

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

한국연구재단 등재 학술지

# KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY

한국포장학회지

Vol. 31 No. 1  
2025. 4



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(㈜진우아이앤피)	
	박종민(부산대학교)	서종철(연세대학교)	손수경(백제예술대학교)	
	신준섭(용인예술과학대학교)	윤찬석(㈜에버캡텍)	정현모(경북과학기술대학교)	
	조영진(한국식품연구원)	하상도(중앙대학교)		
감사	민세철(서울여자대학교)	박상희(한국생산기술연구원)		
수석이사	한재준(고려대학교)			
총무이사	유승란(세계김치연구소)			
재무이사	주민정(한국건설생활환경시험연구원)			
편집이사	김기석(서울대학교)	김도원(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)	정성균(㈜아모레퍼시픽)	
	허준(한국식품산업클러스터진흥원)			
홍보이사	김길수(㈜경연전람)	김나영(인하공업전문대학)	김미연(㈜투유에이치앤비)	
	김재영(㈜네이처팜)	박주하(롯데중앙연구소)	이진경(㈜씨피알에스앤티)	
사업이사	강호상(㈜한국폴리네트론)	권대현(울촌화학)	권혁찬(한국순환자원유통지원센터)	
	김경원(㈜LG생활건강)	김금탑(㈜Dspack)	김연동(㈜BMTS)	
	김인수(㈜가성팩)	류진형(동조케미칼)	문병근(한국건설생활환경시험연구원)	
	박동일(㈜알앤에프케미칼)	박영철(한국중량물포장)	박정훈(㈜세름)	
	백소라(세종사이버대학교)	백인걸(한솔제지(주))	서도찬(로지스윌(주))	
	서원태(삼성전자(주))	안덕준(㈜SPC PACK)	유정권(팩티브코리아)	
	윤승일(핀테크그리티)	이보영(㈜네고팩)	이재정(한국포장재활용사업공제조합)	
	이정일(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)	박종훈(Toronto Metropolitan Univ. Canada)
		신종민(California Polytechnic State Univ. USA)	오상원(한솔제지, USA)	이의학(Michigan State Univ. USA)
<b>편집위원회</b>				
위원장	김준태(경희대학교)			
부위원장	김기석(서울대학교)	김도원(강릉원주대학교)	안덕순(경남대학교)	
	황성욱(계명대학교)			
편집의원 (가나다순)	강동호(한국생산기술연구원)	박수일(연세대학교)	박종민(부산대학교)	
	박태훈(한국재료연구원)	서종철(연세대학교)		

한국포장학회지 제31권 제1호

KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY  
Vol. 31. No.1, 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 4월 30일

**Published Date:** 2025. 4. 30.

**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 제1호

연구논문

2025년 4월

- 인공지능(AI) 기반 냉동시스템 제어를 통한 저온물류센터 에너지 효율화 방안 연구  
.....장경훈 · 오재영..... 1
- 포장재의 식품안전에 관한 최근 이슈 리뷰: 규제 동향 및 과학적 발견  
.....김미경..... 11
- 포장된 유기농 깻잎의 유통기한 연장을 위한 전처리 방법의 개발  
.....김효진 · 정문철 · 조영진..... 29
- 재생 종이펄프를 이용한 물의 상변화 지속시간 증가에 관한 연구  
.....박주영 · 박기태 · 서종철 · 최석 · 이창형..... 37
- A Short Review on Greenwashing: General Terms, Certifying Organizations and Emerging Technologies  
.....Aswathy Jayakumar, Jihyo Hwang, Sabarish Radoor, Gye Hwa Shin, and Jun Tae Kim..... 43
- 재활용 용이성 등급 평가 관점에서의 포장재 개선을 위한 대체 기술 분석 연구  
.....김한슬 · 권오준 · 이재정 · 주민정..... 53
- CA 컨테이너를 활용한 한국산 신선 농산물 품질 유지 효과  
.....한명수 · 이지현 · 김용진..... 65
- Bio-based Photopolymer Synthesis: Epoxidized Soybean Oil (ESO) Modified with Itaconic Acid  
and Vinyl Acetate  
.....Shinhee Choi, Gunhee Park, Nohjin Park, Taesung Choi, Sangwon Lim, and Su-il Park..... 77



