같은 비열 살균 기술은 꽃송이버섯의 연조직 구조와 고수분 특성을 고려한 처리 조건 최적화 연구가 선행되어야 하며, 이들 기술이 저장 및 유통 수명 연장에 실질적으로 기여할 수 있는지를 검증해야 한다. 넷째, 가공 활용 측면에서는 유효 성분의 손실을 최소화하면서도 기능성을 유지할 수 있는 건조 및 추출 조건 확립이 중요하며, 열풍·동결·진공 건조에 따른 성분 변화와 조직 보존성에 대한 비교 연구가 필요하다. 마지막으로, 기부(stipe) 부위의 β -글루칸 함량 및 생리활성을 기반으로 폐기 부위의 가공소재화 가능성을 평가하고, 자실체 전량 이용을 통한 자원화 전략도 함께 마련되어야 한다. 이러한 후속 연구들은 신선 꽃송이버섯의 저장 및 유통 수명 연장을 실현하고, 산업적 활용 가치를 극대화하는 데 실질적인 기여를 할 수 있을 것이다.

요 약

본 논문은 국내에서 주로 재배되는 신선 꽃송이버섯 (*Sparassis latifolia*)의 저장 및 유통 과정에서 품질 저하를 최소화하고, 이를 가공에 효율적으로 활용하기 위한 기술들을 종합적으로 고찰하였다. 꽃송이버섯은 고함량의 β -글루칸과 다양한 기능성분을 함유한 고부가가치 식자재료, 조직이 연약하고 수분 함량이 높아 저장 및 유통 중 품질 열화가 빠르게 진행된다. 이에 따라 본 연구에서는 저장 중 주요 품질 변화 양상과 이를 지연시키기 위한 미세천공 필름, 기능성 및 지능형 포장, MA 및 CA 포장 기술 등 기존 보고된 신선도 유지 기술을 정리하고, 적용 가능성이 높은 비열 살균, 광역동 처리, 나노복합필름 등의 신기술도 함께 논의하였다. 아울러, 꽃송이버섯의 일반 성분, 표준규격, 국내 품질기준을 요약하고, 열수 추출 및 에탄올 추출, 열풍·동결 건조 등의 가공 기술별 활용성 및 추출 효율에 대해서도 비교·정리하였다. 본 고찰은 향후 신선 꽃송이버섯의 저장성 개선과 고부가가치 식품 소재화 연구에 실용적인 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01733402)

의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Ryoo, R., Sou, H.-D., Ka, K.-H. and Park, H. 2013. Phylogenetic relationships of Korean *Sparassis latifolia* based on morphological and ITS rDNA characteristics. *J. Microbiol.* 51: 43-48.
- Lin, Y., Ma, L., Xiao, D., Yang, C., Ying, Z. and Jiang, X. 2018. Artificial cultivation of the medicinal mushroom *Sparassis latifolia*. In: Sánchez, J.E., Mata, G. and Royse, D.J. (eds.), *Updates on Tropical Mushrooms: Basic and Applied Research*, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Mexico, pp. 71-85.
- Qiu, Z., Zhang, X., Ren, S., Jiang, B., Zhao, J., Zhu, M. and others. 2025. cauliflower mushroom (*Sparassis*): a promising functional food with nutritional and medicinal properties. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1-17.
- Heo, B.S., Choi, K.H. and Jo, Y.M. 2022. the optimal post-incubation period of cauliflower mushroom (*Sparassis latifolia*) 'Ne Wull'. *J. Mushrooms* 26(2): 39.
- Choi, J.Y., Choi, J.I., Baek, I.S., Shin, B.E., Kim, J.H. and Ha, T.M. 2022. characteristics of a new *Sparassis latifolia* variety "Hanyeoul", with stable pinheading. *J. Mushrooms* 20(3): 107-112.
- Shu, L., Wang, M., Wang, S., Li, Y., Xu, H. and Qiu, Z. 2022. excessive oxalic acid secreted by *Sparassis latifolia* inhibits the growth of mycelia during its saprophytic process. *Cells* 11(15): 2423.
- Devkota, S. 2009. the fleshy fungi, *Sparassis crispa* (Basidiomycetes: Polyporales) from Nepal. *Sci. World* 7(7): 94-95.
- Dai, Y.C., Wang, Z., Binder, M. and Hibbett, D.S. 2006. phylogeny and a new species of *Sparassis* (Polyporales, Basidiomycota): evidence from mitochondrial atp6, nuclear rDNA and rpb2 genes. *Mycologia* 98(4): 584-592.
- Bang, R. and Lee, Y.J. 2019. a review on phytochemistry and pharmacology of *Sparassis crispa*. *Kor. J. Herbol.* 34(6): 131-138.
- Kwak, J.N. 2019. analysis of active components according to extraction method of *Sparassis crispa*. M.Sc. Thesis, Department of Chemistry, Hanseo University, Seosan, Republic of Korea.
- Shin, H.J., Oh, D.S., Lee, H.D., Kang, H.B., Lee, C.W. and Cha, W.S. 2007. analysis of mineral, amino acid and vitamin contents of fruiting body of *Sparassis crispa*. *J. Life Sci.* 17(9): 1290-1293.
- Liu, J., Zhang, X., Zhang, J., Yan, M., Li, D., Zhou, S., Feng, J. and Liu, Y. 2022. Research on extraction, structure characterization and immunostimulatory activity of cell wall polysaccharides from *Sparassis latifolia*. *Polymers*. 14(3):549.
- Wang, H., Zhang, M. and Mujumdar, A.S. 2014. comparison of three new drying methods for drying characteristics and quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Dry. Technol.*

- 32(15): 1791-1802.
14. Seo, S.H., Park, S.E., Moon, Y.S., Lee, Y.M., Na, C.S. and Son, H.S. 2016. component analysis and immuno-stimulating activity of *Sparassis crispa* stipe. Korean J. Food Sci. Technol. 48(5): 515-520.
 15. Korea Forest Service. 2023. Forest product cultivation and utilization technical manual. National Institute of Forest Science, Seoul, Korea, pp. 411.
 16. Kim, D.S., Han, K.S., Park, H.S. and Cho, J.H. 2024. Research trends in postharvest technologies for quality preservation of *Flammulina velutipes* during storage and distribution. J. Mushroom. 22(4): 157-166.
 17. Cao, Y., Wu, L., Xia, Q., Yi, K. and Li, Y. 2024. Novel post-harvest preservation techniques for edible fungi: a review. Foods. 13(10): 1554.
 18. Zhang, P., Fang, D., Pei, F., Wang, C., Jiang, W., Hu, Q. and others. 2022. Nanocomposite packaging materials delay the browning of *Agaricus bisporus* by modulating the melanin pathway. Postharvest Biol. Technol. 192: 112014.
 19. Wang, B., Yun, J., Ye, C., Xu, S., Guo, W., Zhao, F. and others. 2024. A novel polyethylene nanopackaging combined with ozone fumigation delayed the browning and softening of *Agaricus bisporus* during postharvest storage. Postharvest Biol. Technol. 210: 112771.
 20. Chen, L., Zhao, Y., Wu, W., Zeng, Q. and Wang, J.J. 2023. New trends in the development of photodynamic inactivation against planktonic microorganisms and their biofilms in food system. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 22(5): 3814-3846.
 21. Ni, X., Yu, J., Shao, P., Yu, J., Chen, H. and Gao, H. 2021. Preservation of *Agaricus bisporus* freshness with using innovative ethylene manipulating active packaging paper. Food Chem. 345: 128757.
 22. Kumari, S.V.G., Pakshirajan, K. and Pugazhenth, G. 2024. Development and characterization of active poly (3-hydroxybutyrate) based composites with grapeseed oil and MgO nanoparticles for shelf-life extension of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Int. J. Biol. Macromol. 260: 129521.
 23. Wu, W., Ni, X., Shao, P. and Gao, H. 2021. Novel packaging film for humidity-controlled manipulating of ethylene for shelf-life extension of *Agaricus bisporus*. LWT. 145: 111331.
 24. Wu, W., Wu, Y., Lin, Y. and Shao, P. 2022. Facile fabrication of multifunctional citrus pectin aerogel fortified with cellulose nanofiber as controlled packaging of edible fungi. Food Chem. 374: 131763.
 25. Misra, N., Yezpez, X., Xu, L. and Keener, K. 2019. In-package cold plasma technologies. J. Food Eng. 244: 21-31.
 26. Min, S.C., Roh, S.H., Niemira, B.A., Boyd, G., Sites, J.E., Uknalis, J. and Fan X. 2017. In-package inhibition of *E. coli* O157:H7 on bulk Romaine lettuce using cold plasma. Food Microbiol. 65: 1-6.
 27. Misra, N.N., Keener, K.M., Bourke, P., Mosnier, J.-P. and Cullen, P.J. 2014. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. J. Biosci. Bioeng. 118(2): 177-182.
 28. Guo, Y., Xia, S., Shi, C., Ma, N., Pei, F., Yang, W., Hu, Q., Kimatu, B.M. and Fang, D. 2024. The effect of cold plasma treatment on the storage stability of mushrooms (*Agaricus bisporus*). Foods. 13(21): 3393.
 29. Subrahmanyam, K., Gul, K., Sehrawat, R. and Allai, F.M. 2023. Impact of in-package cold plasma treatment on the physicochemical properties and shelf life of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Food Biosci. 52: 102425.
 30. Zheng, Y., Zhu, Y., Zheng, Y., Hu, J., Chen, J. and Deng, S. 2022. The effect of dielectric barrier discharge plasma gas and plasma-activated water on the physicochemical changes in button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Foods. 11(21): 3504.
 31. Alaguthevar, R., Packialakshmi, J.S., Murugesan, B., Rhim, J.W. and Thiagamoorthy, U. 2024. In-package cold plasma treatment to extend the shelf life of food. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 23(2): e13318.
 32. Sharma, R., Nath, P.C., Rustagi, S., Sharma, M., Inbaraj, B.S., Dikkala, P.K. and others. 2025. Cold plasma—a sustainable energy-efficient low-carbon food processing technology: physicochemical characteristics, microbial inactivation, and industrial applications. Int. J. Food Sci. 2025(1): 4166141.
 33. Lee, H.W., Oh, Y.J. and Min, S.C. 2024. Microbial inhibition in mixed vegetables packaged in plastic containers using combined treatment with hydrogen peroxide and cold plasma. Food Control. 161: 110107.
 34. Sun, B., Chen, X., Xin, G., Qin, S., Chen, M. and Jiang, F. 2020. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on quality of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) packaged in different packaging materials. Postharvest Biol. Technol. 159: 111023.
 35. Chen, B., Wu, G., Li, L., Wei, Q., Zhong, Q., Chen, X. and others. 2019. Effects of 1-methylcyclopropene on the quality attributes of harvested Chinese mushroom (*Volvariella volvacea*) fruiting bodies. Food Sci. Nutr. 7(2): 747-754.
 36. Jamjumroon, S., Wongs-Aree, C., McGlasson, W., Srilaong, V., Chermklin, P. and Kanlayanarat, S. 2013. Alleviation of cap browning of 1-MCP/high CO₂-treated straw mushroom buttons under MAP. Int. Food Res. J. 20(2).
 37. Chen, L., Xu, S., Chen, J., Zhang, M., Qiu, M. and Jiang, Y. 2024. Transcriptome sequencing analysis of the effects of 1-MCP and ethephon treatments on the storage quality of *Pleurotus pulmonarius*. Sci. Hortic. 338:113721.
 38. Huang, X.L., Han, Y.C., Chen, H.J., Fang, X.J., Wu, W.J. and Liu, R.L. 2022. 1-Methylcyclopropene inhibits postharvest browning of *Lentinus edodes* by regulating energy metabolism. Food Science. 43(13):192-198.
 39. Zhu, X., Hui, S., Huang, H., Liu, R., Wang, S. and Huang, C. 2024. Antimicrobial mechanism of chlorine dioxide and its impacts on postharvest management in horticultural produce: A review. Postharvest Biol. Technol. 213:112921.

40. Jin, W., Su, F., Zhou, H., Jiang, Q., Li, Y. and Zhao, H. 2024. Effects of chlorine dioxide on the postharvest storage quality of fresh-cut button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Horticulturae. 10(11):1155.
41. Qian, X., Hou, Q., Liu, J., Huang, Q., Jin, Z. and Zhou, Q. 2021. Inhibition of browning and shelf life extension of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by ergothioneine treatment. Sci. Hortic. 288:110385.
42. Shekari, A., Hassani, R.N. and Aghdam, M.S. 2021. Exogenous application of GABA retards cap browning in *Agaricus bisporus* and its possible mechanism. Postharvest Biol. Technol. 174:111434.
43. Namiota, M. and Bonikowski, R. 2021. The current state of knowledge about essential oil fumigation for quality of crops during postharvest. Int. J. Mol. Sci. 22(24):13351.
44. Qu, T., Li, B., Huang, X., Li, X., Ding, Y. and Chen, J. 2020. Effect of peppermint oil on the storage quality of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Food Bioprod. Process. 13:404-418
45. Feng, L., Jiang, X., Han, J., Li, L., Kitazawa, H., Wang, X., Guo, Y., Dong, X. and Liu, H. 2023. Properties of an active film based on glutenin/tamarind gum and loaded with binary microemulsion of melatonin/pummelo essential oil and its preservation for *Agaricus bisporus*. Food Chem. 429:136901.
46. Qiu, J., Yang, H., Zhang, Y., Xiao, Y., Wang, L., Peng, Y., Yu, X., Huang, X., Zhong, T. and Huang, X. 2024. Emerging trends in the application of riboflavin-mediated photodynamic inactivation for food preservation. Trends Food Sci. Technol. 143:104295
47. An, G.H., Han, J.G., Kim, O.T. and Cho, J.H. 2020. Changes of biological activity and nutritional content by processing methods of *Flammulina velutipes*, *Grifola frondosa*, and *Sparassis crispa*. Journal of Mushroom. 18(4):403-409.
48. Li, Y., Chen, S., Tang, B., Wu, L. and Lai, P. 2022. Eutectic point and freeze-drying curve of *Tremella fuciformis* containing sucrose. Food Sci. Technol. 42:e98521.
49. Li, Y., Chen, J., Lai, P., Tang, B. and Wu, L. 2019. Influence of drying methods on the physicochemical properties and nutritional composition of instant *Tremella fuciformis*. Food Sci. Technol. 40:741-748.
50. Liu, Y., Luo, M., Liu, F., Feng, X., Ibrahim, S.A., Cheng, L. and Huang, W. 2020. Effects of freeze drying and hot-air drying on the physicochemical properties and bioactivities of polysaccharides from *Lentinula edodes*. Int. J. Biol. Macromol. 145:476-483.
51. Do, J.H., Kim, K.H., Jang, J.G., Yang, J.W. and Lee, K.S. 1989. Changes in color intensity and components during browning reaction of white ginseng water extract. Korean J. Food Sci. Technol. 21(4):480-485.
52. Kim, K. 2010. Optimization for β -glucan extraction from *Sparassis crispa* using response surface methodology. M.S. Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
53. Bae, I.Y., Kim, K.J., Lee, S. and Lee, H.G. 2012. Response surface optimization of β -glucan extraction from cauliflower mushrooms (*Sparassis crispa*). Food Sci. Biotechnol. 21:1031-1035.
54. Mykchaylova, O., Gryganskyi, A., Lomberg, M. and Bisko, N. 2017. The study of morphological and cultural properties of *Sparassis crispa* (Sparassidaceae, Polyporales). Ukrainian J. Ecol. 7(4):550-558.
55. Sharma, N., Tapwal, A., Verma, R., Kumar, D., Nepovimova, E. and Kuca, K. 2022. Medicinal, nutritional, and nutraceutical potential of *Sparassis crispa* s. lat.: a review. IMA Fungus. 13(1):8.
56. Chandrasekaran, G., Lee, Y.C., Park, H., Wu, Y. and Shin, H.J. 2016. Antibacterial and antifungal activities of lectin extracted from fruiting bodies of the Korean cauliflower medicinal mushroom, *Sparassis latifolia* (Agaricomycetes). Int. J. Med. Mushrooms. 18(4):291-299.
57. Wang, Z., Liu, J., Zhong, X., Li, J., Wang, X., Ji, L., and Wang, L. 2019. Rapid characterization of chemical components in edible mushroom *Sparassis crispa* by UPLC-Orbitrap MS analysis and potential inhibitory effects on allergic rhinitis. Molecules. 24(16):3014.
58. Kavishree, S., Hemavathy, J., Lokesh, B., Shashirekha, M. and Rajarathnam, S. 2008. Fat and fatty acids of Indian edible mushrooms. Food Chem. 106(2):597-602.
59. Kodani, S., Hayashi, K., Hashimoto, M., Kimura, T., Dombo, M. and Kawagishi, H. 2009. New sesquiterpenoid from the mushroom *Sparassis crispa*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 73(1):228-229.
60. Sulowska-Ziaja, K., Muszyńska, B. and Szewczyk, A. 2015. Antioxidant components of selected indigenous edible mushrooms of the obsolete order Aphyllophorales. Rev. Iberoam. Micol. 32(2):99-102.
61. Liang, C.H., Tsai, S.Y., Huang, S.J., Liang, Z.C. and Mau, J.L. 2010. Taste quality and antioxidant properties of medicinal mushrooms *Phellinus linteus* and *Sparassis crispa* mycelia. Int. J. Med. Mushrooms. 12(2).
62. Lei, M., Guo, L., Zhang, Y., Yan, X., Jiang, F. and Sun, B. 2024. Effectiveness of anaerobic treatment combined with microperforated film packaging in reducing *Agaricus bisporus* postharvest browning. Postharvest Biol. Technol. 211:112833.
63. Cheng, Y., Wei, Y., Zhang, M. and Wang, H. 2022. Effect of micro-perforated film packing on physicochemical quality and volatile profile of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest shelf-life. J. Food Process. Preserv. 46(7):e16648.
64. Pogorzelska-Nowicka, E., Hanula, M., Wojtasik-Kalinowska, I., Stelmasiak, A., Zalewska, M., Pótorak, A. and Wierzbicka, A. 2020. Packaging in a high O₂ or air atmospheres and in microperforated films effects on quality of button mushrooms stored at room temperature. Agriculture. 10(10):479.
65. Ma, N., Wang, C., Pei, F., Han, P., Su, A., Ma, G., Kimatu, B.M., Hu, Q., and Fang, D. 2022. Polyethylene-based packaging material loaded with nano-Ag/TiO₂ delays quality

- deterioration of *Agaricus bisporus* via membrane lipid metabolism regulation. *Postharvest Biol. Technol.* 183:111747.
66. Fang, D., Wang, H., Deng, Z., Kimatu, B.M., Pei, F., Hu, Q., and Ma, N. 2022. Nanocomposite packaging regulates energy metabolism of mushrooms (*Flammulina filiformis*) during cold storage: A study on mitochondrial proteomics. *Postharvest Biol. Technol.* 193:112046.
67. Zuo, C., Hu, Q., Su, A., Xu, H., Li, X., Mariga, A.M. and Yang, W. 2021. Nanocomposite packaging delays lignification of *Flammulina velutipes* by regulating phenylpropanoid pathway and mitochondrial reactive oxygen species metabolisms. *Postharvest Biol. Technol.* 171:111360.
68. Hanula, M., Pogorzelska-Nowicka, E., Pogorzelski, G., Szpicer, A., Wojtasik-Kalinowska, I., Wierzbicka, A. and Pótorak, A. 2021. Active packaging of button mushrooms with zeolite and açai extract as an innovative method of extending its shelf life. *Agriculture.* 11(7):653.
69. Lyn, F.H., Adilah, Z.M., Nor-Khaizura, M., Jamilah, B. and Hanani, Z.N. 2020. Application of modified atmosphere and active packaging for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Food Packag. Shelf Life.* 23:100451.

투고: 2025.07.18 / 심사완료: 2025.08.04 / 게재확정: 2025.08.13

AI 활용을 통한 기업에서의 디자인 기획 솔루션 방안 연구 - 아임비타 에디션 패키지디자인을 중심으로 -

김나영*

인하공업전문대학 산업디자인학과

A Study on Establishing AI-Based Design Planning Solutions in Corporations - Focus on the Design of the I'm Vita Edition Package -

Kim, Na Young*

Department of Industrial Design, Inha Technical College, Korea

Abstract It is intended to establish AI-based design planning solutions that effectively integrate artificial intelligence (AI) in the design development process of research backgrounds and purpose companies to improve creativity and efficiency. To this end, we analyzed the design development process of Chong Geun Dang Health and presented a strategic framework to maximize the IDIT performance in the design thinking methodology using the generic AI tool. As digital conversion accelerates, creative problem-solving approaches such as design thinking are also changing. At the center of this change is the development of the productive AI, which is widely applied not only to analytical and perceptual function but also to areas where creativity is required. The research method of research is empirically analyzed through the web design and package design project when the generated AI is used as a tool for the design thinking process (Discover - Define - Develop - Deliver). Studies show that the study results increase the progress of each stage, improve the data collection accuracy, and high quality visuals. We have confirmed that we can support prototype development. In addition, each step suitable AI tools and its features were derived, and the actual application plan was proposed. Research results will provide real guidelines for the use of AI in design planning, and to contribute to expanding the theoretical exterior of AI integrated design methodology in the corporate environment.

Keyword AI-Based Design Planning Solutions, AI tools, Design thinking, Package Design

서 론

인공지능(AI)은 전 세계 산업을 변화시키고 있으며, 디자인 분야에서의 AI는 단순한 트렌드가 아니라, 창의적인 전문가들의 업무방식을 근본적으로 바꿔 놓을 게임 체인저가 되고 있다. 2022년 11월 ChatGPT의 출시를 시작으로 생성형 AI는 전 산업 분야에 걸쳐 지각변동을 일으키기 시작했다. 출시 100일 만에 사용자 수가 1억 명을 돌파하며, 그 파괴력을 입증했다. 특히 디자인 분야는 텍스트 프롬프트만으로 이미지와 영상을 즉시 생성할 수 있는 생성형 AI의 등장에 큰 충격을 받았다. 2022년 3월 출시된 미드저니(Midjourney)는 같은 해 3월 14일 디스코드 서버를 개설하

며 빠르게 주목을 받기 시작했다. 그 발전 속도는 전례 없이 빠르게 진행되고 있으며, AI in Design: What's Next in 2025 보고서에 따르면 2025년은 디자인 분야에서 AI가 본격적으로 도약하는 중요한 전환점이 될 것으로 보인다고 한다.

생성형 모델을 AI인 달리(DALL-E)와 미드저니(Midjourney), 어도비 파이어플라이(Adobe Firefly) 같은 생성형 모델을 통해 디자이너들은 단 몇 분 만에 아이디어를 시각적으로 콘셉트화를 할 수 있게 되었다. 2023년 Adobe MAX 행사에서 Adobe CEO 산타누 나라옌(Shantanu Narayen)은 “AI 도구는 새로운 창의적 가능성을 열어주었고, 디자이너들을 더욱 효율적으로 만들어주고 있다”고 언급했습니다. 이러한 기술 혁신들은 AI가 창의적 프로세스에서 없어서는 안될 조력자로 자리잡고 있으며, 기존 프로세스에 AI를 활용할 경우 패키지개발에서의 협업을 할 수 있다.