# 한국포장학회지

KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY

Vol. 31, No. 1

Research Papers

April 2025

- A study on the Energy Efficiency Method of A Low Temperature Logistics Warehouse Through Controlling Chiller System Control based on Artificial Intelligence Algorithm  
 ..... Kyung Hoon Jang and Jae Young Oh ..... 1
- Review of Recent Issues in Food Safety of Packaging Materials: Regulatory Concerns and Scientific Findings  
 ..... MeeKyung Kim ..... 11
- Development of Pre-treatment Methods to Extend the Shelf life of Packaged Organic Perilla Leaves  
 .....Hyo-Jin Kim, Moon-Cheol Jeong, and Youngjin Cho..... 29
- Study on Increasing Phase Change Duration of Water Using recycled Paper Pulp  
 ..... Jooyoung Park, Kitae Park, Jongchul Seo, Seok Choi, and Changhyeong Lee ..... 37
- A Short Review on Greenwashing: General Terms, Certifying Organizations and Emerging Technologies  
 ..... Aswathy Jayakumar, Jihyo Hwang, Sabarish Radoor, Gye Hwa Shin, and Jun Tae Kim..... 43
- Analysis of Alternative Technologies for Packaging Improvement from the Perspective of Recyclability Grade Assessment  
 ..... Hanseul Kim, Ohjun Kwon, Jaejung Lee, and Minjung Joo ..... 53
- Effect of Controlled Atmosphere Containers on Maintaining the Quality of Fresh Korean Agricultural Products  
 .....Myung Soo Han, Jihyun Lee, and Yong Jin Kim..... 65
- Bio-based Photopolymer Synthesis: Epoxidized Soybean Oil (ESO) Modified with Itaconic Acid and Vinyl Acetate  
 Shinhee Choi, Gunhee Park, Nohjin Park, Taesung Choi, Sangwon Lim, and Su-il Park ..... 77

## 인공지능(AI) 기반 냉동시스템 제어를 통한 저온물류센터 에너지 효율화 방안 연구

장경훈 · 오재영\*

한국건설생활환경시험연구원

### A study on the Energy Efficiency Method of A Low Temperature Logistics Warehouse Through Controlling Chiller System Control based on Artificial Intelligence Algorithm

Kyung Hoon Jang and Jae Young Oh\*

*Korea Conformity Laboratories*

**Abstract** As the demand for cold chain logistics for the distribution of fresh food or medicine increased, the domestic cold chain logistics center increased rapidly. Due to the nature of managing low temperature, cold chain logistics requires a lot of energy consumption. In order to cope with the rise in global energy prices and carbon neutrality policies, the establishment of a platform for converting cold chain warehouses to energy efficiency and low energy consumption structures continues to be required. In this study, we focused on the energy efficiency of the refrigeration system with the largest energy load in the operation of the cold chain distribution center, and developed an energy management system operation model through two AI-based refrigeration system control algorithms for effective energy reduction; 1) 3 dimensional temperature mapping and unit-cooler control algorithm through AI learning; 2) AI based automatic defrosting algorithm. In order to verify the energy reduction effect of this control system, it was quantitatively analyzed through experiments in an area of 100? chamber; 1) By applying 3D temperature mapping and unit-cooler control algorithm, unit cooler power consumption is reduced by 19.8% (from 65.85 kWh to 51.97 kWh for 12 hours) ; 2) By applying AI-based automatic defrosting algorithm, 48% reduction in defrosting power consumption (from 532.2 kWh to 271.9 kWh for 24 hours). In the future, it is expected to contribute to reducing the national energy load and carbon neutrality by applying it to the actual cold chain distribution center.

**Keywords** Cold-chain warehouse, Low temperature logistics, Energy efficiency, Total energy solution, AI algorithm

## 서 론

최근 1~2인 가구 증가, 베이비붐 세대의 온라인 시장 진입 등 식품 시장 소비 트렌드가 변화하고 있다. 이러한 트렌드 변화는 온라인 쇼핑 증가로 연결되어 기존 오프라인에서 온라인 중심으로 유통체계가 전환되고 있다. 초기에는 가전 등 비교적 보관이 쉬운 제품 위주에서 현재는 냉장·냉동 온도 유지 기술을 적용한 콜드체인 유통 서비스를 통해 신선식품과 같이 보관과 배송이 어려운 제품영역까지 온

라인을 통해 구매할 수 있다. 반면에, 이러한 신선식품 및 가정간편식 등 콜드체인 유통 서비스의 원활한 운영을 위해서는 물류창고 및 냉동·냉장 탑차에서의 적정 온도관리 등 보관 및 수송의 영역에서 많은 에너지 소비를 유발하고 있다. 최근 언론보도에 따르면 한국전력의 부채 규모가 2024년 약 250조원에 육박하는 것으로 발표되고 있는데<sup>1)</sup>, 이를 국민 1인당 에너지 부채로 환산한다면 약 500만원(인)에 이를 것으로 추정된다. 글로벌 에너지 가격 상승과 탄소 중립 이행 등 어려운 외부 여건에 대응하여, 에너지 다소비 업종인 콜드체인 물류 서비스의 지속적 성장을 위해서는 에너지를 어떻게 절감시킬 수 있을지가 큰 관심의 대상이 되고 있다<sup>2)</sup>.

건물 부문의 경우 여러 정부 부처 및 각 시·도에서 다양한 정부 정책을 마련 추진하여 건물의 비효율적 요인을 개

\*Corresponding Author: Jae Young Oh  
Korea Conformity Laboratories, 199, 1st Gasan Digital Road, Gumcheon-gu, Seoul, 153-803 Korea  
Tel: +82-2-6912-2330  
E-mail: [jyoungo@kcl.re.kr](mailto:jyoungo@kcl.re.kr)

선하기 위한 에너지 절약시설 및 생산시설을 설치하고, 에너지 이용 효율을 향상시키는 사업이 활발히 진행되고 있다<sup>3)</sup>. 하지만, 에너지 다소비 업종 중 하나인 저온물류창고에 대한 에너지 수요관리 및 에너지 효율을 위한 효과적인 국가정책과 기술 표준은 부재한 상황이다. 또한, 저온물류창고의 경우, 콜드체인 산업의 성장 그리고 전기요금 인상 폭 증가에 따라 정온 유지를 위해 소모하는 에너지 및 운영비용이 매년 상승하고 있다. 산업통상자원부와 한국전력은 최근 산업용 전기요금을 2024년 10월부터 평균 9.7% 인상하는 것으로 발표했다. 대용량 고객 대상인 산업용(을) 전기요금은 1kWh당 165.8원에서 182.7원으로 10.2%, 중소기업이 주로 쓰는 산업용(갑)은 164.8원에서 173.3원으로 5.2% 상승한다. 이에 따라 산업용(을) 이용 대기업은 연평균 1억 1000만원 내외, 산업용(갑) 전기요금은 연간 평균 100만원 수준 증가할 것으로 예상된다. 한국전력공사 보고서에 따르면 전기요금 조정을 본격화한 2022년 이래 7번째 인상으로 해당 기간 인상 폭은 60%를 넘은 것으로 보고되고 있다. 이에 따라 물류센터 운영비용에서 전기요금이 차지하는 비중은 더욱 높아질 전망이다<sup>4)</sup>.

신선식품 온라인 주문·배송서비스 증가와 COVID19 감염병 확산 등에 따른 비대면 구매 증가로 '19~22년 국내 정온물류산업 인프라가 급격히 증가하였다. 국가 물류 통합 정보센터 자료<sup>5)</sup>에 따르면 식품위생법상 냉동·냉장창고로 신규 등록한 물류센터 개수는 2018년 35개에서 2022년 70개로 2배 이상 증가했다. 2022년 물류창고업 등록현황에 따르면 신규창고업으로 등록한 585개 중 70개가 냉동·냉장창고업으로 약 12%가 저온 창고로 보고되었다. 저온물류창고의 급격한 증가와 함께 에너지 다소비 업종으로 분류된 콜드체인 저온물류창고의 에너지 고효율화 및 에너지 저소비 구조로의 전환 플랫폼 구축이 지속해서 요구되고 있다.

우리나라의 에너지 자립도(Self-Sufficiency)는 불과 0.18% 수준으로 OECD 최하위 수준이며, 2008년 이후 우리나라의 연평균 에너지 수입의존도는 연평균 96.4%를 기록하고 있다. 에너지 수입의존도(Energy Dependence on Import)는 1차 에너지 공급 중 수입 에너지의 비중을 나타내는데 우리 경제가 대외 경제 여건, 에너지 국제 가격 변화 등에 받는 충격을 예측하는 지표로 활용된다. 우리나라는 1차 에너지 공급 중 평균적으로 97%를 수입에 의존하고 있어 에너지 수급 불안이나 가격 급등 등 충격에 사실상 무방비로 노출되어 있는 실정이다<sup>5, 6)</sup>.