2025년 피그마(Figma) 보고서에 따르면, 전체 사용자 중

*Corresponding Author: Nayoung Kim
Inha Technical College, Korea
Tel: +82-10-8223-6921
E-mail: nykim@inhac.ac.kr

약 1/3이 AI 기반 기능을 활용해 제품을 출시하고 있으며, 이는 전년 대비 50% 증가한 수치이다.

특히 복잡한 작업을 수행하는 에이전트 AI의 활용도 증가하고 있다. 이에 따라 아이디어 발상 → 시각화 → 프로토타이핑 → 최종 결과물 제작에 이르는 전 디자인 프로세스에서 AI의 적용이 가능해지면서, 디자이너의 역할도 '직접 설계하는 생산자'에서 'AI를 기획하고 조율하는 큐레이터'로 전환되고 있다. 그러나 브랜드 방향성과 품질 유지를 위한 인간 디자이너의 개입을 통한 디자인 프로세스설계, 프롬프트 관리, 최종 품질 검수는 핵심 디자이너 역할로 남아 있다. 디자이너만의 감성적 판단과 취향이 새로운 차별화 요소로 부각되고 있다(Gargoyle, 2025). 생성형 AI의 발전으로 디자인 프로세스 내 다양한 시도들이 이어지고 있으며, 생성형 AI 도구는 그래픽 디자인 및 3D 모델링 등 시각 작업 영역에 큰 영향을 미치고 있다. 본 연구는 텍스트 생성형 AI(챗GPT)와 이미지 생성형 AI 달리(DALL·E), 미드저니(Midjourney), 어도비 파이어플라이(Adobe Firefly)를 활용한 디자인싱킹 프로세스 중 사용자 기반으로 패키지 디자인 프로세스에 활용하여 기업의 패키지디자인개발 프로세스에 활용함으로써 프레임워크를 제안하고자 한다. 연구자는 중근대건강과 E대학교 산업디자인학과가 협력하여 진행한 기업에서의 생성형 AI 디자인툴 활용방안 프로젝트의 퍼실리테이터로서 역할을 했고, 프로젝트 과정과 결과물을 토대로 분석 정리하였다. MZ세대를 위한 아임비타 에디션패키지를 기획·제작하는 과정에서 디자이너와 생성형 AI의 활용한 협업 가능성을 검토하고 패키지디자인 개발 프로세스 프레임워크를 제안하고자 하였다.

본 론

1. 생성형 AI 활용 디자인 업무 활용

산업과 기술의 발전으로 인해 미래의 디자이너는 디자인의 역할은 단순한 미적 결과물 창출을 넘어서, 사회적 문제 해결과 가치 창출로 확장되고 있다.¹⁾

특히 인공지능(AI)의 도입으로 인해 디자이너는 보다 유연한 사고력, 창의적 문제 해결 능력, 효율적인 프로젝트 관리 역량을 요구받고 있으며, 이는 사용자 중심 설계를 실

현하기 위한 협업적 역할로 이어지고 있다. 이러한 변화는 디자이너를 단순한 이미지를 제작할 뿐 아니라 문제 해결자를 위한 전략적 기획자로 디자인의 사회적 기능과 영향력을 재정의하고 역할 확장의 가능성을 보여주고 있다. 고도화된 기술은 사용자의 감성과 경험을 극대화하는 아이디어 발굴에 있어 강력한 조력자 역할을 하며, 이를 통해 차별화된 가치를 제공하고 기업에서의 디자인 활용을 통한 경쟁력을 강화할 수 있다.

본 연구는 중근대건강과 E대학교와 산학협력을 통한 패키지디자인 개발과정에서 AI를 활용해 전략적 디자인을 도출하는 방안을 모색하며, 디자인 프로세스 전반에 적용 가능한 툴킷(toolkit)으로서의 활용 가능성을 모색하고자 한다. 특히 패키지디자인 개발 과정에서 AI를 활용한 디자인 기획과정을 통해 아이디어 도출 방안과 리서치 기반의 디자인 솔루션을 개발할 수 있는 접근법에 활용을 제안하고, 이를 위한 AI 도구의 기본 개념 이해와 실질적 협업 방안을 각 프로세스별 실험 통해 결과물을 모색하고자 하였다.

1.1. 기업에서의 생성형 AI 디자인업무의 활용 확장

기업에서의 생성형 AI는 디자인업무에 다양한 분야에 활용되고 있다. LG생활건강, 2024년 AI가 그린 '청룡에디션' 선물세트 출시하였고, 패키지 전면과 제품 개별 포장에 수놓인 신비로운 청룡일러스트를 LG 멀티모달 AI '엑사원 아틀리에(EXAONE Atelier)'을 활용한 디자이너는 '하늘을 날고 있는 푸른 용'이 '파리를 들고 하늘로 날아오르는 용맹한 용' 등의 문장을 입력하자 다양한 AI 이미지가 생성되었다고 하였고, GS편의점에서도 생성형 AI 활용한 패키지 디자인을 적용한 신제품이 출시되었으며, 롯데백화점의 봄 시즌 비주얼 이미지를 SNS 콘텐츠를 넘어 유통사의 키비주얼까지, 생성형 AI의 활용하고 있으며, 11번가 프로모션 이미지로 여름 바캉스 프로모션 '지금, 바캉스를 준비할 때'에 디자이너의 후작업 과정을 거쳐 프로모션의 대표 이미지로 활용하였으며, 게임 개발 분야에서는 생성형 AI 모델을 활용하면 게임 자산을 빠르고 효율적으로 생성하고 패션 기업들은 생성형 AI를 활용하면 실제 모델을 고용하여 촬영하는 대신 가상 모델컷을 생성할 수 있어, 촬영 비용을 크게 절감할 수 있었다,



Fig. 1. LG Household & Health Care, 11st, Coach, and Queen Style AI Utilization Cases.

또한 2024년 4월 세계 최초의 AI 패션위크(AIFW)에서는 AI를 활용한 다양한 디자인이 선보여 큰 화제가 되었다. 기업들은 AI 활용 통해 더 창의적이고 효율적인 작업을 할 수 있게 되었다.

2. 생성형 AI

2.1. ChatGPT

ChatGPT는 Open AI에 의해 개발된 자연어 처리 기술(NLP)기술을 기반으로 하는 인공지능 모델이다. ChatGPT는 사용자의 질문에 응답하고 다양한 언어 기반 작업을 수행할 수 있도록 설계된 대규모 언어 모델이다. 이 모델은 광범위한 텍스트 데이터를 기반으로 학습되었으며, 다국어 처리 능력과 문맥 이해를 바탕으로 고도화된 대화형 상호작용이 가능하다. 특히 다양한 주제와 상황에 대한 반응성이 뛰어나며, 자연어를 매개로 한 정보 제공, 요약, 생성, 번역 등 다양한 언어 작업에 특화되어 있다. 생성형 AI는 인간과 상호작용하는 과정에서 스스로 학습하고 지식을 생산하면서 전반적인 품질이 개선되고 있다.²⁾

이에 본 연구에서는 ChatGPT를 활용하여 디자인을 위한 기초 정보 및 아이디어 도출 과정에서의 ChatGPT가 질문에 대한 즉각적인 피드백 및 답변을 제공을 통해 리서치를 보완하여 진행하고자 한다.

본 연구에서도 대화형 AI의 가장 큰 비율을 차지하고 있는³⁾ ChatGPT를 이용하여 마케팅, 개발의 역할을 대체하여 디자인개발 프레임워크에 협업 방안을 제안하고자 한다. Procreator Report 2024에서는 418명의 디자이너 의견을 담은 인사이트 중심 보고서에 따르면, 아이디어 구상, 사본 작성, 고객 서비스 등을 위한 대화형 AI ChatGPT 디자이너 팀에게 매우 유용 2023년 85.71% 활용에서 86%가 되면서, AI 도구는 빠르게 변화하는 디자인 및 기술 환경에서 창의적 프로세스의 핵심 요소가 되어있다⁴⁾.

2025년 3월 ChatGPT-4o 이미지 생성(Chat GPT-4o Image Generation) 최근 ChatGPT를 통해 이미지 생성이 가능해짐에 따라 이러한 도구들은 디자이너의 작업 방식을 단순히 바꾸는 것을 넘어, 인간과 인공지능의 시너지를 통해 이를 수 있는 새로운 기준을 설정하고 있다. 86%의 응답자가

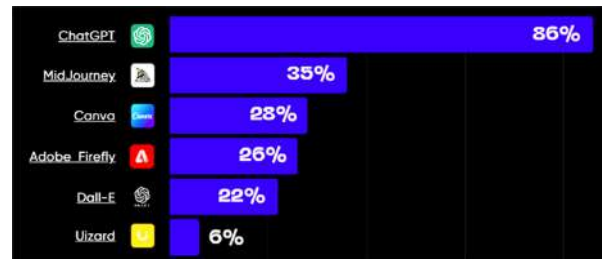


Fig. 2. Current Status of AI Tool Utilization in Design Development. ref. 4.

ChatGPT를 사용한다는 사실은, 오늘날 디자인 개발 프로세스에서 대화형 AI가 핵심적인 역할을 하고 있음을 분명히 보여준다.

2.2. 이미지 생성 AI

생성형 AI는 데이터 기반 학습을 통해 새로운 콘텐츠를 창출하는 인공지능 기술로, 특히 이미지와 동영상 생성 분야에서 혁신적인 발전을 보여주고 있다. 이 기술은 사용자의 요구에 기반하여 고품질의 시각적 콘텐츠를 생성하며, 예술, 디자인, 엔터테인먼트, 교육 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 생성형 AI는 창의적 작업을 보조 및 사용자의 창의력을 확장하는 데 중요한 역할을 한다.⁵⁾

생성형 AI 기술 중 대표적인 디자이너가 활용하는 이미지 생성 프로그램으로는 AI for Design: 5 Online Resources by Pro Designers(2024)자료에 따르면 미드저니(Midjourney), 달리(DALL-E), 스테이블디퓨전(Stable Diffusion), 어도비 파이어플라이(Adobe Firefly)등이 있다. 이들 프로그램 각기 특징을 가지고 있어 실제 사례를 통해 이미지를 생성하고자 하였다. 미드저니(Midjourney) 35%와 달리(DALL-E)) 22%를 합쳐 57% 이상의 응답자가 사용 중이며, 이는 AI를 통한 시각 콘텐츠 생성이 중요한 트렌드로 자리잡고 있음을 보여준다. 디자인의 접근성과 단순화 Canva를 28%가 사용한다는 점은, 전통적인 디자인 배경이 없는 사람들도 전문가 수준의 시각 자료를 만들 수 있도록 디자인이 되고 있음을 보여준다.

이를 토대로 AI 다양한 툴 활용방안 습득을 위한 다양한

Table 1. Generative AI Utilization Tools(Choi Jeong-su, 2024)

구분	세부 항목	활용 가능한 도구
자료 조사	조사	ChatGPT, Gemini, Bing AI, AskUp, CLOVA, Perplexity 등
	분석	Rationale, Taskade AI 등
자료 제작·계획	제작	Notion AI, Gamma, wrtn, Ryt, ChatPDF, VoxScript, SmartSlide, Slide AI, AI Diagrams, Consensus, Supertools 등
디자인 실행	이미지 생성	Adobe Firefly, Midjourney, Stable Diffusion, Dreamstudio, Ideogram AI 등
	동영상 생성	Runway AI, Pictory, Flix, D-ID, descript 등
	사운드 생성	CLOVA Voice, SOUNDRAW, voicemod 등

Table 2. Image generation tool features and usability by type of generative AI program

	달리(DALL -E)	미드저니(Midjourney)	스테이블디퓨전 (Stable Diffusion)	어도비 파이어플라이 (Adobe Firefly)
특징	자연어 처리 기능을 활용하는 생성형 AI 높은 정밀도와 디테일이 있음, ChatGPT 연동	자연어 처리 기능을 활용하는 생성형 AI 다양한 옵션과 고성능의 이미지 생성 기술 보유하며 커뮤니티 프롬프트 공유	Stability AI가 개발, 운영하는 생성형 AI 딥러닝기반의 텍스트→이미지 모델 영상, 이미지 모두 제공	어도비에서 개발한 생성형 AI 어도비 애플리케이션에서 활용 가능 텍스트→이미지 모델
이미지 생성방법	텍스트 투 이미지 (Text to image)	텍스트 투 이미지 이미지 직접 삽입	텍스트 투 이미지 (Text to image)	텍스트 투 이미지 (Text to image)
상업적 가능 이용	가능(ChatGPT Plus· API 이용 시)	가능(유료 플랜만)	가능(모델 라이선스에 따라 다름)	가능(저작권 안전, 라이선스 데이터 학습)
장 점	· 사실적인 이미지 생성 뛰어난 · 사용법 간단 · 다양한 텍스트 프롬프트 지원 · ChatGPT 내 즉시 사용 · 텍스트 생성 기능 · 디자인, 로고, 목업 등 텍스트를 통합함	· 다양성 및 고품질 · 다양한 편집 옵션, 매개 변수, 크기 조정 가능 · 특정 부분만 다시 생성 가능, 생성 중 프롬프트 업데이트 가능 · 일관된 미학적 결과물 및 강한 예술적 스타일 · 활발한 커뮤니티	· 컴퓨터 사용 리소스 매우 낮음(4GB) · 무료로 사용 가능 (오픈 소스) · 확장성 및 자유도가 높음 · 완전한 제어 가능, · 검열 없음 · 로컬 실행 시 비용 없음	· 어도비어플리케이션 연계 가능 · 직관적인 인터페이스 · 생성형 채우기 기능 (생성형 재색상화) · 수정할 부분 직접 선택 및 지정 가능 · 디자이너가 능동적 사용 가능 · 저작권 문제로부터 자유로움
단점	· 사진 편집 기능은 고급이거나 강력하진 않음 · 스타일 다양성 제한 · 비교적 느린 이미지 생성 속도	· 접근성에 대한 제약(디스코드) · 생성 중인 이미지에 대한 피드백 부족 · 무료 없음	· 초기 세팅 어려움 · 그래픽 카드 필요 · 고사양 PC 필요 · 저작권 문제 확인필요	· 타사대비 비교적 퀄리티 관리 필요 · 관련성 없는 결과가 생성될 가능성 있음 · Adobe 구독 필요
가격	ChatGPT Plus 월 \$20 또는 API 종량제	Basic 약 \$10/월, Standard \$30/월, Pro \$60/월	로컬 무료, 클라우드 \$10~\$30/월	Adobe 구매 플랜에 따라 다름
활용방향 예시사례	SNS 콘텐츠, 마케팅 컨셉, 에디토리얼 일러스트	브랜드 무드보드, 패션 컨셉 아트, 포스터 디자인	제품 목업, 실험적 아트, 니치 콘셉트 테스트	패키지 디자인, 마케팅 배너, 브랜드 사진 편집

이미지 생성 툴 중 활용도가 가장 많은 4가지 프로그램에 대해서 비교 분석하고 정리하였다.

3. 디자인사고 방법론

3.1. 디자인씽킹 더블다이아몬드 모델

본 연구는 디자인 씽킹 프로세스에 기반한 협업 워크숍을 진행하여, 결과물을 기록하고, 이를 통해 AI 기반 협업 공존방향을 위한 패키지디자인개발 프로세스 프레임워크를 구축하고자 진행하였다.

더블다이아몬드 모델(Double diamond model)은 디자인 과정을 체계적으로 이해하고 접근하기 위한 방법론으로, 영국 디자인 위원회(Design council)에 의해 2005년에 개발되었다. 이 모델은 디자인 프로세스를 ‘발견(Discover)’, ‘정의(Define)’, ‘개발(Develop)’, 그리고 ‘전달(Deliver)’의 네 단계로 나눈다. 각 단계는 ‘다이아몬드’로 표현되며, 이는 디

자인 사고의 확장 과정의 수렴의 과정을 시각적으로 나타낸다.⁶⁾

스탠퍼드 대학의 디자인씽킹은 글로벌 컨설팅 그룹 IDEO를 비롯한 기업과 학계에서 다양하게 연구되고 있는데, 그중 미국 스탠퍼드 대학 d.school이 제시한 5단계가 가장 대표적이다. 사람 중심(Human-Centered)의 창의적 문제 해결 5단계 ‘공감하기 (Empathize) - 문제 정의(Define) - 아이디어 도출(Ideate) - 프로토타입(Prototype) - 테스트(Test)’로 구성⁷⁾되어 있으며, 이 단계는 비선형적으로 반복된 해 ‘페르소나’와 ‘고객 여정 지도’를 제작한다. 이는 디자인 프로젝트의 방향성을 설정하는 중요하다. 프로세스의 첫 번째 단계인 ‘공감하기’는 해결하고자 하는 문제와 이해관계자를 이해하여 통찰을 얻는 과정이다. 두 번째 단계인 ‘문제정의’에서 수집 정보를 기반으로 해결해야 하는 문제가 무엇인지를 확인한다. 이를 위한 과정이다. 3단계인 아이디어 도출에서 문제 해결을 위한 해결책을 제시하고, 제시된 해결

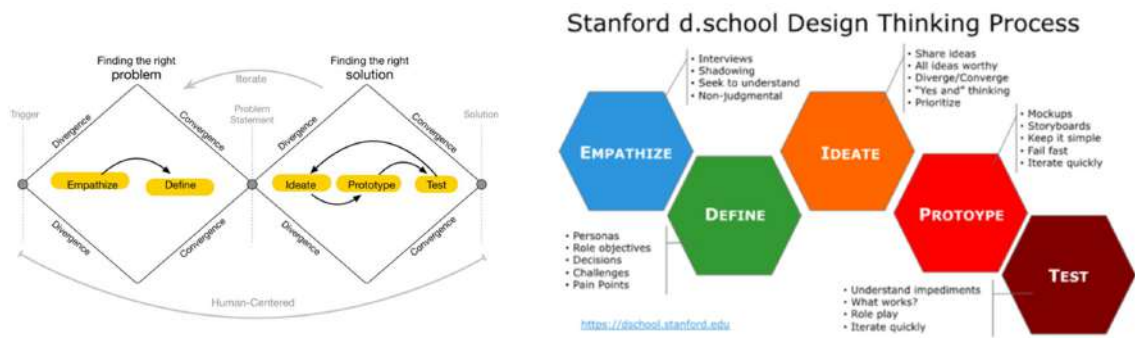


Fig. 3. Human-Centered Double Diamond Model

Table 3. The Role of Design Through Diamond Thinking Preceding Papers

논문 연구자	AI 적용 단계	핵심 시사점
한동엽·이정교(2025)	Discover → Define → Develop 단계	AI-텍스트 및 이미지 생성 도구가 Discover-Define-Develop 단계에서 어떻게 협업을 촉진하는지 실증
이윤경·김선철(2025)	Discover/Define 중심	효율·창의 지원 가능성 제시, 개발/검증에선 디자이너 역할 강조 데이터 분석, 아이디어 시각화 등에 AI가 유의미한 기여
주엽·나건(2024)	전 과정 대상 실험	비전문가 대상 프레임워크·툴킷→협업 가능성 제시 생성형 AI (Generative AI)와 협업하는 방식 실험
전우정·연명흠(2019)	각 단계에 비교 분석.	Define 단계에서는 브랜드 본질 단계 강화 필요 지적
권순영, 이경호, 신관섭 (2021)	전체 프로세스	인간공학적 개입 통한 효율화, AI 확장 가능

책이 적합하지 ‘프로토타입’ 단계에서는 문제 영역에 대한 광범위한 탐색이 이루어진다. 이는 프로젝트의 초기 단계에서 사용자, 시장, 기술 등 다양한 맥락을 이해하는 데 중점을 둔다. 다양한 해결책을 생성하고 프로토타입을 만들며, 마지막 ‘테스트’ 단계에서는 최종 솔루션을 구현하고 사용자에게 전달한다.

사용자 중심 디자인(user-centered design)은 사용자의 요구와 경험을 깊이 있게 파악하고, 이를 토대로 창의적이며 실질적인 디자인 솔루션을 도출하는 접근 방식이다. 특히 정보 시각화의 영역에서는 그래픽 요소를 활용한 시각적 맵핑(visual mapping), 그를 통해 구현되는 시각적 형태(visual form), 그리고 최종 패키지 결과물로 구성된다. 사용자가 정보를 수용하는 매체의 성격에 따라 시각적 구성 방식과 표현 형식이 달라지며, 시각화된 정보는 사용자로 하여금 내용을 인지하고 해석할 수 있는 수단으로 작용한다. 이러한 과정은 정보 전달의 효율성을 높이며, 직관적 이해를 가능하게 하는 핵심 설계 요소로 기능한다.⁸⁾

3.2. AI 기반 디자인씽킹 프로세스를 중심으로 협업에 대한 선행논문 분석

본 연구는 AI 기반의 생성 도구들이 디자인 사고 프로세스에 어떻게 통합될 수 있는지에 대해, 최근 5년간의 선행 연구를 분석하여 구조화된 협업 모델로 확장하는 것을 목표로 한다.

한동엽·이정교(2025)는 스마트 소파 디자인 연구를 통해 AI 기반 텍스트 및 이미지 생성 도구가 디자인의 발견-정의-개발(Discover-Define-Develop)단계에서 어떻게 협업을 촉진하는지를 실증적으로 보여준다. 시각 콘셉트 생성, 반복 개선을 통해 프로토타이핑 효율 증가 및 혁신적 결과물 개발할 수 있음을 입증하였다. 이윤경·김선철(2025), 전우정·연명흠(2019)는 Discover와 Define 단계에서는 ChatGPT와 미드저니(Midjourney) 등의 AI 도구가 사용자 조사 데이터 정리하여, 아이디어 스케치 및 확산하고, 시각화 자동화 및 트렌드 분석 역할 수행하였고, Develop/Deliver 단계에서는 브랜드 컨셉 구체화, 사용자 경험 설계 등에 AI의 한계가 존재하며 디자이너의 맥락적 판단 필요성 강조하였다. 주엽·나건(2024)는 생성형 AI는 디자인 품질과 작업 효율을 동시에 향상시키며, 협업 기반 교육 모델로 확장 가능성을 입증하였다. 권순영 외(2021)는 인간공학적 관점에서 기존 Double Diamond 프로세스의 병목 지점 분석하여, AI를 통해 반복 작업을 줄이고 디자이너의 전략 집중을 유도하는 방향과 연결 가능성을 제안하였다.