물류 시설에는 단순 보관기능부터, 컨베이어, 자동분류기, 수직반송기, 조명, HVAC 시스템 등 하나의 시스템으로 시설이 운영되고 있다. 특히 물류 시설이 지능화·자동화가 진행되면서 물류 시설의 에너지 소비량은 점점 증가하고 있다<sup>7)</sup>. Table 1에 나타난 바와 같이 냉동창고의 에너지 사용량을 타 용도 건물군과 비교했을 때 냉동시설이 아파트, 학

**Table 1.** Average annual energy usage per unit area by building use<sup>8)</sup>

Building classification		Average annual energy usage per floor area (kWh/m <sup>2</sup> )
School		150.2
Research Institute		471.7
Hotel		340.0
Hospital		423.0
Communication		1,071.3
Apartment		126.2
etc		257.0
Logistics warehouse	Frozen	828.9
	Refrigeration	473.6
	Ambient	176.0

교시설, 호텔보다 각각 558%, 452%, 144% 높은 것으로 나타났다. 저온물류창고의 규모 및 사용량에 따라 에너지 소비량은 상이하지만, 최민호 등<sup>8)</sup>에 따르면 에너지 사용량을 구분해서 관리하는 설비 중에서 내·외부 조명이 차지하는 전력 사용 비중 52.8%, 냉동기의 전력 사용 비중 43.9%로 나타났다. 저온물류창고의 경우 에너지 사용량 중 전기 사용이 전체 비중에서 차지하는 비중이 매우 높은 편이며, 판매관리비의 약 10%, 매출액의 약 9%를 전기사용료로 납부할 정도로 비용 면에서 큰 부분을 차지하고 있다. 전기를 많이 사용하는 철강이나 제강사의 경우 매출액 대비 전기료 비중이 5~7% 수준인 것을 감안하면 냉동 및 냉장창고의 전기료 절감을 위한 노력의 필요성이 높다.

따라서, 상기와 같은 이유로 콜드체인 시장 확대에 따라 관련 업계 및 연구자들은 에너지 절감 및 고효율 제품 개발과 같이 에너지 효율화와 관련된 기술개발에 집중하고 있다. 저온물류창고 에너지 효율화 및 개선을 위해서는 3가지 카테고리 분류를 통한 기술적 검토가 필요하다. 첫째 저온물류창고에서 에너지 소비가 가장 큰 조명과 냉장·냉동 공조설비(HVAC) 운영 효율화, 둘째 태양광 패널과 같은 재생 에너지원 및 ESS 충/방전 스케줄 조정을 통한 전력 품질 개선과 피크 부하 저감, 셋째 스마트 센서와 IoT(사물인터넷) 기술, 빅데이터 기반 AI 기술을 활용한 에너지 사용량 실시간 모니터링 및 에너지 최적화 솔루션 적용으로 물류창고가 환경에 미치는 영향을 최소화는 동시에 최고의 에너지 효율로 저온물류창고 운영이 가능하다.

본 연구에서는 저온물류센터 운영에서 에너지 부하량이 가장 큰 냉동시스템의 에너지 효율화에 중점을 두고, 두 가지 AI 기반 냉동시스템 제어 알고리즘(AI 학습을 통한 3D 온도맵핑 및 unit-cooler 제어 알고리즘 / AI 기반 자동 제상 알고리즘)을 통한 에너지관리시스템 운영 모델을 개발하였고, 면적 100 m<sup>2</sup> (30평) 냉장·내동실(room)에 AI 기반 냉동시스템 제어를 통한 물류창고 에너지 효율 및 절감

효과를 실험을 통해 정량적으로 분석하였다. 본 연구의 결과는 향후 저온물류창고 에너지 효율화 기술개발 및 표준, 가이드라인 전략을 수립하는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

## 재료 및 방법

### 1. 에너지 저감 실험을 위한 저온물류창고 파일럿(Pilot) 테스트 베드 구성

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 실험을 위해 건축면적 약 330 m<sup>2</sup> (100평) 규모의 저온물류창고 파일럿 실증 모델을 구축하였고, 실층에는 1개의 전실과 2개의 냉장·냉동실, 2층에는 시스템 운영 및 종합관제실, 3층에는 재생에너지 및 에너지 공급설비(PV+ESS+UPS)를 설치하여 구성하였다. 에너지 절감량을 비교하기 위하여 냉장 냉동시스템 제어는 수동 및 자동 운전이 가능하게 하여, 독립적 운전 또는 인공지능 기반 에너지관리시스템과의 연계가 가능하도록 설계하였다. 본 논문에서는 구축한 저온물류창고 파일럿 실증 모델에서 냉동시스템을 대상으로 에너지 절감 실험을 진행하였다.

### 2. 적용된 인공지능(AI)기반 제어 알고리즘

저온물류창고 에너지 고효율화 및 저감을 위해 적용된 AI 알고리즘 기술은 Table 2에 나타낸 바와 같이 두 종류

의 알고리즘을 개발하여 사용하였다.

① AI 학습을 통한 Unit-cooler 제어 알고리즘: 냉동·냉장기 에너지 소비 절감을 위한 목적으로 다중 온도센서 기반 실시간 3차원 체적 온도분포 맵핑 알고리즘을 통한 Unit-cooler 제어 알고리즘

② AI 기반 자동 제상 알고리즘: 냉동·냉장기 에너지 소비 절감을 위한 목적으로 Unit-cooler 내 열교환기 서리 착상에 따른 온도 변화 양상을 추적하고, 제상이 필요한 시점을 자동으로 감지하여 제상 운전 수행 여부를 실시간 판단하는 알고리즘

#### 2.1. AI 기반 Unit-cooler 제어 알고리즘

대부분의 냉동·냉장 창고는 설정 온도를 일정하게 유지하며, ± 1~2°C 제어 편차가 있는 상태로 운영된다. 냉동창고의 온도 편차는 관리자의 주관적 경험과 숙련도에 따라 큰 변화 폭을 갖게 되며, 관리자에 따라 냉동기의 동작·운영 및 온도관리 방법이 달라진다. 해당 문제를 해결하기 위해 실시간 데이터값에 따라 제어 규칙을 생성하는 규칙 기반 알고리즘을 개발하였다. 적용한 AI 제어 알고리즘은 Deep-deterministic policy gradient(DDPG)이며, 냉동창고 온도 환경을 제어하기 위해 다양한 외부 조건이 주어졌을 때 냉동창고의 목표 온도를 유지하면서 에너지 소비를 최소화하