4. AI 기반 디자인씽킹 프로세스 분석

AI 기반 활용 가능한 패키지디자인 디자인씽킹 프로세스를 설계하고 제안하기 위해 먼저, Pre-Interview를 통해 소통의 개선이 필요한 지점을 예상하고, 워크샵을 통해 교육하고 테스트 데이터를 구축하고, 이를 종합하여 프로세스를

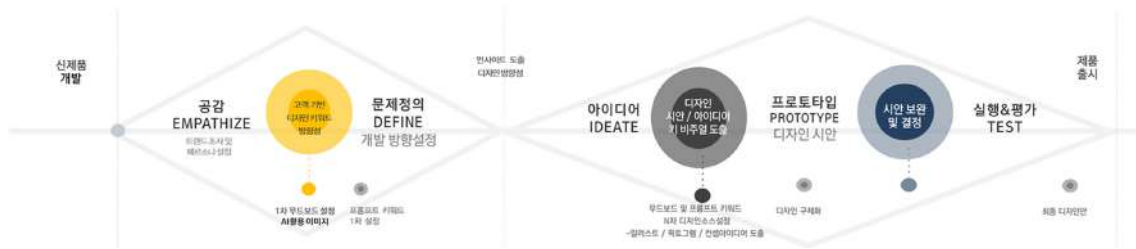


Fig. 4. Package design process and design thinking stage collaboration process.

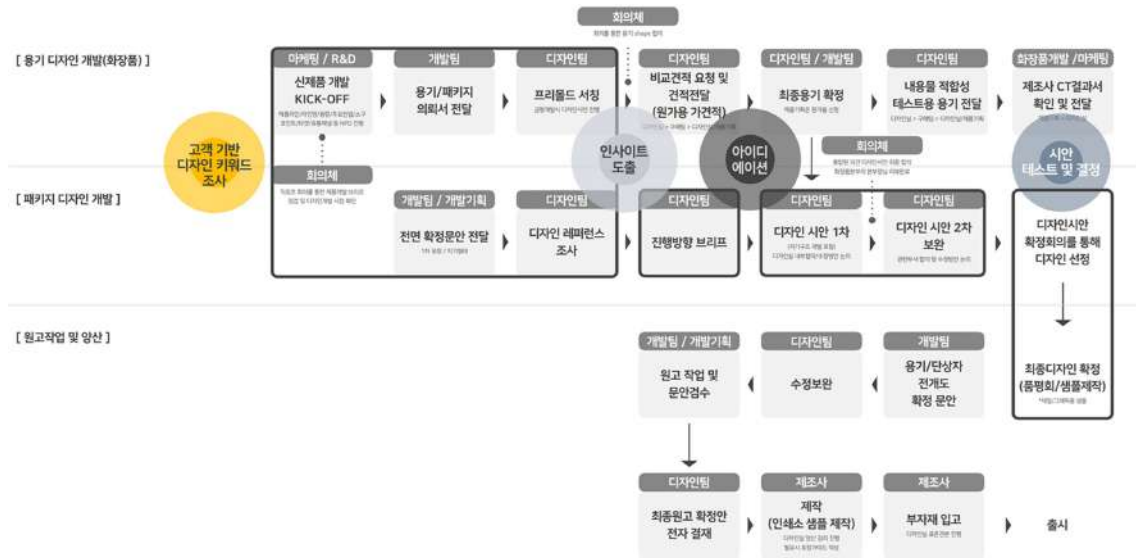


Fig. 5. Package development process based on the design thinking process.

분석하였다.

디자인 씽킹 프로세스는 일반적으로 공감(Empathy)-문제 정의(Define)-아이데이션(Ideation)-프로토타입(Prototype)-테스트(Test)의 5단계로 구성된다.

본 연구에서는 패키지 디자인 개발 과정에서 이를 데이터 조사(Data Survey)와 디자인 개발(Design Development)의 두 가지 범주로 구분하여 적용하였다.

기업에서 디자인의 프로세스 중 고객기반의 디자인키워드 조사를 통해 인사이트를 도출하는 단계가 데이터 조사(Data Survey) 범주에 해당하고 이를 통해 각 이해관계자와 컨셉 및 제품의 특징을 이해하고, 타사 제품 레퍼런스 조사를 통해 차별화된 인사이트를 도출하게 된다.

도출된 인사이트를 통해 시각적으로 이미지화하고 컨셉별 디자인 시안을 개발하는 과정이 디자인 개발(Design Development) 범주에 해당한다.

4.1. 기업에서의 패키지디자인 개발의 프레임워크 적용 방향

기업에서의 패키지 디자인 개발 과정에 생성형 AI (Generative AI)와 디자인 씽킹 프로세스를 결합한 새로운 프로세스 프레임워크를 제안하고자 한다. 이번 연구는 MZ

세대를 대상으로 하는 아임비타 브랜드의 에디션 패키지를 개발하는 것이다. 이러한 접근은 워크숍에 함께 참여하는 E대학교 대학생들의 타깃 관점을 가장 효과적으로 반영할 수 있으므로 선택되었다.

기업에서는 추석 선물세트와 크리스마스 선물세트를 모두 제안하였으나, 선물 수요가 높고 트렌드성이 강하고, 다양한 디자인 방향성이 가능한 크리스마스 시즌을 최종 개발 대상으로 선정하였다. 최종 결과물의 타깃 사용자는 트렌드에 민감한 20~30대 소비자로 설정하였으며, 이에 맞춰 아임비타 브랜드의 에디션 패키지 디자인을 개발하고자 하였다.

협업 워크숍을 통해 디자인개발이 진행되고, 선정된 아이디어를 생성형 AI 활용을 통해 디자인결과물 도출되며 타겟과 사용성에 부합하는지 확인하는 과정으로 프로토타입과 실질적인 실행을 위한 테스트가 포함된다.

4.2. 단계별 패키지디자인 개발 프레임워크 제안

4.2.1. 고객기반 디자인키워드 조사

1단계 Empathize - 사용자 공감 단계에서는 고객 중심의 신규 디자인개발을 위한 시장 현황 및 마케팅 상황을



Fig. 6. Design workshop for AI design process based on Double Diamond Process.



Fig. 7. Understanding the AI-based package development process.

빠르게 파악한다. 기존의 전달된 디자인의뢰서로부터 사례를 찾는 과정으로 이번 실험에서는 AI 툴을 활용하여 체계화하여, 상황뿐 아니라 타겟을 중심으로 조사를 실행하였다.

트렌드 조사와 페르소나 설정을 통해 다양한 키워드를 도출하였고, 도출된 키워드는 나열 후에 무드보드와 함께 의사 결정권자들과 우선순위를 설정하게 된다.

ChatGPT 질문을 통한 트렌드 조사 및 컨셉, 페르소나 설정을 위해 다음과 같이 질문을 한다. 디자인 의뢰서를 기준으로 디자인 레퍼런스 조사를 위해 주요 컨셉 파악을 진행한다. 2024 크리스마스 시즌 트렌드 조사를 하기 위해 “2024년 크리스마스 시즌, MZ세대가 선호하는 디자인 트렌드와 색상·패턴 경향은 무엇인가요?”, “2024년 크리스마스 한정판 패키지에서 인기 있는 비주얼 모티브(예: 오브제, 캐릭터, 심볼)는 어떤 것인가요?”, “2024년 크리스마스 시즌 글로벌/국내 건강식품(헬스푸드) 시장의 패키지·브랜딩 트렌드 사례를 알려주세요.”를 분석한다. 이를 통해 선물셋트나 건강기능식품 선물셋트 및 2024년의 트렌드를 분석할 수 있다.

4.2.2. 인사이트 도출

2단계 정의하기를 설정을 위해 스토리텔링 기반으로 한

디자인 인사이트를 도출한다 우선 순위 키워드 기반으로 Chat GPT에서 가상의 스토리를 만들어낸다. 또한 MZ세대 크리스마스 선물 구매 요인 분석을 위해 “MZ세대가 크리스마스 시즌에 건강식품을 선물로 선택할 때 가장 중요하게 생각하는 요인은 무엇인가요? 여기에 가격, 디자인, 브랜드 스토리, 기능성을 포함한다. “MZ세대가 ‘기억에 남는 크리스마스 선물’이라고 느끼는 패키지·브랜드 특징은 무엇인가요?”등을 분석한다. 또한 상세한 페르소나를 위해 페르소나 설정을 위한 ‘이 제품을 쓰는 사람’ 묘사 질문이나 아이비타 건강식품을 사용하는 사람을 구체적으로 묘사를 위해 우리가 타겟으로 하는 나이, 성별, 직업, 라이프스타일, 관심사, 소비 패턴을 작성한다.

작성된 프롬프트를 달리(DALL-E)의 Outpointing 기법으로, 컨셉, 제품의 내용물 등을 사진, 텍스트 형태로 복합적으로 입력하고 가상의 이야기를 만들어낸다. 가상스토리에서 영감을 받아 인사이트를 도출하여 프롬프트 키워드의 기반이 된다, 고객의 경험 여정을 생각하며 관련 상황과 이해관계자들을 고려하며 실행하는 디자인 기획을 강화한 단계입니다. 디자인 기획 시 타겟 고객 스토리 속에서 그 인사이트 찾아 제품에 반영하도록, 디자인 씽킹 프로세스인 정의(Define)하는 과정을 기존 디자인개발 과정에 새롭게 추

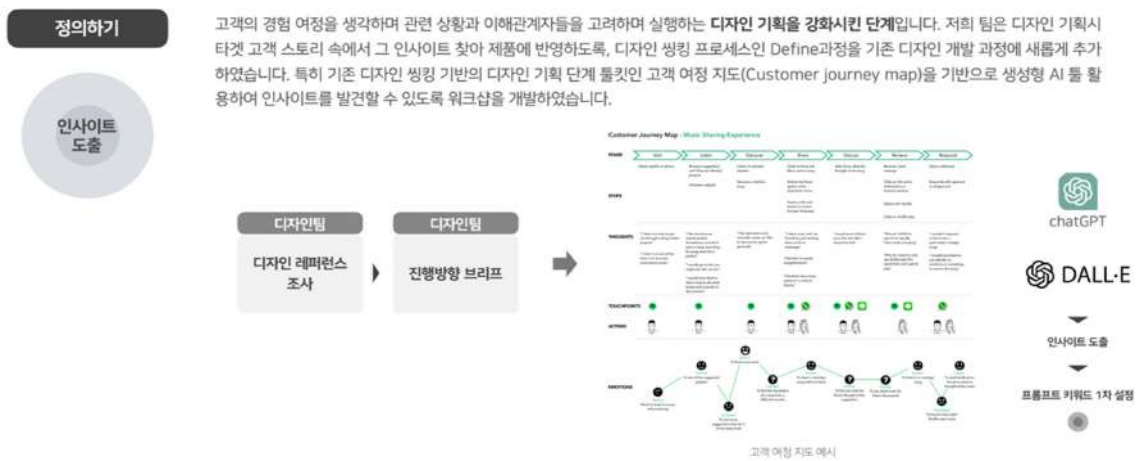


Fig. 8. Defining the package development process using AI.



Fig. 9. Identification during the AI-based package development process.

가하였습니다. 특히 기존 디자인 씽킹 기반의 디자인 기획 단계 툴킷인 고객 여정 지도(Customer journey map)를 기반으로 생성형 AI 툴 활용하여 인사이트를 발견할 수 있다.

4.2.3. 아이디어이션

3단계 아이디어이션은 AI 생성 이미지 툴에 키워드를 입력하고 반복적으로 실행하며, 무드보드를 구체화하는 과정을 실행합니다. ChatGPT로 인사이트 관련 미드저니 입력용 프롬프트를 도출합니다, 1차 설정된 프롬프트 키워드를 위주로 다양한 다른 조건들을 설정해주는 키워드를 추가하면서 아이디어를 다양화시키고 의사 결정을 통해 점점 구체화합니다. 이 과정에서 다양한 프롬프트와 출력물이 기록되면 패키지디자인 개발 프레임워크가 AI 기반 디자인 데이터 베이스가 구축된다.

4.3. AI 기반 패키지 디자인 개발 프로세스 워크프레임 제안

텍스트 생성형 AI(ChatGPT)와 이미지 생성형 AI(미드저니(Midjourney), 달리(DALL·E), Adobe Firefly 등)를 활용하여 패키지디자인 개발 과정에서 디자이너와 인공지능 간의 협업 기반 디자인 프로세스 모델을 제안하였다. 이 모

델은 신제품 기획부터 브랜드 스토리 개발에 이르는 전반적인 디자인 프로세스를 포함하며, 다음과 같은 일련의 단계로 구성된다.

1 단계는 신제품 디자인(New Product Design)은 디자인 개발의 출발점으로서, 디자이너는 새로운 제품에 대한 기획 의도를 설정하고, 디자인개발의 방향성과 목적을 정의한다. 이 단계에서는 소비자 타겟, 기능, 시장 포지셔닝 등이 고려된다.

2단계는 키워드 도출(Deriving Keyword) ChatGPT와 같은 텍스트 생성 AI를 활용하여 제품의 속성, 소비자 트렌드, 브랜드 정체성 등을 분석하고, 핵심 키워드를 도출한다. 이 과정은 디자이너가 직접 데이터를 정리한 후 AI의 언어적 해석을 통해 진행되며, 추상적인 개념을 구체화하는 역할을 한다.

3단계는 컨셉 키워드 정리(Concept Keywords) 도출된 키워드를 바탕으로 디자인 콘셉트를 정의한다. 이때 감성적 키워드, 컬러 톤, 문화적 상징 등이 포함되며, 시각 이미지로의 전환을 위한 준비 단계가 된다.

4단계는 시각 컨셉 및 디자인 방향 설정(Visual Concept & Design Direction) 미드저니(Midjourney), 달리(DALL·E)

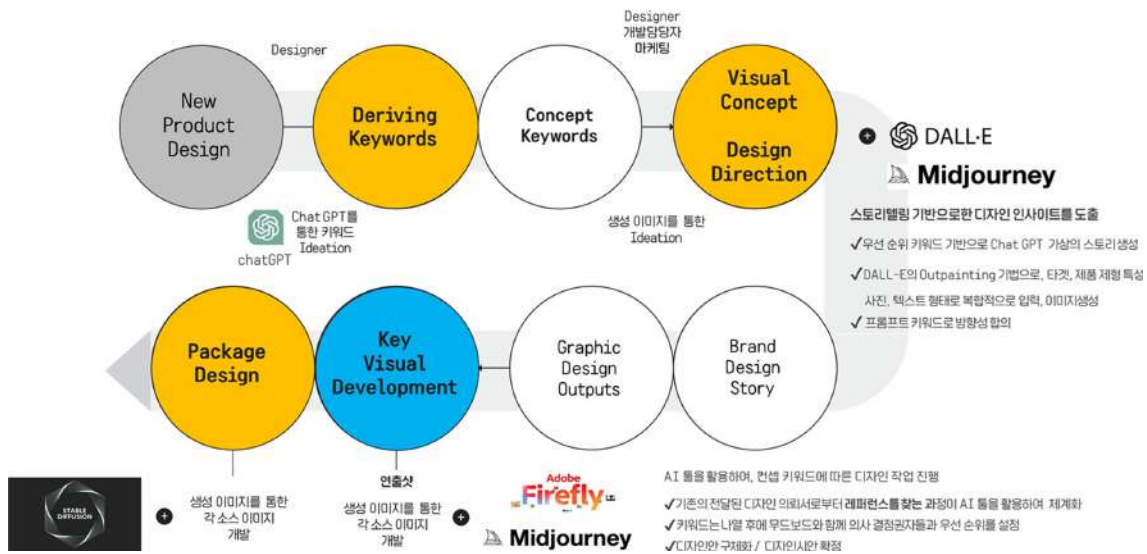


Fig. 10. AI-based package development process and tool utilization propos.

와 같은 이미지 생성형 AI 도구를 사용하여 컨셉키워드를 시각적으로 구현한다. 디자이너는 프롬프트를 설계하고 AI를 통해 다양한 시안을 도출하며, 이를 통해 전반적인 디자인 톤 & 매너를 설정한다. 특히 ChatGPT는 효과적인 프롬프트 구성에 있어 중요한 역할을 수행하며, 텍스트-이미지 간의 연결을 지원한다.

5단계는 패키지 디자인 개발의 시각 콘셉트를 바탕으로 제품에 적용 가능한 패키지 디자인 시안을 개발한다. 미드저니(Midjourney)를 활용하여 초기 아이디어를 구체적으로 시각화하고, 다양한 스타일 및 구성을 시도하여 최적의 대안을 탐색한다. 이 단계에서는 디자인의 실용성과 브랜드 적합성을 함께 고려한다.

4.3.1. 패키지 디자인 개발 프레임워크 활용 가능성

생성형 AI의 기능을 디자인 씽킹의 단계에 유기적으로 연결한 것이 핵심이다. 공감(Empathize) 단계에서는 시장과 사용자의 니즈를 AI를 통해 빠르게 분석하고, 정의(Define) 및 아이디어션(Ideate) 단계에서는 키워드와 스토리 기반의 프롬프트와 무드보드를 구성한다. 이후 프로토타입 및 테스트(Prototype & Test) 단계에서도 AI를 반복 활용함으로써 시각적 실험의 폭을 넓히고 디자이너의 사고를 확장한다. 이러한 모델은 디자인 교육뿐 아니라 실제 산업 현장에서도 활용 가능하며, 학생들에게는 AI와 협업하는 창의적 사

고 훈련 도구로, 기업에는 빠르고 전략적인 디자인개발을 위한 프레임워크로 기능할 수 있다.

5. 디자인 생성

5.1. 최종결과물인 제품 샷 이미지 개발

패키지 디자인의 최종 지기 구조를 고려한 결과물은 스테이블디퓨전(Stable Diffusion)을 통해 제품 샷 이미지 생성되었으며, 이를 통해 크리스마스 시즌에 이미지로 활용 가능한 아임비타 에디션 패키지의 컨셉에 부합하는 시각적 이미지 배경을 생성하였다.

아임비타 크리스마스 에디션 패키지 개발을 위해 먼저 컨셉스토리를 설정하고, 이에 기반을 둔 감성 및 주제 키워드를 도출하였다. 도출된 키워드를 바탕으로 ChatGPT를 활용하여 스토리를 다듬었고, 해당 키워드에 부합하는 시각 이미지를 프롬프트 생성해서 미드저니(Midjourney)를 활용하여 이미지 생성하였다.

MZ세대 소비 트렌드 조사 보고서(2024)에 따르면 MZ세대(밀레니얼+Z세대)는 현재 국내 주요 소비 인구층으로, 온라인·모바일 기반의 소비 비중이 높고 특히 건강기능식품, 뷰티·웰니스 제품에 대한 관심과 지출 의향이 다른 세대에 비해 높아, 아임비타와 같은 건강·영양 브랜드에 적합한 핵심 타겟군으로 선정하였다. 또한, MZ세대는 한정판(한정판), 시즌 한정 패키지에 강한 구매 욕구를 보이며, 이는 '소



Fig. 11. Edition package product shot image.

Table 4. Im Vita Christmas Edition Package Development Concept

1차 시안	시안 A	시안 B	시안 C
컨셉 스토리	에너지가 넘치는 Gen Z 크리스마스에 여행을 가는 사람들을 위한 에너지 보충	사랑하는 연인, 가족을 위한 따뜻한 마음	MZ 소비자 타겟의 건강 기능식품 디자인을 이야기를 강화하고 트래디함 강조
컨셉	크리스마스 선물 = 해외여행	소중한 사람을 생각하는 크리스마스	모든 순간이 에너지
키워드	#해외여행 #2040 #활기찬 #나에게 선물	#Xmas #일시의 #따뜻한 #연결	#Xmas Beat #도심 #겨울음악페스티벌 #산타클로스 #루돌프 #DJ #애니메이션 ST
1차·2차 이미지			
2차 수정·보완			

장 가치'와 'SNS 공유 욕구'로 이어진다. 크리스마스 시즌은 이들의 감성적 소비·경험 소비를 자극할 수 있는 대표적인 시기이기 때문에 타겟을 대상한 디자인 안을 개발하게 되었다. 크리스마스를 타겟으로 한 아임비타 브랜드 시즌 한정판 선물세트 개발을 1차, 2차 워크숍을 통해 아이디어를 구체화하고 디자인 방향성을 설정하였다. "크리스마스의 재해석"이라는 주제를 중심으로, 일반적인 축제와 소비 중심의 접근에서 벗어나 연휴에도 일하는 사람들'이라는 관심과 위로를 디자인 기획의 출발점으로 삼았다.

특히, 주요 타겟으로 설정된 솔로 대학생 계층에 대한 공감 기반 디자인을 위해 대학생들을 대상으로 설문조사 결과를 토대로 디자인 프로세스의 일환으로 생성형 AI를 활용한 이미지 아이디어이션(Image Ideation)을 병행하여 다

양한 시각적 개념을 도출하고, 그중 하나의 방향성을 중심으로 컨셉 디자인 및 최종 시안 제작을 진행하였다.

알바몬에서 587명 설문 결과에 따르면, 응답자 중 30.4%가 크리스마스 당일 '아르바이트'를 할 계획이라고 응답해 가장 높은 비율을 차지하였으며, 이어 22.7%가 '가족과 함께 시간 보내기' 18.1%가 '집에서 혼자 보내기' 14.0%가 '술로 친구들과 어울리기', 7.2%가 '친구들을 초대해 홈파티하기'라고 응답하였다. 이러한 결과는 대학생들이 크리스마스를 단순히 여가나 축제의 시간으로 보내기보다는, 경제적 활동이나 개인적인 고립 상태 속에서 시간을 보내는 경우가 적지 않다는 점을 시사한다.

본 연구에서는 이러한 정서적 및 사회적 배경을 고려하여, '연휴에도 쉽 없이 일하거나 혼자 시간을 보내야 하는



Fig. 12. Results of a survey on college students' Christmas plans(Albamon 2021) ref. 15.

이들에게 위로와 공감의 메시지를 전달할 수 있는 디자인'이라는 방향성을 최종 시안 방향으로 설정하였다.

생성형 AI 기반의 이미지 아이디어이션을 통해 외로움, 회복, 따뜻함, 자존감 회복 등의 감성 키워드를 시각적으로 풀어내고자 하였다. 최종적으로 도출된 디자인은 “그런데도 당신의 크리스마스는 소중한다”라는 메시지를 중심으로 한 위로형 시즌 패키지로, 소비자 개인의 정서적 경험에 초점을 맞춘 힐링 중심 제품으로 제안되었다. 이는 단순한 시즌 마케팅을 넘어, 브랜드의 사회적 책임과 정서적 연결을 강화하는 시도로 해석될 수 있다.

ChatGPT를 활용하여 응원, 에너지, 위로(胃), 그리고 “산타도 일한다”라는 키워드를 도출하였고, 이를 바탕으로 연휴에도 일하는 이들을 위한 세심한 선물이라는 콘셉트의 제

품을 기획하였다. 이 제품은 단순한 소비재가 아닌, 고객과의 접점을 만드는 배려 깊은 선물로, 연휴 기간에도 근무하는 이들에게 긍정적인 메시지를 전달하고자 했다. 특히 건강기능식품 및 헬스 분야에서의 패키지는 제품을 담은 용기를 넘어, 통합적 경험을 제공하는 매개체로 작용하며, 브랜드 철학과 배려의 메시지를 함께 전달할 기회가 된다.

ChatGPT를 통해 도출된 응원, 에너지, 편안함이라는 키워드를 융합하여 산타도 일한다는 위로의 컨셉을 정립하였다. 이는 연휴에도 묵묵히 일하는 사람들에게 따뜻한 위로와 에너지를 전하는 브랜드 스토리로, 정성스럽고 목적성 있는 선물로서의 가치를 지닌다.

미드저니(Midjourney)와 스테블디퓨전(Stable Diffusion)을 활용해 초기 이미지를 생성한 후, 어도비 포토샵(Adobe

Table 5. Results of I'm Vita Christmas Edition Package Image Creation

최종안	
컨셉 스토리	연휴에도 일하는 사람들을 위한 세심한 선물, 은근한 위로 크리스마스에 일할 수 밖에 없는 산타의 에너지 보충, 연휴에도 일하는 사람들을 위한 세심한 선물, 은근한 위로
컨셉	“산타도 일한다” 시리즈로 재구성
키워드	#응원 # 에너지 #위로 #2040
1차 생성 이미지	
2차 생성 이미지 및 디자이너보정 작업	



Fig. 13. Final design development plan in a series of stages (Preparing for work, Coming to work, Working).



Fig. 14. Package final mock- up & AI workflow for package design.

Photoshop)의 다양한 도구를 통해 색상 보정과 레이아웃 수정을 진행함으로써 전체 컨셉이미지의 완성도를 높일 수 있습니다. 이는 단일 프로그램에 의존하기보다, 각 도구의 고유한 장점을 결합하여 이미지 생성부터 후작업까지 통합적으로 접근하는 방식으로, 보다 정교하고 일관된 AI 이미지를 제작이 되었다.

또한 최종 패키지디자인은 기업의 비전과 목표에 맞고, 제품의 특성에 부합하는 니즈를 적용하여 지속해서 보완, 검증해 나가고자 하였다. 제작된 이미지를 스테이블디퓨전 (Stable Diffusion)을 활용해 최종 제품샷 이미지에 표현할 수 있다.

AI기반 디자인결과물은 다양한 단계에서 비용 절감과 효율성 향상에 기여하며, 개발 초기 단계에서 창의적 작업을 지원하는 중요한 역할을 수행할 수 있다.

결론

본 연구는 패키지 디자인 개발 과정에서 생성형 AI 도구 -텍스트 생성 AI(ChatGPT)와 이미지 생성 AI 미드저니 (Midjourney), 어도비 파이어플라이(Adobe Firefly)를 통합적으로 활용하여 AI 기반 디자인 개발 프레임워크를 제안하고자 하였다. 본 연구는 종근당건강과 E대학교 제품디자인학과와의 산학협력 프로젝트를 기반으로, 실제 패키지 디자인 개발 환경에서 디자이너와 AI의 협업 가능성을 검증하고 디자인 프로세스 프레임워크를 제안하는 것을 목표로 한다.

디자인 프로세스 프레임워크는 디자이너와 AI 간의 협업 구조를 기반으로 구성되었다. 그 결과, 생성형 AI는 디자인 씽킹의 주요 단계인 공감(Empathize), 정의(Define), 아이디어션(Ideate) 단계에서 유의미한 지원 도구로 작용함을 확인하였다. 정의 단계에서는 ChatGPT가 키워드를 기반으로 컨셉내러티브를 작성하고, MZ세대를 겨냥한 크리스마스 에디션과 같은 스토리 중심의 디자인 아이디어를 생성하는 데 기여하였다. 또한, 미드저니(Midjourney)를 효과적으로 활용하기 위한 프롬프트 구성에 있어 ChatGPT가 핵심적인 역할을 수행함으로써 텍스트와 이미지 간의 연결 고리를 제공하였다. 개발(Develop) 단계에서는 미드저니(Midjourney)가 빠른 시각화 작업을 통해 다양한 시안으로 디자인 확장성을 증명하였고, 다양한 일러스트레이션 방향을 제시함으로써 디자이너가 대안을 비교하고 창의적인 결과를 도출하는 데 도움을 주었다.

이러한 프레임워크는 패키지디자인 개발의 전 과정에서 AI가 디자인 씽킹의 다섯 단계에 어떻게 기여할 수 있는지를 체계적으로 보여준다. 공감(Empathize) 단계에서는 시장과 소비자 니즈를 신속히 분석하고, 정의(Define), 아이디어션(Ideate) 단계에서는 스토리텔링과 키워드 매핑을 기반으로 프롬프트 및 무드보드를 구성하였다. 텍스트와 이미지 생성 도구의 유기적 통합은 창의적이고 협업적인 문제 해결 경험을 가능하게 하였다.

제안된 패키지 디자인 프레임워크는 실무 디자인 활용 가능성이 높음을 보여준다. 학생들은 AI와의 협업을 통해 다

양한 관점을 이해하고 문제 해결을 위한 혁신적 아이디어를 도출함으로써 창의적 사고와 실무 역량을 함양할 수 있었다. 나아가 이러한 접근은 기업 내 디자이너의 맥락을 반영한 지속가능한 브랜딩 전략 수립에 기여할 수 있으며, 단기 성과를 넘어 각 프로세스 단계에서 AI 도구를 활용한 장기 전략 수립에도 중요한 역할을 할 수 있다. 따라서 본 연구는 산학협력 프로젝트의 일환으로 디자인 씽킹에서의 협업과 성과를 제한한 AI 기반 디자인 씽킹 프레임워크로서, 실제 산업 현장에서의 확장성과 실용성을 지닌 협업 모델로서의 가치를 가진다.

요 약

본 연구는 패키지 디자인 개발 과정에서 텍스트 생성 AI(ChatGPT), 이미지 생성 AI 미드저니(Midjourney), 달리(Dall-E), 어도비 파이어플라이(Adobe Firefly) 등을 활용한 AI 기반 디자인 프레임워크를 제안하였다. 디자이너와 AI의 협업 구조를 바탕으로 디자인 씽킹의 주요 단계(공감, 정의, 아이디어이션)에서 AI의 실제 활용 가능성을 확인하였다. ChatGPT는 컨셉 기획, 스토리텔링, 프롬프트 구성에서 핵심적인 역할을 수행했으며, 미드저니(Midjourney) 등 이미지 생성 AI를 활용해 디자인안을 다양하게 확장하였다.

제안된 프레임워크는 교육과 실무 모두에 적용 가능하며, 학생들의 창의성과 실무 역량 강화를 위한 가치도 지닌다. 따라서 본 연구는 산학협력을 기반으로 한 확장성과 실용성을 갖춘 AI 기반 디자인 협업 모델로서의 의의를 가진다. 향후에는 제안된 AI 기반 디자인 프레임워크를 다양한 산업 분야와 교육 현장에 확대 적용하여 실효성을 검증하고, 각 프로세스 단계별 최적화된 AI 활용 방안을 구체화할 예정이다. 또한, 장기적으로는 산학협력 네트워크를 강화하여 산업 현장에서의 적용 사례를 축적하고, 지속가능한 디자인 전략 수립에 기여할 수 있는 확장형 협업 모델로 발전시킬 계획이다.

참고문헌

- Kim, MC., Park, SH. 2024. A Study on the Design Thinking Camp Education Model for Participatory Design in Industry Academic Cooperation - With a Focus on the Case study of Seogwipo-si Village's MICE Branding. Korean Society of Brand Design. 22(4): 5-18.
- Jeon, Jooeon. 2024. The effect of AI agent gender on trust and grounding. Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research. 19(1): 692.
- Lee, YH., Nah, K. 2024. Proposal of design research methodology using generative AI. Journal of Korean Design Research Society. 9(1): 409-419.
- AI for Design: 5 Online Resources by Pro Designers. 2024. <https://www.procreator.design/ai-in-design>.
- Lee, YH., Nah, K. 2024. Proposal of design research methodology using generative AI. Journal of Korean Design Research Society. 9(1): 409-419.
- Design Council. 2024.05.28. <https://www.designcouncil.org.uk>.
- Choi, Jeongsu. 2024. A Study on the Design Thinking Process Using Generative AI - Focusing on Spatial Design. Korean Society of Design Culture. 30(4): 621-633.
- Doo, KI., Park, JW. 2011. Study of Effective Information Visualization Due to User-Centered Design - Focused on Finance Web Contents. Journal of the Korea Design Knowledge Society. 17: 117-126.
- Lee, PS., Song, JS. 2011. A Study on Information Visualization Design of Cosmetics Brand Label for Enhancing Brand Communication - Focusing on Korea's med-sized companys Cosmetic. Journal of the Korean Society of Design Culture. 17(3): 342-355.
- Han, DY., Lee, JG. 2025. Design Process Research Utilizing Generative AI and the Collaborative Structure of the Double Diamond Model - Focusing on Smart Sofa Design. Korean Society of Spatial Design. 20(3): 631-645.
- Choi, Jeongsu. 2024. A Study on the Design Thinking Process Using Generative AI - Focusing on Spatial Design. Korean Society of Design Culture. 30(4): 621-633.
- Eon, Jeonju. 2024. A Study on User Experience and Interactivity in Generative AI - Focusing on ChatGPT. Korean Brand Design Associations. 22(4): 131-140.
- Jeon, Jooeon. 2024. The effect of AI agent gender on trust and grounding. Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research. 19(1): 692.
- Paul, J., Ueno, A., Dennis, C. 2023. ChatGPT and consumers: Benefits, pitfalls and future research agenda, International Journal of Consumer Studies. 47(4): 1213.
- The results of a survey on Christmas plans from Albamon. 2021. <https://www.insight.co.kr/amp/news/374622>.

투고: 2025.07.26 / 심사완료: 2025.08.11 / 게재확정: 2025.08.14

플라스틱 포장재로 된 제품을 구매하는 소비자의 의도 연구 - 개인적 요인과 사회적 요인의 인지부조화를 중심으로 -

장욱² · 박남태^{1*}

¹호서대학교 벤처대학원 벤처투자금융학과

²(사)한국플라스틱포장용기협회

A Study on Consumers' Purchase Intention for Products Using Plastic Packaging - Centered on Cognitive Dissonance Arising from Personal and Social Factors -

Wook Chang² and Nam Tae Park^{1*}

¹Department of Venture Investment Finance, The Graduate School of Venture, Hoseo University, Seoul, Korea. 2497 Nambusunhwan-ro, Seocho-gu, Seoul 06724, Republic of Korea

²Korea Plastic Packaging Container Association, 42-4, Jangji 9-gil, Gwangju-si, Gyeonggi, 12776, Republic of Korea,

Abstract This study empirically analyzed the mediating effects of personal and social factors and cognitive dissonance on the purchase intention of plastic packaging products. A theoretical model focused on personal factors (ethical responsibility, self-justification) and social factors (reference group influence, government policies), and structural equation modeling was conducted using SPSS(ver.27) and AMOS(ver.24). A survey was conducted on 275 general residents in the Seoul metropolitan area, and the hypotheses were tested through confirmatory factor analysis, path analysis, and bootstrapping. Results showed that ethical responsibility negatively influenced purchase intention, while self-justification had a positive influence. Reference group influence and government policies had no direct effects but showed significant indirect effects through cognitive dissonance. However, ethical responsibility and self-justification did not exhibit indirect effects via cognitive dissonance. These findings indicate that consumers recognize environmental burdens but justify practicality or experience conflicts due to social pressure before deciding on purchases. This study extends the application of cognitive dissonance theory to plastic packaging. Practically, messages reducing dissonance may encourage purchases among consumers with high ethical awareness, while emphasizing practicality may work for those high in self-justification. Policies evoking internal conflict and social norms may be more effective than coercive measures.

Keywords Plastic Packaging, Purchase Intention, Cognitive Dissonance, Self-Justification, Environmental Policy

서 론

포장은 제품을 외부의 오염 및 손상으로부터 보호하고, 운송 과정에서 파손을 방지하며, 제품의 유통기한을 연장하고 소비자에게 필수적인 정보를 전달하는 기능을 수행한다^{1,2,3}. 이러한 다기능을 충족하기 위해서 포장재의 소재는 제품의 특성과 용도에 따라 다양하게 사용되고 있다. 그러나

편의성과 속도를 중시하는 현대 소비사회에서 포장재 사용량의 급증은 포장폐기물의 증가로 이어지면서 자원 낭비, 환경오염, 폐기물 처리 부담 등에서 사회적·환경적 문제로 대두되고 있다. 특히 플라스틱은 우수한 경량성, 성형성, 경제성을 바탕으로 종이와 함께 포장재 시장에서 높은 비중을 차지하고 있으며, 편의성과 효율성 등의 강점으로 인해 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 플라스틱 폐기물은 토양 오염, 해양생태계 파괴, 미세플라스틱 발생 등 다양한 환경 문제를 유발하며, 지속 가능한 발전을 저해하는 주요 요인으로 인식되고 있다^{2,4,5}.

이에 EU는 2021년부터 플라스틱 포장재를 포함한 주요 일회용 플라스틱 제품 10종에 대한 사용을 금지하는 제도

*Corresponding Author: Namtae Park
Department of Venture Investment Finance, The Graduate School of Venture, Hoseo University, Seoul, Korea, 2497 Nambusunhwan-ro, Seocho-gu, Seoul 06724, Republic of Korea
Tel: +82-2-2059-2355
E-mail: namtae@hoseo.edu

를 시행하고 있다⁶⁾. UN은 2022년 3월 제5차 유엔환경총회(UNEA-5.2)에서 해양환경을 포함한 ‘플라스틱 오염에 관한 법적 구속력이 있는 국제 결의안’을 채택하고 성안을 위한 INC(Intergovernmental Negotiation Committee)를 2023년부터 2년간 개최하였다⁷⁾. 우리나라 역시 택배/배달문화의 확산과 COVID-19 팬데믹 이후 수도권을 중심으로 플라스틱 포장재 사용이 급증⁸⁾하여 플라스틱 감축을 위한 다양한 환경정책을 시행하고 있다. 2019년에는 대형마트와 슈퍼마켓에서의 일회용 비닐봉투 사용을 금지하였고⁹⁾, 2022년에는 종합소매업의 비닐봉투와 식품접객업의 일회용 플라스틱 빨대 사용을 금지하는 제도를 도입하였다¹⁰⁾. 하지만 이 제도는 소비자가 불편하다는 이유로 무기한 연기되었는데^{11,12)}, 이는 소비자가 플라스틱이 환경에 유해하다는 인식은 가지고 있지만, 실제로는 플라스틱의 편의성과 유용성으로 아직 선호하고 있음을 알 수 있다.

McKinsey¹³⁾의 ‘2025년 글로벌 소비자 조사’에 의하면 소비자들은 제품 구매 시 포장재의 환경적 영향보다는 제품의 안전성, 유통기한, 사용 편의성을 우선적으로 고려하는 것으로 나타났다. 또한 다수의 선행 연구도 소비자는 환경에 대한 염려 및 인식은 높지만, 실제 행동은 이를 반영하지 않는 태도-행동 간 괴리(Attitude-Behavior Gap)가 있다는 사실이 보고되고 있다^{14,15,16)}. 이는 소비자가 제품을 구매하는 의도는 단순한 개인적 선호나 편의성, 가격에만 기인하는 것이 아니라 복잡한 요인에 의해서 영향을 받는다는 것을 알 수 있다¹⁷⁾. 특히 환경 관련 제품의 경우 윤리적 책임감^{18,19)}, 자기합리화^{19,20)} 등 개인적 요인과 더불어 준거집단의 영향^{21,22,23)} 및 정부 정책^{24,25)}과 같은 사회적 요인에 의해서도 영향을 받는다고 하였다. 또한 환경적 신념과 실제 소비행동 사이에서 발생하는 불일치로 인한 인지부조화가 소비자의 구매 의사 결정 과정에 중요한 심리적 기제로 작용한다^{26,27)}. 그러나 이러한 변수들이 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 어떠한 방식으로 영향을 미치며, 특히 인지부조화가 이들 요인 간 관계에서 어떠한 매개 역할을 수행하는지 아직 충분한 연구가 이루어지지 않았다.

지금까지의 연구들이 주로 친환경 포장재 또는 지속 가능한 소비를 중심으로 이루어져 왔으며 플라스틱 포장재 자체를 중심으로 한 소비자 행동 분석은 상대적으로 미흡한 수준이다. 이는 플라스틱 포장재를 구매 대상이 아닌 회피 대상으로 인식하고 있기 때문이다^{5,28,29)}. 많은 소비자들이 플라스틱 포장재를 환경에 해로운 것으로 인식하지만, 동시에 가장 실용적이고 위생적인 포장재로 인식^{2,3)}하고 있기 때문에 구매 과정에서 인지부조화, 심리적 갈등, 죄책감 회피 전략 등과 같은 다양한 소비자 심리가 발생할 수 있다. 이는 플라스틱 포장재가 구매 회피의 대상이 아니라 왜 선택하는가에 대한 연구가 필요한 이유가 된다. 또한 한국과 EU 등 여러 국가에서 플라스틱 감축 정책 등 규제 강화에도

불구하고 소비자들이 여전히 플라스틱 포장재를 선택한다면, 이는 플라스틱 빨대와 같이 정책 실패의 가능성을 시사할 수 있기 때문에 플라스틱 포장재 구매의도에 관한 연구는 필요하다. 현재 포장재 관련 연구들도 종이, PLA 등 대체 소재 위주로 진행되지만, 시장에서는 여전히 플라스틱이 주요 선택지임을 간과해서는 안 된다. 플라스틱 기반 연구는 이후 종이, 유리, 금속 포장재와의 소재별 비교 연구로 확장될 수 있으며, 선호 원인, 구매 트리거 요인, 대체 저항 요인을 밝혀내는 출발점이 될 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 윤리적 책임의식과 자기합리화(개인적 요인), 준거집단 영향 및 정부 정책(사회적 요인)이라는 다차원적 변수들을 통합적으로 분석함으로써 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 영향을 미치는 심리·사회적 매커니즘을 규명하고자 한다. 또한 인지부조화 이론을 적용하여, 개인적·사회적 요인과 소비 행동 간의 불일치가 구매의도에 미치는 매개효과를 실증적으로 검증하고, 향후 순환 경제 사회 형성을 위한 학술적·실무적 시사점을 도출하고자 한다.

본 론

1. 이론적 배경

1.1. 개인적 요인

개인적 요인은 소비자의 내재된 심리적 특성과 태도가 소비 행동에 미치는 영향을 설명하는 개념으로, 본 연구에서는 플라스틱 포장재 제품의 구매의도에 영향을 미치는 핵심 요인으로 간주된다. 개인적 요인은 소비자의 가치관, 신념, 인지적 경향, 그리고 행동 동기를 포함하며, 이는 소비자가 환경 문제와 관련된 의사결정을 내릴 때 중요한 역할을 한다³⁰⁾. 특히, 본 연구에서는 개인적 요인을 윤리적 책임의식과 자기합리화로 세분화하여 분석한다. 이 두 하위 변수는 소비자의 환경적 신념과 실제 구매 행동 간의 관계를 이해하는 데 필수적이며, 플라스틱 포장재 제품의 지속적인 구매 행태를 설명하는 데 중요한 단서를 제공한다³¹⁾.

1.1.1 윤리적 책임의식

윤리적 책임의식은 ‘적절한 행동에 대한 개인의 신념을 반영하는 개인의 내면화된 윤리적 규칙’을 의미하며, 소비자가 자신의 행동이 환경에 미치는 영향을 인식하고 제품 구매로 연결되는 경향이 있다고 하면서³²⁾, 구매의도에 직접적이고 긍정적인 영향을 미친다고 하였다^{32,33,34)}. 윤리적 책임의식은 가치-신념-규범(VBN; Value-Belief-Norm)이론과 계획된 행동 이론(TPB; Theory of Planned Behavior)에 기반하여 친환경 소비 행동을 설명하는 핵심 변수로 제시되어 왔다. VBN이론³⁵⁾은 개인의 환경적 가치가 신념과 도덕규범을 형성하며 이 규범의 내면화가 윤리적 책임의식을

유도하고, 결국 친환경 행동으로 이어진다고 설명한다. TPB³⁶⁾에서는 윤리적 책임의식이 행동에 대한 태도와 주관적 규범에 영향을 미쳐 행동의도에 간접적으로 작용할 수 있다고 보고 있다. 그러나 윤리적 책임의식이 높다고 해서 반드시 친환경 행동으로 이어지는 것은 아니며, 실제 행동에는 편의성, 비용, 인지부조화 등의 요인이 개입될 수 있다. 따라서 윤리적 책임의식은 긍정적인 행동 유발 요인이자 동시에 내적 갈등의 원인이 될 수 있다²⁷⁾. 본 연구에서는 윤리적 책임의식을 ‘소비자가 플라스틱 사용이 환경에 미치는 부정적 영향을 인식하고, 이를 줄이거나 회피해야 한다는 윤리적 의무를 내면화한 정도’로 정의한다.

선행 연구에 의하면, 윤리적 책임의식은 일반적으로 친환경 제품 구매의도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고된다. Park¹⁸⁾은 윤리적 소비의식은 소비자의 만족을 이끌어 구매의도에 영향을 미친다고 하였다. Bea¹⁹⁾는 이타적 동기는 친환경 제품 구매에 직접적인 영향을 미친다고 하였고, Yoon³⁷⁾은 환경태도가 주관적 규범에 영향을 미치고 이는 다시 구매의도와 행동에 긍정적 영향을 미친다고 하였다. 이는 윤리적 의무감이 강한 개인일수록 플라스틱보다는 친환경 대체재를 구매할 가능성이 더 높다는 것을 시사하고 있으며, 소비자가 플라스틱 사용에 윤리적 갈등을 느낄수록 구매를 회피할 가능성이 있다는 전제에 기반한다. 따라서 이상에서 고찰한 선행 연구를 토대로 다음과 같이 가설을 설정한다.

가설 H1-1. 윤리적 책임의식은 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 유의한 부(-)의 영향을 미칠 것이다.

1.1.2. 자기합리화

자기합리화는 소비자가 자신의 신념과 행동 간 불일치를 인지할 때, 심리적 불편함을 줄이기 위해 그 행동을 정당화하거나 부정적인 결과를 축소하는 인지적 경향을 의미한다. 이 개념은 주로 Festinger³⁸⁾의 인지부조화 이론과 Bandura³⁹⁾의 도덕적 이탈 이론을 기반으로 설명된다. 인지부조화 이론에 따르면, 소비자는 환경 신념과 플라스틱 포장재 구매 간의 불일치를 해소하기 위해 자기합리화를 통해 행동을 유지한다. 도덕적 이탈 이론은 소비자가 책임을 편의성, 가격과 같은 외부 요인에 전가하거나 문제의 심각성을 축소함으로써 윤리적 책임감을 해소하려는 과정을 설명한다. 이 두 이론은 자기합리화가 친환경적 소비와 절충적 소비(trade-off, 환경성과 실용성 사이에서 균형을 추구하는 소비 행동)를 지속시키는 심리적 메커니즘임을 시사한다. 본 연구에서는 자기합리화를 ‘소비자가 플라스틱 사용이 환경에 미치는 부정적 영향을 축소하거나 책임을 회피하려는 경향’으로 정의한다.