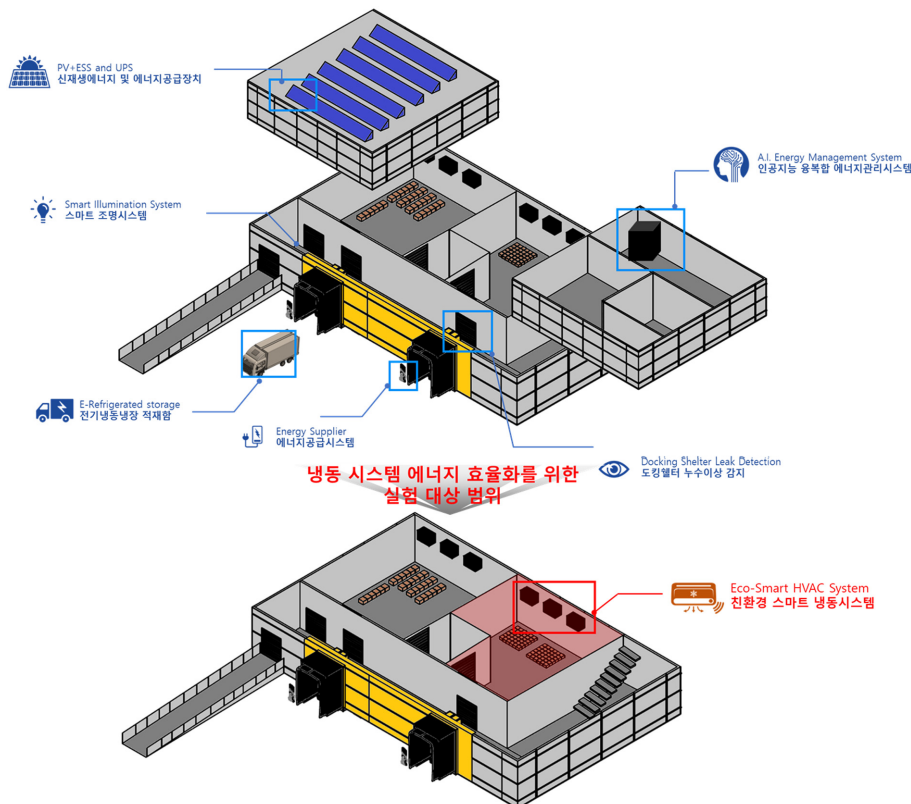
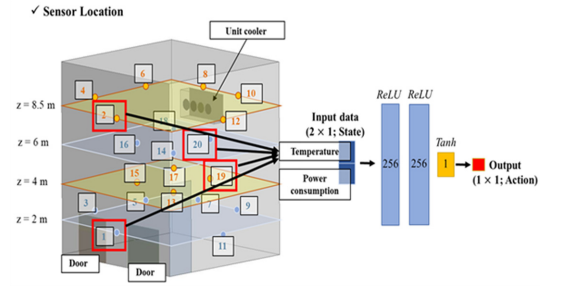
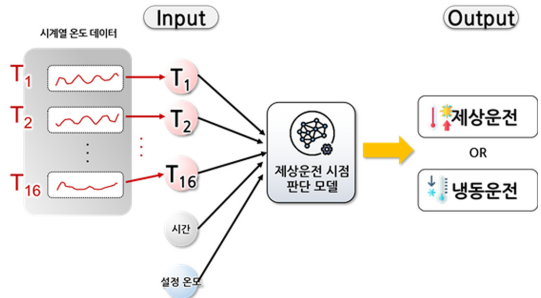


Fig. 1. Pilot Test Bed for Cold Chain Logistics Warehouse for Energy Reduction Experiments.

**Table 2.** Development Algorithm for Energy Efficiency in Cold Chain Logistics Warehouse

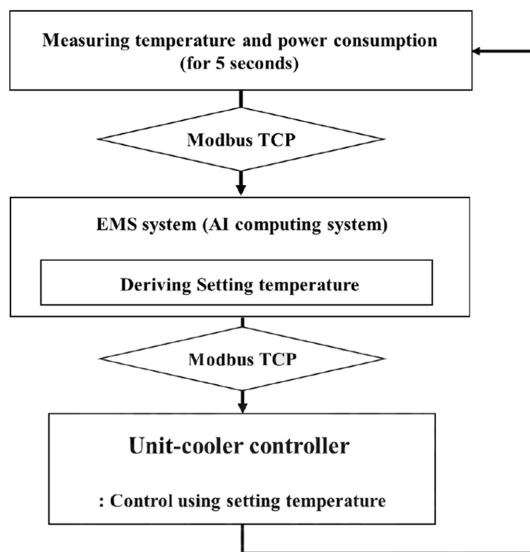
Div.	1) 3 dimensional temperature mapping and unit-cooler control algorithm through AI learning	2) AI based automatic defrosting algorithm
Goal	Reducing Refrigeration Energy by AI-based Unit-Cooler Control	Refrigerator energy saving by AI-based automatic defrosting operation algorithm
Concep	Unit-cooler control algorithm based on multi-temperature sensor based real-time 3D volume temperature distribution mapping algorithm	An algorithm that tracks temperature changes due to frost formation in the heat exchange in the unit cooler and automatically detects when defrosting is needed to determine whether defrosting is performed
	 <p>Location of temperature sensor installation in freezer for unit-cooler control algorithm implementation</p>	 <p>Operation logic of AI-based automatic defrosting algorithm for refrigerator energy saving</p>

는 방식으로 개발하였다<sup>10)</sup>. 해당 알고리즘 제어 전략을 사용하면 냉동창고 제어 상황에 맞게 설정된 온도에 따라 냉매 흐름을 조절하여 정밀한 온도 관리가 가능하다.