기존 연구들은 자기합리화가 환경성과 실용성 사이의 조율이 필요한 절충적 소비 행동을 유지하는 데 중요한 역할

을 한다는 점에 주목했다. Thøgersen²⁰⁾은 개인적 규범은 환경 행동의 핵심 동기이지만 행동유형에 따라서 영향을 받을 수 있으며, Smith와 Paladino⁴⁰⁾는 소비자가 유기농 식품을 구매하지 않는 행동을 합리화하며 심리적 일관성을 유지한다고 분석하였다. Graham-rowe 등⁴¹⁾은 소비자는 ‘편의성’, ‘필요성’ 등의 이유로 책임을 회피하거나 자기합리화하는 경향을 보인다고 보고하였는데, 이는 자기합리화가 도덕적 이탈의 한 형태로 작용할 수 있음을 시사한다. Park 등⁴²⁾의 연구에서 Z세대가 제품을 소비할 때 자기합리화 수준이 높을수록 독특한 자기중심적, 상징적 소비성향이 나타난다고 하였다. 이들은 독특한 상품 가치에 자신의 소비를 합리화하는 현상이 가장 흔하게 나타난다. Sun과 He⁴³⁾와 Wismantoro와 Susilowati⁴⁴⁾는 플라스틱 포장의 편의성과 유용성에 대한 긍정적인 태도는 구매의도를 높일 수 있으며, 이는 구매의 환경적 영향을 정당화하기 위한 자기합리화를 수반한다고 하였다. 즉, 자기합리화는 절충적 소비에 대한 정당화를 통해 구매의도를 직접적으로 강화할 수 있다. 이는 소비자가 자신의 행동을 정당화함으로써 내적 갈등을 해소하고, 결과적으로 플라스틱 포장재 사용을 지속하는 심리적 과정을 설명한다. 따라서 이상에서 고찰한 선행 연구를 토대로 다음과 같이 가설을 설정한다.

가설 H1-2. 자기 합리화는 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 유의한 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

1.2. 사회적 요인

사회적 요인은 개인의 소비 행동이 외부 사회 환경과의 상호작용 속에서 영향을 받는 요소들을 의미한다⁴⁵⁾. 준거집단 영향은 가족, 친구, 동료 등 개인이 상호작용하는 집단의 가치나 태도가 소비자의 행동에 미치는 사회적 규범과 압력을 의미하며, 소비자가 플라스틱 포장재 제품을 구매하거나 회피하도록 유도할 수 있다. 정부 정책은 법·제도, 캠페인, 인센티브 등 공공부문이 소비자의 친환경 행동을 유도하거나 제한하는 구조적 요인이다.

이러한 사회적 요인은 소비자의 친환경 신념과 실제 행동 간 불일치(인지부조화)를 유발하거나 완화하는 데 영향을 미치며, 특히 수도권처럼 소비 밀집도가 높고 정책적 영향력이 큰 지역에서 그 효과가 더욱 두드러질 수 있다. 본 연구는 이 두 하위 변수를 통해 사회적 요인이 소비자 행동에 미치는 직접적·간접적 영향을 체계적으로 검토하고자 한다.

1.2.1. 준거집단 영향

준거집단 영향은 개인이 속하거나 상호작용하는 사회적 집단의 가치, 태도, 행동이 개인의 의사결정과 소비 행동에 영향을 미치는 사회적 요인이다^{20,22,44)}. 본 연구에서는 이를 ‘소비자가 속한 사회 집단의 환경 관련 가치와 행동이 플라

스틱 포장재 제품 구매의도에 미치는 영향의 정도'로 정의하고자 한다. 준거집단의 영향은 TPB와 사회적 영향이론(Social Influence Theory)을 통해 설명된다. TPB³⁶⁾에서는 준거집단이 주관적 규범으로 작용해 소비자의 행동 의도에 영향을 미친다고 하며, 친환경적 태도를 지닌 집단은 플라스틱 포장재 구매 의도를 억제할 수 있다. 사회적 영향 이론⁴⁶⁾은 집단이 소비자에게 규범적, 정보적 동일시 영향을 통해 행동을 유도한다고 하며, 집단의 친환경적 가치가 개인의 선택에 반영될 가능성을 시사한다. 이러한 이론은 소비자가 집단의 기대를 의식하거나 집단의 행동을 모방하면서 친환경적 또는 절충적 행동을 선택하게 되는 과정을 설명한다.

선행 연구들은 준거집단이 소비에 영향을 미친다는 점에 대체로 동의하고 있다. Na²¹⁾는 집단주의 성향이 높은 소비자 그룹에서는 구매의도 및 자아 일치성이 강하게 나타난다고 하였고, Park 등²²⁾은 동료의 친환경 영향 수준에 따라 친환경 브랜드 자산에 미치는 영향에 차이가 있다고 하였다. 또한 Ding 등²³⁾의 연구에 의하면 준거집단은 규범적 압력에 의한 행동 일치를 통하여 구매의도에 영향을 미친다고 하였다. 반면, Park과 Sohn⁴⁷⁾은 개인의 내적 동기가 준거집단보다 강하게 작용할 수 있다고 지적하였다. 이러한 차이는 문화적 맥락이나 집단의 특성에 따라 영향력의 방향과 정도가 달라질 수 있음을 시사한다. 따라서 이상에서 고찰한 선행연구를 토대로 다음과 같이 가설을 설정한다.

가설 H1-3. 준거집단 영향은 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 유의한 정(+의) 영향을 미칠 것이다.

1.2.2. 정부 정책

정부 정책은 환경보호와 지속 가능한 소비를 촉진하기 위해 정부가 수립·시행하는 법률, 규제, 캠페인, 인센티브 등 제도적 조치를 포괄하는 개념이다⁴⁸⁾. 본 연구에서는 이를 “정부 정책이 소비자의 환경 인식과 책임감, 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 미치는 영향의 정도”로 정의한다.

정부 정책은 소비자 행동을 변화시키는 외부 요인으로, 다양한 이론을 통해 설명된다. VBN이론³⁵⁾은 정부 정책이 환경적 책임 의식을 자극해 친환경 행동으로 이어질 수 있다고 하며, 규범 활성화 이론⁴⁹⁾은 정책이 도덕적 규범을 자극해 행동 변화를 유도한다고 본다. 일회용 플라스틱 금지와 같은 제도는 플라스틱 포장재 사용을 억제하는 행동을 강화할 수 있다.

선행 연구에서도 정부 정책이 소비자의 환경 행동에 중요한 영향을 미친다는 점은 공통적으로 지적되었다. Feng 등²⁴⁾은 정부 정책이 친환경 제품의 구매의도에 유의미한 영향을 미치며, Tan과 Huang²⁵⁾은 물질적, 정보적, 정서적 수단을 통한 정부 지원이 소비자의 친환경 신뢰에 긍정적인 영향을 미치며, 따라서 정부 정책이 친환경 제품 구매의도

에 유의미한 긍정적 영향을 미친다고 하였다. Wang 등⁵⁰⁾은 플라스틱 규제 정책이 소비자의 환경 인식을 높이고 행동 변화를 유도한다고 하였다. He⁵¹⁾의 연구에 의하면 중국이 소매업체를 대상으로 실시한 비닐봉투의 유료화 규제는 비닐봉투 사용량을 크게 감소시켰으며, 이는 정부 정책이 플라스틱 제품에 대한 소비자의 행동을 효과적으로 변화시켰다. 반면에 Yamin 등⁵²⁾은 정부의 캠페인이 친환경 태도를 강화하지만, 실제 행동으로 이어지기 위해서는 추가적인 사회적 압력이 필요하다고 보았으며, Heidbreder 등⁵³⁾은 정책의 효과가 소비자 인식과 정책 수용도에 따라 제한될 수 있다고 하였다. 따라서 이상에서 고찰한 선행 연구를 토대로 다음과 같이 가설을 설정한다.

가설 H1-4. 정부 정책은 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 유의한 부(-)의 영향을 미칠 것이다.

1.3. 인지부조화

인지부조화(Cognitive Dissonance)는 개인이 지닌 신념, 가치, 또는 태도와 실제 행동 간에 불일치가 발생할 때 경험하는 심리적 불편감 또는 갈등을 의미한다³⁸⁾. 본 연구에서는 이를 “개인의 친환경적인 신념이나 가치가 플라스틱 포장재 제품 구매행동 사이에 불일치가 발생할 때 나타나는 심리적 긴장 상태”로 정의한다. 이러한 인지부조화는 소비자가 자신의 행동을 정당화하거나, 태도를 변화시키거나, 외부 요인을 탓함으로써 해소되며, 소비 행동 결정에 중요한 심리적 변수로 작용한다⁵⁴⁾.

Festinger³⁸⁾의 인지부조화 이론에 따르면, 서로 상충되는 인지가 공존할 때 개인은 심리적 불편감을 경험하며 이를 해소하기 위한 행동 조정이나 정당화를 시도한다. 친환경적 가치를 가진 소비자가 플라스틱 포장재 제품을 구매할 경우, 자신의 행동을 환경적 필요, 편의성 혹은 불가피성으로 설명함으로써 부조화를 해소하고자 한다. 또한 Ben⁵⁵⁾의 자기 지각 이론(Self-Perception Theory)은 개인이 자신의 행동을 관찰한 후 신념이나 태도를 재구성한다고 설명한다. 이 관점은 소비자가 절충적 소비행동을 한 뒤, 스스로의 태도를 보다 관대하게 조정하며 구매 행동을 정당화하는 과정을 이해하는 데 기여한다.

다음으로 선행 연구를 살펴보면, 먼저 Thøgersen²⁰⁾은 개인이 특정 행동에 대해 느끼는 책임감이나 심리적 거리에 따라 행동 유형이 달라질 수 있음을 지적하며, 이는 소비자가 가지고 있는 환경적 신념과 실제 행동 간의 불일치로 인한 인지부조화를 경험할 가능성을 시사한다. Cancino-Montecinos 등⁵⁶⁾, Elliot과 Devine⁵⁷⁾의 연구에 따르면 긍정적 태도 변화가 인지부조화를 완화하는 영향을 미쳤으며, 반대로 부정적 태도 변화는 인지부조화를 강화시키는 역할을 하였다. 즉, 자기합리화와 같은 태도 변화는 인지부조화에 영향을 미친다.

Hwang 등⁵⁸⁾의 연구에 따르면, 준거집단의 규범적 영향력이 강할수록 인지부조화는 증가한다고 하였고, Matz와 Wood⁵⁹⁾의 연구에서는 개인의 의견이 일치하는 집단에 속할 때보다 반대 의견을 가진 집단에 속할 때 더 큰 심리적 불편함을 경험하며, 이는 집단의 의견 불일치가 인지부조화에 유의미한 영향을 미친다고 하였다. Meuleman⁶⁰⁾의 연구에서는 부조화는 거버넌스 관행의 규범적 차원과 행정 조직의 문화적 전통에서 기인한다고 하였고, Činčera⁶¹⁾의 연구에서는 정부의 환경정책이 기존의 개인적 신념과 관행에 대립될 때 인지부조화가 유발한다고 하였다. Jeon과 Jeon⁶²⁾의 연구에 따르면, 인지부조화는 재구매 의도에 부정적인 영향을 미친다고 하였으나, 이 연구 결과는 친환경 제품의 재구매 의도에 적용할 수 있는지 그렇지 않으면 플라스틱 제품의 재구매 의도에 적용할 수 있는지는 명확하지 않다. Jung⁶³⁾의 연구에 의하면, 인지부조화의 감소는 소비자의 브랜드 이미지 및 충성도 형성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 반대로, 인지부조화가 심화될 경우, 소비자는 해당 제품에 대한 심리적 불편감을 경험하게 되며, 결과적으로 플라스틱 포장재 제품에 대한 구매의도가 저하되는 경향이 있음을 시사한다. 따라서 이상에서 고찰한 선행 연구를 토대로 다음과 같이 가설을 설정한다.

가설 H2-1. 인지부조화는 윤리적 책임의식과 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개역할을 할 것이다.

가설 H2-2. 인지부조화는 자기 합리화와 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개역할을 할 것이다.

가설 H2-3. 인지부조화는 준거집단 영향과 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개역할을 할 것이다.

가설 H2-4. 인지부조화는 정부 환경정책과 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개역할을 할 것이다.

1.4. 플라스틱 포장재 제품 구매의도

플라스틱 포장재 제품 구매의도는 소비자가 플라스틱 포장재가 적용된 제품을 구매하려는 심리적 경향성과 이에 대한 긍정적 태도를 의미하며, 이는 친환경적 소비 행동과 실제 행동 사이의 간극(Attitude-Behavior Gap)을 설명하는데 핵심적인 변수로 작용한다. 플라스틱 포장재는 경제성, 위생성, 유통 편의성 등의 이유로 식품·생활용품 전반에서 널리 활용되고 있으며, 소비자들에게 높은 실용적 가치를 제공한다. 그러나 동시에 플라스틱 사용은 온실가스 발생, 폐기물 처리 부담, 미세플라스틱 발생 등의 환경적 문제를 야기하며, 이러한 이중적 속성은 소비자에게 인지부조화를 유발하는 핵심 요인이 된다. 특히 환경적 신념과 실제 소비 행동 사이의 불일치로 인해 발생하는 자기합리화는 소비자 행동을 설명하는 중요한 심리적 메커니즘으로 작용한다.

기존의 연구는 주로 플라스틱 회피 행동이나 친환경 제품 구매 행동에 초점을 맞춰 소비자 태도와 행동의 괴리를

분석해 왔으며, 환경 인식, 사회적 영향, 인지부조화 등 다양한 변수들이 이 과정에 영향을 미친다고 보았다^{28,40,43,53)}. 하지만 플라스틱 포장재 자체의 구매의도를 중심으로 한 실증 연구는 아직 부족한 실정이며, 이는 플라스틱에 대한 정책 설계 및 친환경 소재 전환 전략 수립의 실질적 근거를 제공하는 데 한계로 작용한다.

따라서 본 연구에서 플라스틱 포장재 제품 구매의도를 분석하는 것은 다음과 같은 실천적·정책적 시사점을 갖는다. 첫째, 소비자의 구매의도를 파악함으로써 플라스틱에 대한 올바른 사용과 폐기를 위한 전략적 개입 지점을 도출할 수 있다. 또한 플라스틱의 무분별한 사용을 줄이고 순환 경제 사회 형성을 위한 실질적인 실마리를 제공하며, 소비자 인식 전환 및 구매 행동의 유인을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 둘째, 구매의도 분석은 플라스틱 대체재에 대한 소비자 수용성, 저항 요인을 선제적으로 파악할 수 있는 수단으로, 향후 친환경 소재 제품 도입 시 마케팅 및 제품 전략 수립의 핵심 정보로 활용될 수 있다. 특히 소비자의 편의성, 가격, 신뢰성 등의 요소를 고려한 단계적 전환이 요구된다. 셋째, 정부 차원에서는 소비자의 구매의도 및 심리적 구조를 이해하는 기반 위에서, 단순 규제 중심의 정책이 아닌 인식 환기를 중심으로 한 행동 유도형 정책 설계가 효과적일 수 있다. 인지부조화의 간접적 유발을 통한 소비자 행태 변화가 그 대안이 될 수 있다. 결론적으로 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 관한 연구는 단순히 소비 행동 분석을 넘어서, 소비자 인식 전환, 대체 소재 시장 활성화, 정책 효과성 제고라는 측면에서 순환 경제 사회 형성을 위한 전략적 기반을 마련하는 데 핵심적 역할을 한다.

2. 연구 방법

2.1. 연구 모형

본 연구는 플라스틱 포장재로 된 제품을 구매하는 소비자의 구매의도를 파악하기 위하여 Fig. 1의 연구모형을 도출하였으며, 구체적인 내용은 다음과 같다. 첫째, 개인적 요인과 사회적 요인이 플라스틱 포장재 제품의 구매의도에 직접적인 영향을 미치는지 확인하기 위하여 개인적 요인(Personal Factors)의 하위 요소는 윤리적 책임의식과 자기합리화를, 사회적 요인(Social Factors)의 하위 요소는 준거집단 영향과 정부 정책을 선정하였다. 둘째, 개인적 요인과 사회적 요인이 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 영향을 미칠 때 인지부조화의 매개효과를 검증하고자 하였다.

2.2. 연구대상 및 자료수집 방법

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 연구 대상자는 포장재 사용이 일반화되어 있는 수도권 지역 거주 일반을 대상으로 비확률 표본추출 방식 중 하나인 무작위 표본추출 방식을 사용하여 표본을 추출하였다. 본 조사에 앞서, 두 번

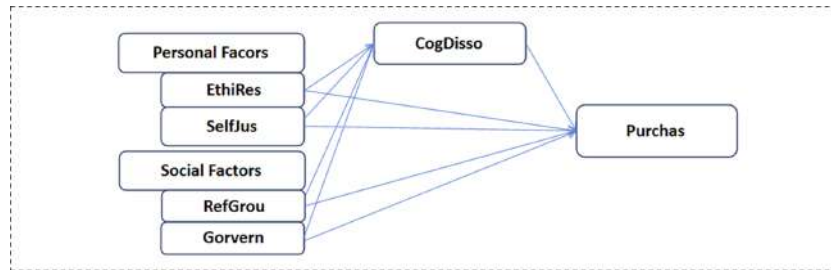


Fig. 1. Research Model.

- *(참조) EthRes : Ethical Responsibility Awareness, 윤리적 책임의식
 SelfJus : Self-Justification, 자기합리화
 RefGrou : Reference Group Influence, 준거집단 영향
 Govern : Government Policy, 정부 정책
 CogDisso: Cognitive Dissonance, 인지부조화
 Purchas : Purchase Intention, 플라스틱 포장재 제품 구매의도

의 예비조사를 통하여 개념 타당도가 떨어지는 문항을 삭제, 수정 및 보완하여 최종 설문 문항을 구조화하였다. 본 조사는 포털 사이트인 Google폼을 이용하여, 2025년 6월 18일부터 2025년 7월 16일까지 1개월 동안 총 279부의 설문 데이터를 수집하였으며, 결측치가 포함된 4부를 제외한 275부의 설문 데이터를 최종적으로 선정하였다.

2.3. 변수별 측정도구

본 연구는 Table 1과 같이 연구목적 달성을 위한 변수별 측정도구를 사용하였으며, 5점 리커트형 척도로 측정하였다.

윤리적 책임의식(EthiRes)은 소비자가 플라스틱 사용이 환경에 미치는 부정적인 영향에 대해 인지하고, 이에 대한 윤리적 책임감을 느끼며, 플라스틱 사용을 줄이거나 피하는 행동이 옳다고 여기는 정도로, Gu 등⁵⁾, Park¹⁸⁾와 Yoon³⁷⁾의 설문 문항을 본 연구에 맞게 수정하여 5개 문항으로 측정하였다.

자기합리화(SelfJus)는 소비자가 플라스틱 사용으로 인한 환경문제의 심각성을 축소하거나 부정하고, 이에 대한 자신의 책임이나 행동 변화의 필요성을 회피하려는 인지적 경향으로, Na²¹⁾, Park 등²²⁾과 Ding 등²³⁾의 설문 문항을 본 연구에 맞게 수정하여 5개 문항으로 측정하였다.

준거집단 영향(RefGrou)은 개인이 속해 있거나 상호작용하는 사회적 집단(친구, 가족, 소속 집단 등)의 환경 관련 가치, 태도 및 행동이 개인의 환경 관련 소비 행동에 미치는 영향의 정도로, Park 등²²⁾과 Ding 등²³⁾과 Yoon³⁷⁾의 설문 문항을 본 연구에 맞게 수정하여 5개 문항으로 측정하였다.

정부 정책(Govern)은 정부가 수립하고 시행하는 다양한 환경 관련 정책 및 규제가 개인의 환경에 대한 인식, 책임감, 그리고 소비 및 행동 변화에 미치는 영향의 정도로, Gu 등⁵⁾, Feng 등³⁷⁾과 Yoon³⁷⁾의 설문 문항을 본 연구에 맞게 수정하여 5개 문항으로 측정하였다.

인지부조화(CogDisso)는 개인의 친환경적 신념, 가치 또는 인지와 실제 소비 행동 사이에 불일치나 충돌이 발생할 때 경험하는 심리적 불편감 및 그로 인한 갈등상태로, Cancino-Montecinos 등⁵⁶⁾, Elliot과 Devine⁵⁷⁾의 설문 문항을 본 연구에 맞게 수정하여 5개 문항으로 측정하였다.

플라스틱 포장재 제품 구매의도(Purchas)는 소비자가 플라스틱 포장재로 된 제품을 향후에도 구매하려는 경향성 및 그러한 구매 행동에 대한 긍정적인 태도로, Yoon³⁷⁾의 설문 문항을 본 연구에 맞게 수정하여 5개 문항으로 측정하였다.

2.4. 분석방법

본 연구에서는 수집된 설문 응답 데이터를 분석하기 위해 SPSS(version 27.0)와 AMOS(version 24.0)를 활용하였다. 구체적으로, 빈도 분석, 기술통계 및 상관 분석은 SPSS를 통해 수행되었으며, 확인적 요인분석(Confirmatory Factor Analysis) 및 경로 분석(Path Analysis)은 AMOS를 활용하여 진행되었다.

3. 연구 결과

3.1. 인구통계학적 특성

본 연구 표본의 인구통계학적 특성은 Table 2와 같다. 특성을 살펴보면, 성별은 남성 152명, 여성 123명이고, 연령별로는 29세 이하 15명, 30~39세 이하 66명, 40~49세 이하 93명, 50~59세 이하 79명, 60세 이상 22명이다. 교육수준은 고등학교 졸업 이하 18명, 대학교 졸업 197명, 대학원 이상 60명이고, 가구구성은 1인 가구 44명, 2인 가구 47명, 3~4인 가구 170명, 5인 이상 가구 14명으로 나타났다.

3.2. 확인적 요인분석

3.2.1. 집중타당성 분석

본 연구에서는 측정 모형의 타당성 검증을 위해 확인적

Table 1. Measurement Instruments of Variables

Variable	Measurement Instruments of Variables	References
EthiRes	나는 플라스틱 사용이 환경에 해롭다고 생각한다.	5, 18, 37
	나는 플라스틱을 사용할 때 죄책감이 든다.	
	나는 플라스틱을 줄이는 것이 옳다고 생각한다.	
	나는 플라스틱 제품을 피하는 것이 윤리적으로 옳다고 느낀다.	
	나는 플라스틱 사용이 윤리적으로 문제가 될 수 있다고 생각한다.	
SelfJus	플라스틱은 환경에 큰 영향을 주지 않는다고 생각한다.	21, 22, 23
	플라스틱의 환경문제는 실제보다 과장된 것 같다고 생각한다.	
	플라스틱 문제는 시간이 지나면 자연스럽게 해결될 것이라고 생각한다.	
	지금 당장은 플라스틱 사용을 줄이지 않다고 된다고 생각한다.	
	플라스틱 문제는 너무 심각하게 걱정할 일이 아니라고 생각한다.	
RefGrou	내가 속한 집단이 환경을 증시하면 나의 소비태도에 영향을 준다. 친구나 가족 등 주변 사람이 환경을 신경쓰면 나도 영향을 받는다.	22, 23, 37
	내가 속한 집단이 환경보호를 강조하면 나도 영향을 받는다.	
	주변 사람이 환경보호 행동을 실천하면 나도 영향을 받는다.	
Govern	내가 자주 소통하는 사람들의 의견은 내 환경 관련 소비 행동에 영향을 준다.	5, 24, 37
	정부의 환경정책은 내가 환경을 더 중요하게 여기게 만든다.	
	정부의 환경규제를 보면 환경을 지키겠다는 책임감이 든다.	
	환경보호를 위한 정부 정책은 내 제품 구매나 사용에 영향을 준다.	
	정부의 환경규제는 환경 관련 소비 행동에 영향을 준다.	
CogDisso	환경에 대한 생각과 실제 구매 행동이 충돌한다.	56, 57
	환경보호가 중요하지만, 실제로는 실천하지 못하는 경우가 있다.	
	친환경 인식과 습관적인 소비 사이에서 갈등이 있다.	
	편리함 때문에 환경문제를 외면하게 된다, 편리함과 환경 사이에서 선택이 쉽지 않다.	
Purchas	나는 앞으로도 플라스틱 포장재 제품을 구매할 생각이다.	37
	나는 앞으로도 플라스틱 포장재 제품을 의식적으로 선택할 것이다.	
	나는 플라스틱 포장재 제품을 구매하는데 주저함이 없다.	
	나는 플라스틱 포장재 제품을 기꺼이 구매할 수 있다.	
	플라스틱 포장재 제품 구매가 내게는 일상적인 일이다.	

요인분석을 실시하였으며, 집중타당성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 집중타당성은 측정 변수들이 동일한 잠재 변수를 적절하게 측정하는지를 나타내는 지표로, 표준화된 요인부하량(Factor Loading, β), 임계비(Critical Ratio, C.R.), 평균분산추출(Average Variance Extracted, AVE), 그리고 개념신뢰도(Construct Reliability, CR)를 검증하였다. 집중타당성의 적합 조건은 다음과 같다: β 는 0.5 이상(바람직하게는 0.7 이상), C.R.은 1.965 이상, AVE는 0.5 이상, CR은 0.7 이상이다.

분석 결과, 윤리적 책임의식, 자기합리화, 준거집단 영향, 정부 환경정책, 인지부조화, 제품구매의도, 모든 잠재변수의 β 는 모두 0.5 이상으로 나타났으며, 대부분 0.7 이상으로

바람직한 수준을 보였다. 특히, 모든 β 의 C.R.이 1.965를 초과하여 통계적으로 유의한 것으로 확인되었다.

또한, 각 잠재 변수의 AVE 값은 윤리적 책임의식 0.638, 자기합리화 0.686, 준거집단 영향 0.826, 정부정책 0.733, 인지부조화 0.579, 제품구매의도 0.595로 모두 0.5 이상을 충족하였다. CR 값 역시 윤리적 책임의식 0.898, 자기합리화 0.916, 준거집단 영향 0.960, 정부 정책 0.932, 인지부조화 0.870, 제품 구매의도 0.879로 모두 0.7 이상으로 나타났다.

이러한 결과는 본 연구에서 사용된 모든 측정 변수가 해당 잠재 변수를 설명하는 데 충분한 수렴적 타당성을 확인할 수 있었다.

Table 2. Demographic Characteristics

Category		Frequency	Percentage(%)
Gender	Male	152	55.3
	Female	123	44.7
Age	Under 29	15	5.5
	30~39	66	24.0
	40~49	93	33.8
	50~59	79	28.7
	60 and above	22	8.0
Education Level	High School or Below	18	6.5
	Bachelor's Degree	197	71.6
	Graduate Degree or Above	60	21.8
Household Composition	Single-Person	44	16.0
	Two-Person	47	17.1
	3~4 Person	170	61.8
	5 or More Person	14	5.1

Table 3. Convergent Validity of Constructs

Observed Variable		Latent Variable	β	C.R.	b	AVE	Construct Reliability
EthiRes1	←	EthiRes	0.857		0.317	0.638	0.898
EthiRes2	←	EthiRes	0.785	15.619	0.406		
EthiRes3	←	EthiRes	0.836	17.275	0.316		
EthiRes4	←	EthiRes	0.804	16.169	0.380		
EthiRes5	←	EthiRes	0.765	14.938	0.444		
SelfJus1	←	SelfJus	0.836		0.279	0.686	0.916
SelfJus2	←	SelfJus	0.851	17.588	0.405		
SelfJus3	←	SelfJus	0.798	15.872	0.477		
SelfJus4	←	SelfJus	0.874	18.383	0.252		
SelfJus5	←	SelfJus	0.893	19.048	0.248		
RefGrou1	←	RefGrou	0.823		0.217	0.826	0.960
RefGrou2	←	RefGrou	0.874	18.084	0.178		
RefGrou3	←	RefGrou	0.923	19.818	0.106		
RefGrou4	←	RefGrou	0.931	20.110	0.095		
RefGrou5	←	RefGrou	0.856	17.498	0.223		
Govern1	←	Govern	0.762		0.401	0.733	0.932
Govern2	←	Govern	0.812	21.167	0.321		
Govern3	←	Govern	0.907	16.266	0.165		
Govern4	←	Govern	0.840	14.841	0.277		
Govern5	←	Govern	0.917	16.459	0.150		
CogDisso1	←	CogDisso	0.805		0.329	0.579	0.870
CogDisso2	←	CogDisso	0.678	11.503	0.371		
CogDisso3	←	CogDisso	0.860	14.985	0.235		
CogDisso4	←	CogDisso	0.505	8.192	0.618		
CogDisso5	←	CogDisso	0.763	13.236	0.402		
Purchas1	←	Purchas	0.849		0.226	0.595	0.879
Purchas2	←	Purchas	0.586	10.343	0.886		
Purchas3	←	Purchas	0.860	17.722	0.322		
Purchas4	←	Purchas	0.855	17.544	0.286		
Purchas5	←	Purchas	0.777	15.163	0.412		

주) B: 비표준화된 요인부하량, β : 표준화된 요인부하량, C.R.: 임계비(Critical Ratio), b: 관측변수의 분산 추정치, AVE: 평균분산추출

Table 4. Results of Discriminant Validity Analysis

Path		ϕ	S.E.	$\phi - 2 \times S.E.$	$\phi + 2 \times S.E.$
EthiRes	↔ SelfJus	-0.813	0.069	-0.951	-0.675
SelfJus	↔ RefGrou	-0.444	0.040	-0.524	-0.364
RefGrou	↔ Govern	0.429	0.037	0.355	0.503
Govern	↔ CogDisso	0.403	0.044	0.315	0.491
Purchas	↔ CogDisso	-0.198	0.041	-0.280	-0.116
EthiRes	↔ RefGrou	0.497	0.048	0.401	0.593
SelfJus	↔ Govern	-0.410	0.044	-0.498	-0.322
RefGrou	↔ CogDisso	0.425	0.039	0.347	0.503
Purchas	↔ Govern	-0.227	0.039	-0.305	-0.149
EthiRes	↔ Govern	0.387	0.052	0.283	0.491
SelfJus	↔ CogDisso	-0.437	0.048	-0.533	-0.341
Purchas	↔ RefGrou	-0.281	0.035	-0.351	-0.211
EthiRes	↔ CogDisso	0.470	0.057	0.356	0.584
Purchas	↔ SelfJus	0.622	0.050	0.522	0.722
Purchas	↔ EthiRes	-0.651	0.060	-0.771	-0.531

ϕ : 상관계수, S.E.: 공분산의 표준오차, $\phi \pm 2 \times S.E.$: 상하한 신뢰구간

3.2.2. 판별타당성 분석 결과

본 연구에서는 측정 모형의 판별타당성 검증을 위해 잠재 변수 간의 상관계수 신뢰구간을 확인하였다. 판별타당성은 서로 다른 잠재 변수들이 통계적으로 구별되는지를 나타내는 지표로, 잠재 변수 간 상관계수의 95% 신뢰구간($\phi \pm 2 \times S.E.$ (Standard Error, 공분산의 표준오차))에 1이 포함되지 않아야 한다는 조건을 통해 검토하였다. 만약 신뢰구간 내에 1이 포함된다면, 두 잠재 변수가 통계적으로 구별되지 않고 동일한 개념을 측정하는 것으로 볼 수 있다.

분석 결과, 모든 잠재 변수 쌍 간의 상관계수(Φ)에 대한 95% 신뢰구간($\phi - 2 \times S.E.$, $\phi + 2 \times S.E.$)은 1을 포함하지 않는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 설정된 모든 잠재 변수들이 서로 독립적으로 구별되는 개념임을 의미하며, 측정 모형의 판별타당성이 확보되었음을 시사한다. 각 잠재 변수 쌍 간의 판별타당성 분석 결과는 Table 4와 같다.

3.3. 기술통계 및 상관 분석

3.3.1 기술통계 분석 결과

본 연구에서 설정한 주요 잠재변수들의 기술통계 분석을

실시하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. 각 변수의 최소값(Min), 최대값(Max), 평균(Mean), 표준편차(Standard Deviation, SD), 왜도(Skewness), 첨도(Kurtosis)를 확인하였다.

일반적으로 왜도와 첨도는 정규성 가정을 판단하는 기준으로 사용되며, 절대값이 3을 초과하는 왜도와 절대값이 10을 초과하는 첨도는 심각한 비정규성을 나타낸다고 본다. 본 연구의 분석 결과, 모든 잠재 변수의 왜도와 첨도 값은 절대값 3과 10을 넘지 않아, 데이터가 정규성 가정을 크게 위배하지 않는 것으로 판단된다.

각 변수의 평균값을 살펴보면, 5점 척도 기준으로 ‘플라스틱 포장재 제품 구매의도’가 3.573으로 가장 높게 나타났으며, ‘자기합리화’가 2.380으로 가장 낮게 나타났다. 이는 소비자들이 플라스틱 포장재 제품 구매에 긍정적인 태도를 가지고 있으며, 플라스틱 포장재 제품 구매 거부 행동에 대한 자기합리화가 낮음을 보여준다.

표준편차는 표준편차 분석을 통해 각 변수에 대한 응답자들의 인식 분포와 일관성 정도를 파악할 수 있다. 특히 자기합리화($SD = 0.966$)는 응답자의 이 개념에 대한 개인차가 다소 높다는 사실을 확인할 수 있었고, ‘인지부조화

Table 5. Results of Descriptive Statistical Analysis

	Mean	Standard Deviation	Skewness	Kurtosis
EthiRes	3.121	0.899	-0.380	-0.054
SelfJus	2.380	0.966	0.630	0.070
RefGrou	3.489	0.779	-0.720	0.851
Govern	3.128	0.865	-0.426	0.070
CogDisso	3.442	0.746	-0.438	0.628
Purchas	3.573	0.867	-0.348	-0.026

(SD = 0.746)'와 '준거집단 영향(SD=0.779)'은 상대적으로 응답이 평균에 가깝게 분포되어 있음을 확인했다.

3.3.2. 상관 분석 결과

본 연구에서는 주요 잠재 변수들 간의 관계를 파악하기 위해 상관 분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다. 상관 계수는 변수들 간의 선형적 관계의 강도와 방향을 나타내며, 유의확률(p)을 통해 통계적 유의성을 검증한다.

상관 분석 결과, 대부분의 잠재 변수들 간에 유의미한 관계가 확인되었다. '윤리적 책임의식'과 '자기합리화'는 강한 음의 상관관계를 보이며 서로 상반되는 개념임을 나타냈다. 흥미롭게도 '윤리적 책임의식', '준거집단 영향', '정부 정책'은 '제품 구매의도'와 음의 상관관계를 보여, 소비자들이 이들 요인을 인지하더라도 실제 구매에는 다른 현실적 장벽이 작용할 수 있음을 암시한다. 반면, '자기합리화'는 '제품 구매의도'와 양의 상관관계를 보여, 자기합리화가 구매 의도를 강화할 수 있음을 시사한다. '인지부조화'는 '제품 구매의도'와 직접적인 선형 상관관계를 보이지 않아 매개효과를 통한 간접적 영향 가능성을 제기한다. 이러한 결과는 변수들 간의 복합적인 관계를 이해하는 데 중요한 통찰을 제공하며, 예상치 못한 상관관계는 향후 연구에서 더 깊이 탐색해야 할 시사점이다.

3.4. 가설검증

3.4.1 직접효과 결과

본 연구의 가설 검증을 위해 구조방정식 모형을 활용하여 주요 잠재변수들 간의 직접효과를 분석하였으며, 그 결

과는 Table 7과 같다. 직접 효과는 독립변수가 종속변수에 미치는 직접적인 영향의 크기와 통계적 유의성을 나타낸다. 유의성 판단은 C.R.과 p를 기준으로 하였으며, 일반적으로 p값이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의하다고 판단한다.

첫째, 윤리적 책임의식은 플라스틱 포장재 제품의 구매의도에 유의한 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다(B(회귀가중치)=-0.400, $p<0.001$). 이는 소비자의 윤리적 책임의식이 높을수록 플라스틱 포장 제품 구매의도가 오히려 낮아질 수 있음을 의미한다.

둘째, 소비자의 자기합리화는 플라스틱 포장재 제품의 구매의도에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다(B=0.292, $p<0.01$). 이는 자기합리화 수준이 높을수록 플라스틱 포장재 제품 구매의도가 높아짐을 의미한다.

셋째, 준거집단 영향은 플라스틱 포장재 제품의 구매의도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(B=0.036, $p>0.05$). 이는 주변 사람들의 의견이나 행동이 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 직접적으로 큰 영향을 주지 않을 수 있다.

넷째, 정부 환경정책은 플라스틱 포장재 제품의 구매의도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(B=0.018, $p>0.05$). 이는 정부의 친환경 정책이나 규제가 소비자들의 친환경 제품 구매의도에 직접적으로 영향을 주기에는 한계가 있음을 시사한다.

3.4.2 매개(간접)효과

본 연구에서는 부트스트래핑(Bootstrapping) 방법을 활용하여 주요 잠재변수들 간의 매개(간접)효과를 분석하였으며,

Table 6. Results of Correlation Analysis

	1	2	3	4	5	6
EthiRes	1					
SelfJus	-.724***	1				
RefGrou	.458***	-.406***	1			
Govern	.373***	-.372***	.422***	1		
CogDisso	.375***	-.347***	.330***	.309***	1	
Purchas	-.593***	.582***	-.244***	-.190**	-.0114	1

주) *: $p<0.05$, **: $p<0.01$, ***: $p<0.001$

Table 7. Results of Direct Effects Analysis

Independent Variable		Dependent Variable	B	S.E.	C.R.	p	Hypothesis Accepted
EthiRes	⇒	Purchas	-0.400	0.091	-4.400	0.000	Accepted
SelfJus	⇒	Purchas	0.292	0.099	2.949	0.003	Accepted
RefGrou	⇒	Purchas	0.036	0.072	0.497	0.619	Rejected
Govern	⇒	Purchas	0.018	0.063	0.291	0.771	Rejected

주1) B: 회귀 가중치 (Regression Weight), 비표준화 경로 계수 (Unstandardized Path Coefficient)

주2) S.E.: 표준 오차 (Standard Error)

주3) C.R.: 임계비 (Critical Ratio)

주4) p: 유의확률(p-value)

Table 8. Results of Mediating Effect Analysis

경로	B	p	LLCI	ULCI	Hypothesis Accepted
EthiRes ⇒ CogDisso ⇒ Purchas	0.025	0.140	-0.006	0.142	Rejected
SelfJus ⇒ CogDisso ⇒ Purchas	-0.013	0.384	0.079	0.029	Rejected
RefGrou ⇒ CogDisso ⇒ Purchas	0.030	0.046	0.005	0.101	Accepted
Govern ⇒ CogDisso ⇒ Purchas	0.029	0.049	0.001	0.095	Accepted

주1) LLCI: 편향 수정된 신뢰구간 하한 (Bias-Corrected Lower Bound)

주2) ULCI: 편향 수정된 신뢰구간 상한 (Bias-Corrected Upper Bound)

그 결과는 Table 8과 같다. 매개효과의 유의성은 95% 신뢰구간(LLCI; Lower Level Confidence Interval, ULCI; Upper Level Confidence Interval)에 0이 포함되는지 여부를 기준으로 판단한다. 신뢰구간에 0이 포함되지 않으면 통계적으로 유의하다고 판단하며, 이는 매개효과가 존재함을 의미한다.

분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 인지부조화는 윤리적 책임의식과 플라스틱 포장재 제품 구매의도의 사이에서 매개효과($B=0.025$, $p>0.05$)는 나타나지 않았다. 이는 소비자의 윤리적 책임의식이 인지부조화를 유발하더라도, 이 인지부조화가 직접적으로 플라스틱 포장재 제품의 구매의도 감소로 이어지지 않음을 의미한다. 즉, 인지부조화가 제품 구매의도를 유의미하게 변화시키는 매개 역할을 하지 못한다고 해석할 수 있다.

둘째, 인지부조화는 자기합리화와 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개효과($B=-0.013$, $p>0.05$)는 나타나지 않았다. 자기합리화가 인지부조화를 매개하여 제품 구매의도에 미치는 간접효과는 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 이는 자기합리화가 인지부조화에 영향을 미치더라도, 그 인지부조화가 제품 구매의도를 유의미하게 변화시키는 매개 역할을 하지 못함을 의미한다.

셋째, 인지부조화는 준거집단 영향과 플라스틱 포장재 제품 구매의도의 사이에서 완전 매개효과($B=0.030$, $p<0.05$)가 나타났다. 이는 준거집단 영향이 클수록 소비자가 플라스틱 포장재 제품 구매의도와 관련하여 인지부조화를 더 많이 경험하게 되고, 이러한 인지부조화가 궁극적으로 플라스틱 포장재 제품 구매의도를 변화시키는데 기여함을 의미한다. 즉, 주변 사람들의 친환경 행동이나 기대가 소비자의 내적 갈등을 유발하고, 이 갈등을 해소하기 위해 플라스틱 포장재 제품 대신 친환경 포장재 제품 구매를 선택할 수 있음을 시사한다.

넷째, 인지부조화는 정부의 환경정책과 플라스틱 포장재 제품 구매의도의 사이에서 완전 매개효과($B=0.029$, $p<0.05$)가 나타났다. 이는 정부의 환경정책이 소비자들에게 플라스틱 포장재에 대해서 부정적으로 인지시키고, 이로 인해 태도와 행동 간의 인지부조화를 경험하게 되며, 이러한 인지

부조화가 플라스틱 포장재 제품 대신 친환경 포장재 제품 구매의도를 높이는 데 기여할 수 있음을 의미한다. 즉, 정부 정책이 직접적인 구매 동기보다는 소비자의 내적 갈등을 유발하여 간접적으로 플라스틱 포장재 제품 소비를 감소시키고, 친환경 소비를 촉진할 수 있음을 시사한다.

결론

1. 논의

본 연구는 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 인지부조화의 매개효과 검증에 대한 논의는 다음과 같다.

첫째, ‘개인의 윤리적 책임의식은 플라스틱 포장재 제품 구매 의도에 부(-)의 영향을 미칠 것이다.’라는 가설(H1-1)은 Bea¹⁹⁾와 Yoon³⁷⁾의 연구 결과를 지지한다($B=-0.400$, $p=0.000$). 이는 소비자의 윤리적 책임 의식이 높을수록 플라스틱 포장재 사용을 줄이거나 피하려는 윤리적 책임의식 경향이 강해짐을 의미한다. 플라스틱 포장재는 환경에 부정적인 영향을 미치는 제품으로 인식되기 때문에, 윤리적 책임의식이 높은 소비자는 이를 회피하려는 경향이 있다는 것을 본 연구결과를 통해 확인하였다.

둘째, ‘개인의 자기합리화는 플라스틱 포장재 제품 구매 의도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.’라는 가설(H1-2)은 Smith와 Paladino⁴⁰⁾ 및 Graham-rowe 등⁴¹⁾의 연구결과를 지지한다($B=0.292$, $p=0.003$). 본 연구를 통해 자기합리화가 플라스틱 포장재 제품의 구매의도를 높이는 요인임을 확인하였다. 이는 소비자의 높은 소비문화와 편리성 추구 경향이 플라스틱 사용의 환경적 문제를 축소하거나 정당화함으로써 구매 행동을 유지하려는 심리적 경향을 나타낸다고 할 수 있다. 즉, 자기합리화가 절충적 소비 행동을 정당화하는데 중요한 역할을 한다는 것을 확인하였다.

셋째, ‘준거집단 영향은 개인의 플라스틱 포장재 제품 구매 의도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.’라는 가설(H1-3)은 Park 등²²⁾과 Ding 등²³⁾의 연구와 다른 결과를 나타냈다($B=0.036$, $p=0.619$). 이 연구가 선행 연구의 지지를 받지 못한 이유는, 준거집단이 친환경적 가치를 강조하더라도,

소비자는 플라스틱 포장재의 편리성이나 경제성을 우선시 하는 구매 행동을 유지한다고 할 수 있다^{44,64}.

넷째, ‘정부정책은 플라스틱 포장재 제품의 구매의도에 부(-)의 영향을 미칠 것이다.’라는 가설(H1-4)은 기각되었다(B=0.018, $p=0.771$). Feng 등²⁴)과 Wang 등⁵⁰)은 정부정책이 친환경 제품의 구매의도에 유의미한 영향을 미친다고 하였다. 하지만 Heidbreder 등⁵³)은 정부정책의 효과가 소비자의 인지도, 정책의 강제력, 또는 실행 방식에 따라 제한될 수 있다고 하였다. 본 연구 결과는 Heidbreder 등의 연구와 유사한 결과를 도출하였으며, 이러한 결과는 소비자의 높은 소비 편의성 추구 경향이 정부정책의 영향을 일부 상쇄한 것으로 나타났다.

다섯째, ‘개인의 인지부조화는 윤리적 책임의식과 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개 역할을 할 것이다.’라는 가설(H2-1)은 기각되었다(B=0.025, $p=0.140$). 이는 윤리적 책임의식이 소비자의 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 강한 부정적 영향을 미치며(B=-0.400, $p=0.000$), 인지부조화와 같은 심리적 갈등을 거치지 않고 바로 소비행동으로 이어졌을 가능성을 시사한다⁶⁵). 즉, 윤리적 책임의식이 강한 소비자는 플라스틱 포장재 구매를 회피함으로써 인지부조화를 경험하지 않았을 수 있다.