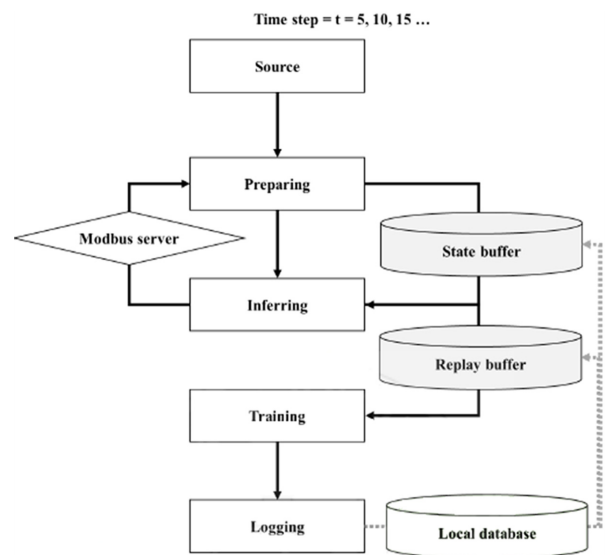
Fig. 2는 개발된 알고리즘의 Frame work를 나타낸다. 디지털 전력량계를 Unit-cooler에 설치해서 소비되는 전력량을 실시간 모니터링하고, Modbus TCP 통신을 통해 실시간 전력 값과 온도 측정값을 AI 서버로 전송한다. 전송된 측정값은 제어 알고리즘의 입력으로 사용해 Unit-cooler의 설정 온도를 출력으로 도출한다. 도출된 출력값을 중앙 서

버에서 매개변수로 넘겨받고 단위 unit-cooler 제어 패널로 전달하여 Unit-cooler의 동작을 실시간 제어하였다.

Fig. 3은 DDPG 알고리즘의 workflow를 나타낸다. 개발된 DDPG 알고리즘은 5초 간격으로 전력량과 온도 데이터를 Input으로 받고, 입력된 데이터를 알고리즘 모델에 알맞은 형태로 변환하는 re-scale 과정을 거친다. 이렇게 re-scale된 데이터는 AI 학습에 필요한 데이터 저장소 역할을 하는 리플레이 버퍼에 저장되고, 학습과 추론을 위한 데이터로 최종 활용되게 된다.



**Fig. 2.** Frame work of the continuous-DDPG algorithm for unit-cooler control algorithm; amended from ref. 9.



**Fig. 3.** Workflow of the continuous-DDPG algorithm; amended from ref. 9.

2.2. AI 기반 자동 제상 알고리즘

기존 저온물류창고의 냉동·냉장창고는 유닛쿨러 열교환기의 서리 착상 제거를 위해 주기 제상 방식을 채택하여 사용하고 있으며, 통상적으로 냉장 3~5회/일, 냉동 6~8회/일, 제상 시간 약 15분으로 진행하고 있다. AI 기반 자동 제상 알고리즘은 불필요한 제상으로 소모되는 전기에너지를 최소화하기 위해 AI 기반 제상 시점 판정 및 운전 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 사용된 알고리즘은 크게 온도 데이터의 시간적 특성을 파악하기 위한 특징 추출부와 파악한 특성을 바탕으로 제상 운전 여부를 판단하는 최종 판단부로 구성하였다. Fig. 4와 같이 특징 추출부는 시계열 데이터 분석에 적합한 Long short-term memory(LSTM) layer로 구성하였고, 최종 판단부는 Fully connected neural network(FCNN)로 layer를 구성하여 개발하였다. FCNN의 경우, 입력 데이터의 모든 feature를 활용해 복잡한 패턴을 학습하고 예측하는데 효과적인 신경망 구조이며, 특히 열교환기에 부착된 복수 개의 온도센서 값을 사전 학습하고 실시간 예측 작업을 수행하는데 가장 적합하여 최종 선정하였다.

AI 제상 운전 알고리즘의 학습 과정에서 특성 간 스케일

차이에 따른 수치 불안정성 문제를 해결하기 위해 Fig. 5와 같이 열교환기 Fin 간극 유동 온도, 냉동기 운전 설정 온도, 제상 운전 여부 데이터에 대한 scaling을 수행하고, 각 parameter 데이터는 0에서 1 사이의 값으로 변환시켰다. 이후 Scaling 된 Dataset 은 window sliding을 통해 작은 조각의 dataset으로 다시 분류하였고, 해당 과정을 통해 AI 알고리즘이 열교환기 Fin 간극 유동 온도 변화를 실시간으로 분석 가능하게 하였으며, 동시에 분석에 필요한 컴퓨터 리소스를 효율적으로 사용할 수 있도록 구성하였다. 알고리즘 학습 시, 모델 과적합을 방지하기 위해 learning Dataset와 validation Dataset 로 분리하였으며, 비율은 일반적으로 많이 사용하는 8:2 비율로 설정하여 dataset을 구성하였다.

3. 실험방법 및 환경 조건

개발된 알고리즘 검증은 Pilot 실증 모델에서 진행하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 시험실 내 설치된 총 3개의 Unit-cooler 중 소비 전력이 가장 큰 메인 Unit-cooler를 대상으로 알고리즘 기술 적용에 따른 에너지 절감량을 산출하였다. AI 기반 Unit-cooler 제어 알고리즘 검증을 위해 시험실 내부에 복수 개의 온도센서를 등간격으로 높이(2, 4, 6,

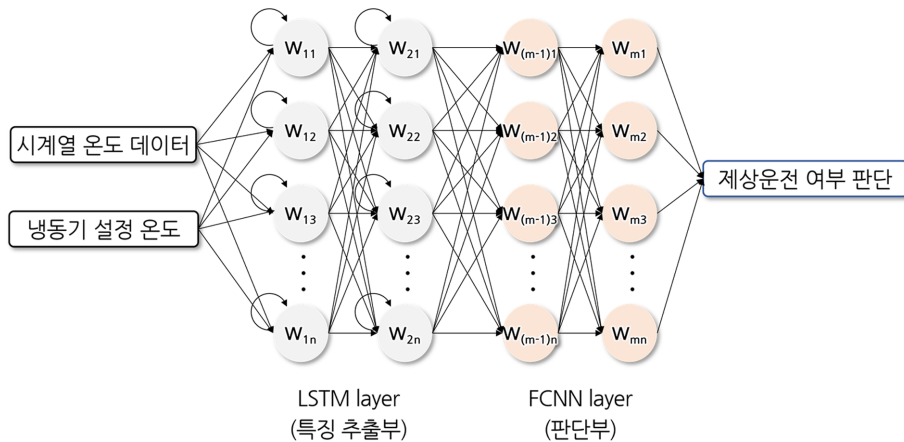


Fig. 4. Model architecture of AI-based automatic defrosting algorithm.

t1	t2	t3	...	t14	t15	t16	t_target	defrost
-23.5	-22.7	-22.4	...	-22.6	-22.6	-20.2	-20	0
-23.5	-22.7	-22.4	...	-22.7	-22.7	-20.2	-20	0
-22.8	-21.9	-21.4	...	-21.9	-21.9	-19.5	-20	0
-22.8	-21.8	-21.3	...	-21.8	-21.8	-19.4	-20	0
-23.2	-21.9	-21.4	...	-22.0	-22.0	-19.6	-20	1
-23.8	-22.6	-22.3	...	-22.7	-22.7	-20.5	-20	1
-23	-22.1	-21.9	...	-22.2	-22.2	-19.8	-20	1
-22.4	-21.6	-21.5	...	-21.7	-21.7	-19	-20	1
-21.8	-20.9	-20.9	...	-21.1	-21.1	-18.2	-20	1
-21.2	-20.4	-20.5	...	-20.6	-20.6	-17.6	-20	1
-20.8	-20	-20.1	...	-20.2	-20.2	-17	-20	1

Scaling

t1	t2	t3	...	t14	t15	t16	t_target	defrost
0.00	0.00	0.00	...	0.06	0.06	0.06	0	0
0.00	0.07	0.04	...	0.05	0.05	0.05	0	0
0.04	0.07	0.09	...	0.07	0.07	0.07	0	0
0.11	0.15	0.22	...	0.17	0.17	0.16	0	0
0.11	0.15	0.22	...	0.17	0.17	0.16	0	1
0.15	0.19	0.22	...	0.19	0.19	0.19	0	1
0.19	0.26	0.30	...	0.26	0.26	0.26	0	1
0.41	0.41	0.39	...	0.40	0.40	0.40	0	1
0.63	0.67	0.65	...	0.65	0.65	0.65	0	1
0.85	0.85	0.83	...	0.84	0.84	0.84	0	1
1.00	1.00	1.00	...	1.00	1.00	1.00	0	1

Fig. 5. Scaling process for data-set configuration.