여섯째, ‘개인의 인지부조화는 자기합리화와 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개 역할을 할 것이다.’라는 가설(H2-2)은 기각되었다(B=-0.013, $p=0.384$). 이는 자기합리화가 인지부조화를 유발하기보다는 소비자의 구매의도를 직접적으로 강화하는 심리적 메커니즘으로 작용했음을 시사한다(B=0.292, $p=0.003$). 즉, 소비자는 플라스틱 사용의 환경적 문제를 정당화함으로써 심리적 갈등(인지부조화)을 경험하지 않고 구매 행동을 유지한다는 Smith와 Paladino⁴⁰)연구를 뒷받침한다.

일곱째, ‘개인의 인지부조화는 준거집단 영향과 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개 역할을 할 것이다.’라는 가설(H2-3)은 Hwang 등⁵⁸), Matz와 Wood⁵⁹)의 연구를 지지하였다(B=0.030, $p=0.046$). 이러한 결과는 준거집단의 환경 관련 가치와 태도가 소비자의 신념과 행동 간 갈등을 유발하고, 이러한 갈등이 구매의도에 영향을 미쳤음을 의미한다. 본 연구는 Festinger³⁸)의 인지부조화 이론에 따른 준거집단 영향이 소비자의 심리적 갈등을 통해 구매 의도에 영향을 미치는 메커니즘을 실증적으로 규명하였다. 이는 인지부조화가 외부적 요인(사회적 압력)과 소비자 행동 간의 관계에서 중요한 매개 변수로 작용할 수 있음을 보여준다⁶⁶).

여덟째, ‘개인의 인지부조화는 정부 환경정책과 플라스틱 포장재 제품 구매의도 사이에서 매개 역할을 할 것이다.’라는 가설(H2-4)은 Činčera⁶¹) 연구결과를 지지하였다(B=0.029, $p=0.049$). 이는 정부의 플라스틱 감축 정책이 소비자의 환경적 신념과 실제 행동 간 갈등을 유발하고, 이 갈

등이 구매 의도에 영향을 미쳤음을 의미한다. 이 결과 또한 Festinger³⁸)의 인지부조화 이론이 환경정책과 소비자 행동 간의 관계를 설명하는 데 유용한 이론적 틀임을 확인하였다.

2. 연구의 시사점 및 한계점

2.1. 연구의 시사점

본 연구는 다음과 같은 학술적·실무적 시사점을 제시하고 있다.

학술적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 기존 인지부조화 이론은 친환경 제품에 국한되어 적용되었으나, 본 연구는 비친환경 제품으로 인식되는 플라스틱 포장재 제품구매에도 이 이론의 적용 가능성을 보여주어 연구의 틀을 확장할 수 있음을 입증하였다. 둘째, 윤리적 책임의식, 자기합리화, 준거집단 영향, 정부 정책 등 다양한 요인이 인지부조화에 미치는 영향을 통합적으로 분석하여 환경 행동 연구의 이론적 깊이를 더하는 통찰력을 제시하였다. 셋째, 소비자의 실용성 추구가 자기합리화 및 부조화 회피 전략을 통해 구매 행동으로 이어짐을 설명함으로써, 윤리 소비와 현실 소비 간의 심리 메커니즘을 연결하였다.

실무적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 플라스틱 포장재 제조 및 유통업체는 윤리적 의식이 높은 소비자에게 플라스틱 포장재의 재활용 가능성, 감량화, 안전성 등 부조화 완화 메시지를 강조하는 커뮤니케이션 전략이 필요하다. 둘째, 플라스틱 포장의 실용성과 위생성을 강조하면 자기합리화를 통해 소비자가 심리적 불편 없이 구매 결정을 내릴 수 있다는 본 연구 결과를 토대로 현실적 소비 상황에 기반한 소비자의 설득 전략 수립이 가능하므로, 제조 및 유통기업은 이러한 점을 감안하여 소비자의 플라스틱 포장재의 사용에 대한 마케팅 전략 수립이 필요하다. 셋째, 정부의 환경정책은 플라스틱 포장재 제조 및 유통기업의 경우 직접적 규제 효과가 있지만, 소비자의 경우 플라스틱 포장재 사용에 있어서 내면적 갈등을 유도하고 사회적 압력을 형성하는 등의 간접 규제 효과가 있다. 따라서 정부의 환경규제 정책 범위 내에서 플라스틱 포장재를 사용할 수 있는 소비자 지향적 마케팅 전략 수립이 필요하다.

2.2. 연구의 한계

본 연구의 한계점은 다음과 같다.

첫째, 본 연구의 대상을 수도권 거주 일반인을 대상으로 하여 연구 대상의 일반화 및 지역적 한계가 있다. 따라서 후속 연구에서는 전국 단위 거주자를 대상으로 확장하거나, 대도시 및 일반도시, 도시와 농촌 등으로 차등화하여 비교 연구할 필요가 있다.

둘째, 본 연구는 플라스틱 포장재의 구매 경험에 의한 연구가 아니라 구매의도를 측정하였다는 점에서 실제 구매로 이어지는 구매 경험을 토대로 재구매의도 등을 측정하여 플

라스틱 포장재의 지속 사용에 대한 연구가 필요하다.

셋째, 본 연구는 플라스틱 포장재 구매의도에 영향을 미치는 개인적 요인과 사회적 요인을 변수로 하였으나, 이외 플라스틱 포장재의 특성 및 환경적 요인, 친환경 포장재와 같은 다양한 변수를 활용한 연구 및 비교 연구도 필요하다. 따라서 향후 이를 부분 반영하거나 보완하는 후속 연구가 필요하다.

요 약

본 연구는 플라스틱 포장재 제품 구매의도에 영향을 미치는 개인·사회적 요인과 인지부조화의 매개효과를 실증적으로 분석하였다. 개인적 요인(윤리적 책임의식, 자기합리화)과 사회적 요인(준거집단 영향, 정부 정책)을 중심으로 이론적 모형을 설정하고, 구조방정식모형을 통해 SPSS(ver.27)와 AMOS(ver.24)로 분석하였다. 수도권 거주 일반인 275명을 대상으로 설문조사를 실시하였고, 확인적 요인 분석, 경로분석, 부트스트래핑을 통해 가설을 검증하였다. 분석 결과, 윤리적 책임의식은 구매의도에 부정적 영향을, 자기합리화는 긍정적 영향을 미쳤으며, 준거집단 영향과 정부 정책은 직접 효과는 없었으나, 인지부조화를 매개로 한 간접효과는 유의하였다. 반면, 윤리적 책임의식과 자기합리화는 인지부조화를 통한 간접효과는 없었다. 이는 소비자가 환경 부담을 인식하면서도 실용성을 정당화하거나 사회적 압력에 의해 갈등을 겪은 후 구매 행동을 결정함을 시사한다. 본 연구는 인지부조화 이론의 적용 대상을 플라스틱 포장재로 확장하였으며, 실무적으로는 윤리의식이 높은 소비자에게는 인지부조화를 줄일 수 있는 메시지가, 자기합리화가 높은 소비자에게는 실용성 강조 전략이 구매 유도에 효과적일 수 있음을 제안한다. 또한 정책은 강제보다는 내적 갈등과 사회적 규범을 자극하는 방식이 효과적일 수 있음을 확인했다.

참고문헌

- Robertson, G. L. 2005. Food Packaging: Principles and Practice. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Marsh, K., & Bugusu, B. 2007. Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3), R39-R55.
- Sarkar, S. and Aparna, K. 2020. Food packaging and storage. In: *Research Trends in Home Science and Extension*, Vol. 3, AkiNik Publications, New Delhi, India, pp. 27-51.
- Cavaliere, A., Pigliafreddo, S., De Marchi, E., & Banterle, A. 2020. Do consumers really want to reduce plastic usage? Exploring the determinants of plastic avoidance in food-related consumption decisions. *Sustainability*, 12(22), 9627.
- Gu, F., Zhu, Z., & Ali, S. 2023. Analysis of factors of single-use plastic avoidance behavior for environmental sustainability in China. *Processes*, 11(5), 1412. <https://doi.org/10.3390/pr11051412>
- European Commission, Eu restrictions on certain single-use plastics, https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/single-use-plastics/eu-restrictions-certain-single-use-plastics_en?utm_source=chatgpt.com6.
- UNEP, <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution>
- Kwak, Y. K., & Jeon, D. H. 2021. The influence of environmental consciousness and eco-guilt on eco-friendly behavior among food delivery consumers: Moderating effect of eco-guilt. *Journal of Foodservice Management*, 24(6), 133-157.
- 정책브리핑, 2019.02.19, 일회용 비닐봉투 썩는데 500년?
- 환경부 보도자료, 2022.11.01., 11월 24일부터 일회용품 사용 줄이기 시행.
- 환경부 보도자료, 2023.11.07., 일회용품, 소상공인 부담 해소 하며 국민의 자발적 참여로. 감량
- 경향신문, 2023.11.07., 일회용품 규제 포기한 환경부, 플라스틱 줄일 의지 있다, https://www.khan.co.kr/article/202311071902001?utm_source=chatgpt.com
- McKinsey & Company, June 24, 2025, Sustainability in packaging 2025: Inside the minds of global consumers,
- Joshi, Y., & Rahman, Z. 2015. Factors affecting green purchase behaviour and future research directions. *International Strategic Management Review*, 3(1-2), 128-143.
- Wang, J., Shen, M., & Chu, M. 2021. Why is green consumption easier said than done? Exploring the green consumption attitude-intention gap in China with behavioral reasoning theory. *Cleaner and Responsible Consumption*, 2, 100015.
- Stern, P. C. 2000. New environmental theories: toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of Social Issues*, 56(3), 407-424.
- Duarte, P., Silva, S. C., Roza, A. S., & Dias, J. C. 2024. Enhancing consumer purchase intentions for sustainable packaging products: An in-depth analysis of key determinants and strategic insights. *Sustainable Futures*, 7, 100193.
- Park, M. 2022. The effect of ethical consumption consciousness on eco-friendly food consumer satisfaction and purchase intention: Focused on the moderating effect of prior knowledge. *Journal of Foodservice Management*, 25(4), 183-206.
- Bae, S. H. 2021. Good intentions are not enough: The effects of altruistic and egoistic motivation on green product purchase behavior. *Journal of Marketing Research*, 36(1), 71-97.
- Thøgersen, J. 2006. Norms for environmentally responsible behaviour: An extended taxonomy. *Journal of Environmental Psychology*, 26(4), 247-261.
- Na, J. 2023. The effects of ESG social activity types on purchase intention and self-congruence: Moderating roles of collectivism/individualism orientation and ESG comprehension. Ph.D. Dissertation, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea.
- Park, J., Park, M., & Yoo, J. 2024. The Effect of Upcycling Fashion Brand Image on Brand Equity and Behavioral Intention-Focusing on Brand Equity Theory and the Moderating

- Role of Green Peer Influence. *The Korean Fashion and Textile Research Journal*, 26(4), 366-379.
23. Ding, S., Lin, J., & Zhang, Z. 2020. Influences of reference group on users' purchase intentions in network communities: From the perspective of trial purchase and upgrade purchase. *Sustainability*, 12(24), 10619.
 24. Feng, Y., Feng, Y., & Liu, Z. 2025. The Impact Mechanism of Government Environmental Regulation and Green Consumer Orientation(GCO) on Green Purchase Intention: A Case Study of Zespri. *Sustainability (2071-1050)*, 17(6).
 25. Tan, K., & Huang, C. 2023. The influence of government support on green purchase intention. *The EUrASEANs: Journal on Global Socio-Economic Dynamics*, 5(42), 117-127.
 26. Kim, J., & Park, E. A. 2015. An exploratory study on the factors influencing pro-environmental behavioral intention and green consumption intention: Focusing on norms and motivations. *Journal of Consumer Studies*, 26(1), 1-22.
 27. Bentler, D., Kadi, G., & Maier, G. W. 2023. Increasing pro-environmental behavior in the home and work contexts through cognitive dissonance and autonomy. *Frontiers in Psychology*, 14, 1199363.
 28. Rabiou, M. K., & Jaeger-Erben, M. 2024. Reducing single-use plastic in everyday social practices: Insights from a living lab experiment. *Resources, Conservation and Recycling*, 200, 107303.
 29. Ruippo, L., Kylkilahti, E., Sekki, S., & Autio, M. 2023. "It probably could've done with less plastic"-Consumers' cyclical and uneasy relationship with food packaging. *Frontiers in Sustainability*, 4, 1176559.
 30. Kaushik, M. B., Rajharia, P., & Gehlot, V. 2024. Investigating Drivers of Consumer Dedication to Sustainable Practices: An Extensive Review of Literature. *Multidisciplinary Approaches for Sustainable Development*, 349-355.
 31. Nie, W., Medina-Lara, A., Williams, H., & Smith, R. 2021. Do health, environmental and ethical concerns affect purchasing behavior? A meta-analysis and narrative review. *Social Sciences*, 10(11), 413.
 32. Shaw, D., & Shiu, E. 2002. The role of ethical obligation and self-identity in ethical consumer choice. *International Journal of Consumer Studies*, 26(2), 109-116.
 33. Shaw, D., Shiu, E., & Clarke, I. 2000. The contribution of ethical obligation and self-identity to the theory of planned behaviour: An exploration of ethical consumers. *Journal of Marketing Management*, 16(8), 879-894.
 34. Sandve, A., & Øgaard, T. 2014. Exploring the interaction between perceived ethical obligation and subjective norms, and their influence on CSR-related choices. *Tourism Management*, 42, 177-180.
 35. Stern, P. C., Dietz, T., Abel, T., Guagnano, G. A., & Kalof, L. 1999. A value-belief-norm theory of support for social movements: The case of environmentalism. *Human Ecology Review*, 81-97.
 36. Ajzen, I. 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211.
 37. Yoon, J. 2019. A study on the purchasing process of eco-friendly products using the extended theory of planned behavior: Focused on multi-group analysis of price sensitivity. Ph.D. Dissertation, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
 38. Festinger, L. 1957. Social comparison theory. *Selective Exposure Theory*, 16(401), 3.
 39. Bandura, A. 1999. Social cognitive theory: An agentic perspective. *Asian Journal of Social Psychology*, 2(1), 21-41.
 40. Smith, S., & Paladino, A. 2010. Eating clean and green? Investigating consumer motivations towards the purchase of organic food. *Australasian Marketing Journal*, 18(2), 93-104.
 41. Graham-Rowe, E., Jessop, D. C., & Sparks, P. 2014. Identifying motivations and barriers to minimising household food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 84, 15-23.
 42. Park, W., Son, C., Kim, D., Seo, Y., Seok, C., & Son, C. Y. 2024. The influence of relational self, self-justification, and SNS proof-shot behavior on symbolic consumption tendencies among Korean Generation Z: Based on Moschis and Churchill's consumer socialization theory. *Nursing and Innovation*, 28(1), 19-28. <https://doi.org/10.38083/NIN.28.1.202402.019>
 43. Sun, Y., & He, H. 2023. Understanding consumers' purchase intentions of single-use plastic products. *Frontiers in Psychology*, 14, Article 110595. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1105959>
 44. Wismantoro, Y., & Susilowati, M. W. K. 2025. Do attitude towards behavior, subjective norms, and perceived control behavior matter on environmentally friendly plastic purchasing intention? *International Journal of Management and Sustainability*, 14(1), 44-56.
 45. Zhou, Y. 2025. External and Internal Factors Affecting Sustainable/Green Consumer Behavior. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 142(1), 161-171. doi.org/10.54254/2754-1169/2024.1d19007
 46. Kelman, H. C. 1958. Compliance, identification, and internalization three processes of attitude change. *Journal of Conflict Resolution*, 2(1), 51-60.
 47. Ok Park, J., & Sohn, S. H. 2018. The role of knowledge in forming attitudes and behavior toward green purchase. *Social Behavior and Personality: an international journal*, 46(12), 1937-1953.
 48. Stern, P. C. 2000. New environmental theories: toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of Social Issues*, 56(3), 407-424. <https://doi.org/10.1111/0022-4537.00175>
 49. Schwartz, S.H. 1977. Normative influences on altruism. In: Berkowitz, L. (ed.), *Advances in Experimental Social Psychology*, Vol. 10, Academic Press, New York, USA, pp. 221-279.
 50. Wang, B., Yang, R., Bai, P., Fang, Q., & Jiang, X. 2024. The plastic-reduction behavior of Chinese residents: Survey, model, and impact factors. *Sustainability*, 16(14), 6093.
 51. He, H. 2010. The effects of an environmental policy on consumers: Lessons from the Chinese plastic bag regulation. *Working Papers in Economics*, No. 453, Institutionen för nationalekonomi med statistik, Handelshögskolan vid Göteborgs universitet, Göteborg, Sweden, 35 pp.
 52. Yamin, P., Fei, M., Lahlou, S., & Levy, S. 2019. Using

- social norms to change behavior and increase sustainability in the real world: A systematic review of the literature. *Sustainability*, 11(20), 5847.
53. Heidbreder, L. M., Bablok, I., Drews, S., & Menzel, C. 2019. Tackling the plastic problem: A review on perceptions, behaviors, and interventions. *Science of the Total Environment*, 668, 1077-1093.
 54. Ko, Y. J., & Park, S. M. 2024. The effect of cognitive dissonance on positive brand image transformation: Focusing on MZ generation's customer experience in popup stores. *Journal of Integrated Design Research*, 23(3), 9-26.
 55. Bem, D. J. 1972. Self-perception theory. In: Berkowitz, L. (ed.), *Advances in Experimental Social Psychology*, Vol. 6, Academic Press, New York, USA, pp. 1-62.
 56. Cancino-Montecinos, S., Björklund, F., & Lindholm, T. 2018. Dissonance reduction as emotion regulation: Attitude change is related to positive emotions in the induced compliance paradigm. *PLOS ONE*, 13(12), e0209012.
 57. Elliot, A. J., & Devine, P. G. 1994. On the motivational nature of cognitive dissonance: Dissonance as psychological discomfort. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67(3), 382.
 58. Hwang, M. J., Hwang, Y. H., & Lee, W. S. 2015. The influence of reference group sensitivity and ethnocentrism on housewives' purchase intention of imported home appliances: Focusing on the mediating effect of cognitive dissonance. *Journal of Consumer Policy Studies*, 46(1), 89-116.
 59. Matz, D. C., & Wood, W. 2005. Cognitive dissonance in groups: the consequences of disagreement. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88(1), 22.
 60. Meuleman, L. 2012. Cognitive dissonance in evidence-based sustainability policy? Reflections based on governance theory. *Proceedings of the 2012 Berlin Conference on Evidence for Sustainable Development*, Berlin, Germany, pp. 1-17.
 61. Cincera, J. 2013. Managing cognitive dissonance: Experience from an environmental education teachers' training course in the Czech Republic. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 15(2), 42-51.
 62. Jeon, D.H., & Jeon, H.M. 2024. The effect of consumer expectations on post-purchase cognitive dissonance, satisfaction, and repurchase intention: Focusing on shrinkflation cases in snack purchases. *Journal of Foodservice Management*, 27(4), 271-291.
 63. Jung, J.H. 2017. A study on the effects of SNS characteristics and cognitive dissonance reduction behavior on brand image, brand loyalty, and behavioral intention. Ph.D. Dissertation, Kyung Hee University, Seoul, Korea.
 64. Hossain, K. B., Chen, K., Chen, P., Wang, C., & Cai, M. 2021. Socioeconomic relation with plastic consumption on 61 countries classified by continent, income status and coastal regions. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107(4), 786-792.
 65. Siddiqui, S. A., Profeta, A., Decker, T., Smetana, S., & Menrad, K. 2023. Influencing factors for consumers' intention to reduce plastic packaging in different groups of fast-moving consumer goods in Germany. *Sustainability*, 15(9), 7625.
 66. Wibowo, S. F., Najib, M., Sumarwan, U., & Asnawi, Y. H. 2022. Green Purchase: A Systematic Review and Future Research Agenda. *Indonesian Journal of Business and Entrepreneurship*, 8(1), 146-146

투고: 2025.07.31 / 심사완료: 2025.08.13 / 게재확정: 2025.08.14

한국포장학회지 투고규정 및 원고작성 요령

2005년 4월 1일 제정

2007년 8월 17일 개정

2008년 11월 25일 개정

1. 한국포장학회지(이하 본지)에의 투고는 한국포장학회 회원에 한한다. 비회원의 투고는 본회 회원과의 공동 연구인 경우에만 허용한다. 단, 국제 심포지엄이나 세미나에서 발표된 논문 혹은 자료 등 초청원고는 예외로 한다.
2. 본지에의 투고원고는 다른 학술지에 원본으로서 발표되지 아니한 것이어야 한다. 단, 초청원고는 예외로 한다.
3. 논문의 투고 일자(논문이 본회에 도착한 날)를 접수일로 하고 최종심사 종료일을 채택일로 한다.
4. 투고 시에는 원고가 포함된 워드프로세스 파일(한글 또는 MS word)을 인터넷 웹 또는 이메일을 통해서 접수시킬 수 있다(아래 제 14항 참조).
5. 투고 원고는 포장과학 및 기술에 관한 연구논문, 연구노트, 총설 및 자료 등으로 한다. 다만, 포장과학 및 기술의 확산과 전파에 도움이 되는 특별한 필요가 있는 경우에, 편집위원회에서 다른 형식의 원고를 접수하여 게재를 검토할 수 있다.
6. 논문은 국문, 국한문 혹은 영문으로 작성한다. 영문원고의 경우에는 모든 내용이 영문으로 작성되어야 하며 국문 사용은 금한다. 원고는 한줄 건너서(double space) 워드프로세스(한글 또는 MS word)로 작성한 파일로 투고한다
7. 항목별 작성방법은 다음과 같다.
 - (1) 제목, 저자명, 연구기관 및 주소
 - 원고 겉표지에 제목, 저자명, 연구기관을 국문과 영문 순으로 표시한다. 중단과 하단에 소제목과 연락처를 표기한다. 주저자와 소속이 다른 저자의 경우에는 저자명 다음에 위첨자 숫자로 구별되도록 한다.
 - 교신저자(corresponding author)의 이름 우측에 위첨자로 *를 표시하고 페이지 하단에 소속기관, 주소, 전화번호, fax번호 및 E-mail 주소를 영문으로 표기한다.
 - 연구기관 및 주소는 저자명 순으로 표기하고, 여러 다른 저자의 소속 연구기관이 있는 경우 해당 저자 소속 연구기관 이름 왼쪽 상단에 저자에 해당되는 위첨자 숫자로 구별되도록 한다.
 - 10단어 이내의 단축제목(running head)을 교신저자란 위에 한글논문은 한글로, 영어논문은 영어로 제시한다.
 - (2) 요약
 - 국문논문일 경우 영문초록(abstract)을 수록하고 국문 요약을 본문에 수록한다. 영문 초록은 200단어 내외로

한다. 5개 이내의 영문 색인어(Key words)를 영문초록 다음에 적는다.

(3) 본문

- 논문의 본문이 국문인 경우에는 Abstract(영문), 서론, 재료 및 방법, 결과 및 고찰, 요약, 참고문헌 순으로 작성하는 것을 원칙으로 하며, 논문의 특성에 따라 달리할 수 있다. 영문논문인 경우에는 Abstract, Introduction, Materials & Methods, Results & Discussion, Conclusions, References 순에 따르는 것을 원칙으로 한다. 감사의 글(Acknowledgement)이 있는 경우에는 참고문헌 앞에 수록한다.

- 원고는 다음과 같이 분류 포인트 시스템으로 기술한다.

서론

재료 및 방법

1.

2.

결과 및 고찰

1.

2.

요약

참고문헌

(4) 참고문헌(References)

- 인용된 문헌들은 본문에 인용된 순서대로 해당 문구의 알맞은 곳에 오른쪽 반괄호 속의 아라비아 숫자로 일련번호를 부여하고 위첨자로 표시하여야 한다. 수학기호의 경우에는 대괄호 속의 아라비아 숫자로 일련번호를 부여하고 대괄호는 우측정렬한다.

예) 국문원고 - Kim과 Lee¹⁾는... Kim 등²⁾에..., 이와 박³⁾은..., ...이루어진 바 있다⁴⁾.

영문원고 - Paine and Shin¹⁾ reported..., Park et al.²⁾ stated.. ...has been developed³⁾.

- 참고문헌이 학술잡지의 경우는 저자명, 출판년도, 논문명, 잡지명, 권수(호수), 쪽수 순으로, 단행본이나 편집서의 경우는 저자, 출판년도, 책명, 편집자, 권수, 출판사명, 출판사 소재지, 쪽수의 순으로 명기하여야 한다. 단, 없는 항목은 생략할 수 있다. 저자명은 성, 이름 순으로 명기한다. 잡지명의 약기 방식은 ISI 잡지 약어(ISI Journal Abbreviation)에서 채택한 것을 사용하여야 한다. 한국포장학회지를 비롯한 국문 학

술지에 게재된 논문도 영문으로 인용한다. 참고문헌의 기재방식은 다음 예를 따라 작성한다.

예)

- 정기간행물

1. Lee, M.H. and Park, J.M. 2000. Experimental investigation for flexural stiffness of paperboard-stacked structure, Korean J. Packag. Sci. Tech. 7(1): 9-15.

- 단행본 저서

2. Twede, D. and Goddard, R. 1998. Packaging Materials. Pira International, Leatherhead, UK, pp. 193-203.

- 편집서

3. DeLassus, P.T., Brown, W.E. and Howell, B.A. 1997. Vinylidene chloride copolymers. In: The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology. 2nd Ed. Brody A.L. and Marsh K.S. (eds.), John Wiley & Sons, New York, USA, pp. 958-961.

- 학술대회 발표논문집

4. Choi, Y.W., Lee, S.Y. and Kim, J.N. 2008. Development of the functional films coated with nano-TiO₂ particles for application in food packaging. Proceeding of 16th IAPRI World Conference on Packaging (International Association of Packaging Research Institutes), Bangkok, Thailand, pp. 143.

- 학위논문

5. Song, Y.S. 1995. Modeling respiration and transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry and moisture absorbent. Ph.D. Dissertation, Rutgers University, New Brunswick, USA.

- 특허

6. Lee, D.S. and Jeong, S.K. 1998. Container for storing kimchi. US Patent 5766660.

(5) 표

- 모든 표는 명료하게 작성하고 표 내의 긴 단어는 적당한 약어로 대체한 후 아래에 약어를 정의하여야 한다. 모든 표는 아라비아 숫자로 일련 번호를 부여하여야 한다. (예 : Table 1.)

(6) 그림

- 그림의 원본은 인쇄시 가로 길이가 6.9 cm 또는 14.8 cm가 된다는 것을 염두에 두고 깨끗이 작성하여야 한다. 모든 그림은 아라비아 숫자로 일련번호를 부여해야 한다. (예 : Fig. 1.)

- 모든 표와 그림의 설명은 영어로 하여야 한다. 모

든 표와 그림은 각각 별도의 쪽에 작성하며 그림과 떨어진 하단에 그림 일련번호를 표기한다. 그림의 설명은 별지에 모아 작성하여야 한다.

(7) 기타 사항

- 모든 단위는 SI 단위를 사용함을 원칙으로 하나 일반화된 단위를 사용할 수도 있다. (예: 평량 g/m², 초지속도 m/mm 등). 온도(°C)와 농도(%)를 제외한 모든 단위는 한 칸 띄워 쓰기를 한다.
 - 본문 그림 및 표에 사용된 약어, 시료명, 기호 등은 그것이 처음 사용된 곳에서 한번만 정의해 주어야 한다.
 - 투고된 논문은 저자 체크리스트의 모든 사항을 만족시킬 경우에 한하여 출판에 들어간다.
8. 논문 게재 확정시에는 인쇄 페이지당 소정의 게재료를 납부하여야 한다. 천연색 사진을 사용한 경우에는 실비를 추가로 납부해야 한다. 편집위원회에서 정하는 특정 조건에 한해서 게재료 납부를 면제할 수 있다.
 9. 별쇄본은 30부를 증명하며 그 이상은 자비 부담으로 한다.
 10. 게재원고는 반환하지 않으나, 사진과 그림은 투고 시 요구할 경우에 한하여 반환한다.
 11. 저자교정은 초교에 한하며, 이때는 인쇄상의 오식에 대해서만 수정할 수 있고, 개변 또는 추가를 원할 때에는 편집위원회의 승인을 얻어야 한다.
 12. 채택되어 저자교정이 끝난 원고에 대해서는 출판 및 인용색인 데이터베이스작업 등을 위해 저작권 이전동의서 제출, 저자의 필요한 인적사항정보 제공 등을 요청할 수 있고, 저자는 이에 협조하여야 한다.
 13. 저자교정이 끝난 원고는 등기속달 또는 전자메일을 이용하여 한국포장학회 사무국에 명시된 기한 내에 도착하도록 송부해야 한다. 부득이하여 저자교정 마감기간을 지키지 못할 경우에는 전화, 팩스 또는 전자메일로 마감기일 전까지 연락하여야 한다. 편집위원장은 저자교정 마감일을 지키지 못한 원고의 게재를 다음 호로 연기할 수 있다.
 14. 한국포장학회지 논문 투고는 아래의 두 방법을 통해 이루어질 수 있다.
 - (1) 학회홈페이지로 접속하여 '논문투고'의 하위 폴더상에 업로드하거나,
 - (2) 혹은 E-mail(editor@kopast.or.kr)

Guideline for Authors

Original manuscripts containing new significant results in the fields of science and technology for packaging, and not published or not scheduled for publication elsewhere will be considered for publication of Korean Journal of Packaging Science and Technology published by Korea Society of Packaging Science and Technology. Reviews and manuscripts based on preprints from conferences may also be accepted. The copyright of the published article belongs to the author(s). All manuscripts will be refereed by two or more members of the KOPAST Editorial Board who make a critical appraisal of the substance and structure of the paper and recommend whether it should be published taking into consideration what is already published in the literature on the subject concerned.

Manuscript Preparation

The manuscript should preferably be submitted by e-mail or by other electronic copy. Figures and tables should be supplied on separate pages. KOPAST is published in black and white, but only if asked by related authors, the relevant papers may be published in color with the payment of actual expenses.

English Language

The manuscripts must be written by MS words in good English, linguistically revised. The font style should be Time New Roman. Either American or British spelling may be used, but consistency is desired.

Title, authors and headings

The title must be short but shall contain essential information. It should not contain abbreviations. Authors' names and affiliation follow the title.

Headings, sub headings and sub-sub headings should be written as follows;

Introduction

Materials and Methods

1.

...

Abstract

The summary at the beginning of the paper should be informative, not merely indicative. It should state briefly the purpose of the work, the significant results and conclusions.

It should be no more than 200 words. Abbreviations and acronyms should be avoided.

Keywords

Keywords should be given to help abstracting services to classify the paper.

Address(es) of the author(s)

Addresses (including corresponding author's e-mail) at the time of the publication are given for each author in a footnote.

Introduction

State scope of the problem investigated, review of pertinent literature, method of investigation, and the aim of the work.

Materials and Methods

Give full details of all the experiments, so that they can be repeated. Results should not be reported here.

Results and Discussion

Representative data shall be presented. Methods shall not be described here. Discuss principles and relationships, pointing out exceptions. Show agreement with published research work. The significance of the work or conclusions should be presented in the end of the discussion or in a separate section.

Mathematics

The SI system (metric system) shall be used throughout. Each equation should be set on the separate line and numbered with square brackets 'Eq. [X]'. Use arabic numerals. All mathematical symbols must be explained.

Tables

Wherever tables are mentioned, write 'Table X'. A short heading should be provided for each table. Tables should be consecutively numbered with arabic numerals like 'Table X'. Units should preferably be given in column headings. Use capital letters sparingly.

Illustrations

Wherever figures are mentioned, write 'Fig(s). X'. Figures should be consecutively numbered with arabic numerals with a short heading. The lines of the figures, on separate sheets, must be sufficiently heavy to be readily legible and the letters and symbols sufficiently large. The minimum resolution of pictures must be 300

dpi (10 cm width). Units should be given on the axes. Photographs must have good contrast when printed. Magnification of photomicrographs must be indicated e.g., with a scale line.

Conclusions

The conclusions of the work should be clearly stated in a separate section.

Acknowledgement and Appendix

Special thanks and information can be given as an Acknowledgement and Appendix.

References

References should not include unpublished works. They should be indicated in the text by numbers in parentheses and the order of the numbers must be the order in which they appear in the text. They list must be in numerical order. They style to be used is exemplified by the following :

- Periodicals

1. Lee, M.H. and Park, J.M. 2000. Experimental investigation for flexural stiffness of paperboard-stacked structure. Korean J. Packag. Sci. Tech. 7(1): 9-15.

- Book

2. Twede, D. and Goddard, R. 1998. Packaging Materials. Pira International, Leatherhead, UK, pp. 193-203.

- Edited book

3. DeLassus, P.T., Brown, W.E. and Howell, B.A. 1997. Vinylidene chloride copolymers. In: The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology 2nd Ed. Brody A.L. and Marsh K.S. (eds.), John Wiley & Sons, New York, USA, pp. 958-961.

- Conference proceeding

4. Choi, Y.W., Lee, S.Y. and Kim, J.N. 2008. Development of the functional films coated with nano-TiO₂ particles for application in food packaging. Proceeding of 16th IAPRI World Conference on Packaging (International Association of Packaging Research Institutes), Bangkok, Thailand, pp. 143.

- Thesis

5. Song, Y.S. 1995. Modeling respiration and transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry and moisture absorbent. Ph.D. Dissertation, Rutgers University, New Brunswick, USA.

- Patent

6. Lee, D.S. and Jeong, S.K. 1998. Container for storing kimchi. US Patent 5766660.

Submission of paper

Papers may be submitted directly to the society office as follows :

Korea Society of Packaging Science & Technology
#007, 9F, 441, Gangnam-daero, Seocho-gu, Seoul, 06612,
Republic of Korea
TEL : 82-2-6257-9477
E-mail: editor@kopast.or.kr

(사)한국포장학회 소식

1. 학회안내

1.1 **학회홈페이지 안내:** <https://www.kopast.or.kr>

학회홈페이지를 많이 이용해 주시기 바랍니다. 아직 홈페이지를 통해 회원등록을 하지 않으신 회원 여러분은 회원 명단의 전산화를 위해 반드시 회원등록을 다시 해주시기를 부탁드립니다.

1.2 **학회 연회비 안내**

종 신 회 원	500,000원	정 회 원	50,000원
법 인 회 원	2,000,000원 이상~	학 생 회 원	20,000원

※ 종신회원은 이사회의 승인 후 가입이 가능합니다.
 ※ 계좌번호: 국민은행 302501-04-266761(예금주: 한국포장학회)

2. 학회 소식

1) 주 제: 기술과 환경의 시대, 패키징의 뉴노말 (Redefining

Packaging: At the Crossroads of Technology and Sustainability)

- 2) 일 시: 2025. 12. 03(수), 13:00 ~ 12. 05(금), 12:00
- 3) 장 소: 제주도 오리엔탈호텔
- 4) 주 최: (사)한국포장학회
- 5) 공동주관: (사)한국포장학회, (사)한국포장재활용사업공제조합, (재)한국건설생활환경시험연구원, (주)에버캡텍, 한국생산기술연구원, 한국식품산업클러스터진흥원, 로지스올(주), 연세패키징기술경영최고위과장 총동문회, 한솔제지(주)
- 6) 후 원: (재)한국건설생활환경시험연구원, (주)에버캡텍, 한솔제지(주)
- 7) 프 로 그 램 :

※ **12/03 (WED) 13:00~18:00**

13:00~18:00	등록 (Registration)	
14:00~14:10	개회사 (유하경 회장)	
	한라홀	사라홀
	Young Scientist Presentation	Graduate Student Oral Competition
	좌장: 신계화 교수, 군산대학교	좌장: 정영훈 교수, 경북대학교
14:10~16:10	(업데이트 예정)	(업데이트 예정)
16:10~16:30	BREAK	
16:30~18:00	Poster Session	

※ **12/04 (THU) 08:30~18:00**

08:30~18:00	등록 (Registration)		
09:00~09:20	개회식(Opening Ceremony) (한라홀)		사회: 한재준 수석이사
	개회사	한국포장학회장	
	축사	한국포장재활용사업공제조합 이사장	
	축사	한국식품산업클러스터진흥원 이사장	
	경과보고	박수일 대회준비위원장	
Plenary Lecture 세션 (한라홀)			좌장: 유승란 총무이사
09:20~09:50	(PL 1) 국내 통제로 제조명한 패키징 산업 (심진기 센터장, 한국생산기술연구원)		
09:50~10:20	(PL 2) 지속가능성 제고를 위한 쿠팡의 유통물류 패키징 정책 및 전략 (오상원 상무, 쿠팡)		
10:20~10:50	(PL 3) 기업 혁신을 주도하는 인공지능 전환(AI): 디자인 사례를 통한 탐구 (조성민 대표, 윤디자인)		
10:50~11:00	BREAK		
장소	한라홀	사라홀	
	Session A-1: 산업용 포장 및 부품 적용을 위한 소재 개발 (주관: 소재환경분과)	Session B-1: 순환자원을 위한 디지털, 정책, 기술 (주관: 한국식품산업클러스터진흥원)	
	좌장: 박태훈 박사, 한국재료연구원	좌장: 허준 박사, 한국식품산업클러스터진흥원	

11:00~11:20	(업데이트 예정) (***, 쿠라레이)	(업데이트 예정)
11:20~11:40	기능성 필름을 이용한 식품 포장 및 전기차 응용 산업 (강보석 박사, 리젠퍼엔엠)	(업데이트 예정)
11:40~12:00	Protective coating of electrically conductive and transparent electrodes with functional nanomaterials (김영관 교수, 동국대학교)	(업데이트 예정)
12:00~12:20	(업데이트 예정) (박태훈 박사, 한국재료연구원)	(업데이트 예정)
12:20~13:20	LUNCH BREAK	
	Session A-2: 포장재 감량 및 자원순환 우수사례 (주관: 한국포장재재활용사업공제조합) 좌장: 김영희 박사, 한국포장재재활용사업공제조합	Session B-2: 탄소중립 사회를 향한 패키징 기술과 산업 전략 (주관: 한국생산기술연구원) 좌장: 강동호 박사, 한국생산기술연구원
13:20~13:40	건강한 자원순환을 선도하는 Plastic Diet 국가대표 기관, 김해클리닉 (이성택 주무관, 김해시청)	(업데이트 예정)
13:40~14:00	지속 가능한 미래를 위한 'JPDC 환경가치 경영전략 및 성과' (양정환 차장, 제주특별자치도개발공사)	(업데이트 예정)
14:00~14:20	자원순환을 이끄는 LESS PLASTIC 전략 : 아모레퍼시픽의 친환경 패키징 사례' (이현희 부장, 아모레퍼시픽)	(업데이트 예정)
14:20~14:40	지속가능경영 전략과 자원순환 확대 (김원기 부장, 이마트)	(업데이트 예정)
14:40~15:00	COFFEE BREAK	
	Session A-3: Recyclable high-barrier 포장 소재의 혁신과 응용 (주관: 에버캡텍) 좌장: 윤찬석 박사, 에버캡텍	Session B-3: 식품용 기구 및 용기·포장 안전성 평가 (주관: 식품의약품안전평가원) 좌장: 최윤주 과장, 식품의약품안전평가원
15:00~15:20	국내 연포장재 재활용 정책 방향 (이재정 팀장, 한국포장재재활용사업공제조합)	우리나라 식품용 기구·용기·포장의 규제과학 연구 동향 (최시원 연구관, 식품의약품안전평가원)
15:20~15:40	고차단성 단일소재 포장재를 위한 배리어 기술과 사례 (조영진 박사, 한국식품연구원)	식품용 기구·용기·포장 안전성 평가 모델에 대한 개념적 접근 및 프레임워크 (김준태 교수, 경희대학교)
15:40~16:00	택배용 유통포장재 감량과 정책 동향 및 플라스틱백(PB) 포장의 합리적 규제 개선 방안 (오재영 박사, KCL) Recyclable high-barrier 포장 소재 개발 및 응용 방향 (윤찬석 박사, 에버캡텍)	한국형 식품용 기구·용기·포장 안전성 평가 모델 필요성 및 연구 방향 (최시내 대표, (주)케이앤에이)
16:00~16:10	BREAK	
	Session A-4: AI X Design Synergy : Packaging New Nomal (주관: 디자인융합분과) 좌장: 김나영 교수, 인하공업전문대학	Session B-4: 대한민국 패키징 기업의 현실과 미래 (주관: 연세패키징기술경영최고위과정 총동문회) 좌장: 김인수 대표, 가성팩
16:10~16:40	디자인 세상에 생성형 AI가 상상과 함께 다가왔다 (정순규 교수, 계명대학교)	(업데이트 예정)
16:40~17:10	생성형 AI 2년: 패키지 디자인 워크플로우는 어떻게 진화했나 (배수규 대표, 오세븐)	(업데이트 예정)
17:10~17:50	(사)한국포장학회 정기총회 (시라홀)	
18:00~20:00	만찬, 시상식, 장학금 수여식 (한라홀)	
		사회: 한재준 수석이사
		사회: 한재준 수석이사

※ 12/05 (FRI) 09:00~12:00

09:00~12:00		등록 (Registration)	
장소	한라홀	사라홀	
	Session C-1: 지속가능한 포장, 안전한 식품: 뉴노말을 위한 기술 전략 (주관: 식품분과)	Session D-1: 순환물류포장 (Returnable Transport Packaging) (주관: 로지스올)	
	좌장: 이지현 교수, 서울대학교	좌장: 김수현 박사, 로지스올	
09:00~09:20	Upcycled dietary fiber as functional food ingredients (김현정 교수, 제주대학교)	(업데이트 예정)	
09:20~09:40	Bacteriophage-Based Colorimetric Biosensors for On-Site Bacteria : Application to Food Packaging (최인영 교수, 경기대학교)	(업데이트 예정)	
09:40~10:00	Production of novel nanocellulose using subcritical water treatment and its application to food packaging system (도한솔 교수, 이화여자대학교)	(업데이트 예정)	
BREAK			
	Session C-2: 원료, 소재, 그리고 패키징 선택의 뉴노말 (주관: 한솔제지)	Session D-2: 에코 패키징 디자인 최적화 및 평가 시스템 개발 (주관: KCL 유통물류센터)	
	좌장: 백인걸 박사, 한솔제지	좌장: 오재영 박사, KCL	
10:10~10:30	(업데이트 예정) (***, 한솔제지)	에코시스템 디자인 데이터베이스 구축 및 프레임워크 개발 (문병근 수석, KCL)	
10:30~10:45	(업데이트 예정) (***, 무인양품)	물리적 재생 플라스틱의 식품 및 물류용기 적용 연구 (임미진 선임, KCL)	
10:45~11:00	(업데이트 예정)	기업에서 활용 가능한 AI기반 패키징 디자인 개발 프로세스 (김나영 교수, 인하공전)	
11:00~11:15	(업데이트 예정)	생성형 AI를 활용한 친환경 수송박스 디자인 폼팩터 생성 (류정우 이사, 어니컴)	
11:15~11:30	(업데이트 예정) (이진경 대표, 씨피알에스엔티)	Global Shifts Toward Sustainability: Trends in U.S. and International Packaging Legislation (노유래 교수, Michigan State University)	
폐회식 (Closing Ceremony)		사회: 한재준 수석이사	
11:30~12:00	경품추첨 / 단체사진 촬영 / 폐회사 (유하경 회장)		

3. 임원회의

3.1 임시총회

- ◎ 일 시 : 2025. 04. 23(수), 17시 10분~18시
- ◎ 장 소 : 킨텍스 제1전시장 212호
- ◎ 안 건 : 정관 개정 여부, 기타 안건 등

3.2 제 4차 정기 이사회

- ◎ 일 시 : 2025. 06. 20(금), 17~18시
- ◎ 장 소 : 토즈 강남컨퍼런스점 및 온라인(Zoom)
- ◎ 안 건 : 학술지 진행 사항, 춘계학술대회 결과보고, 25년 사업계획 및 예산(안), 기타 학회 발전 및 운영 방안 논의 등

3.3 제 5차 정기 이사회

- ◎ 일 시 : 2025. 07. 23(수), 17~18시
- ◎ 장 소 : 토즈 강남컨퍼런스점 및 온라인(Zoom)
- ◎ 안 건 : 학술지 진행 사항, 25년 사업계획 및 예산(안), 기타 학회 발전 및 운영 방안 논의 등

3.3 제 6차 정기 이사회

- ◎ 일 시 : 2025. 08. 19(화), 17~18시

◎ 장 소 : 토즈 강남컨퍼런스점 및 온라인(Zoom)

◎ 안 건 : 학술지 진행 사항, 25년 사업계획 및 예산(안), 기타 학회 발전 및 운영 방안 논의 등

4. 2025년 한국포장학회 법인회원

◎ 엔피씨(주), (주)세립, 주식회사 윌로그, (주)삼양패키징, 한솔제지(주), 태림페이퍼(주), 소프트팩 주식회사, 한국순환자원유통지원센터, 한국컨테이너폴(주), (주)한솔, (주)가성팩, 주식회사 진우아이앤피, 일진팩, 쿠라레트레이딩 주식회사

5. 포장학회 논문 투고안내

◎ 한국포장학회는 포장과학 및 기술에 관련된 다양한 주제를 다룬 연구논문, 연구노트, 총설 등의 논문을 심사를 거쳐 게재하고 있습니다. 논문투고는 학회 홈페이지(<https://www.kopast.or.kr>)의 [논문투고/온라인논문투고] 메뉴에서 업로드 하시면 가능합니다.

◎ 문 의

E-mail: kopast2021@gmail.com

Tel: 02)6257-9477



한국포장학회지

2025. 8 Vol. 31 No. 2

KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY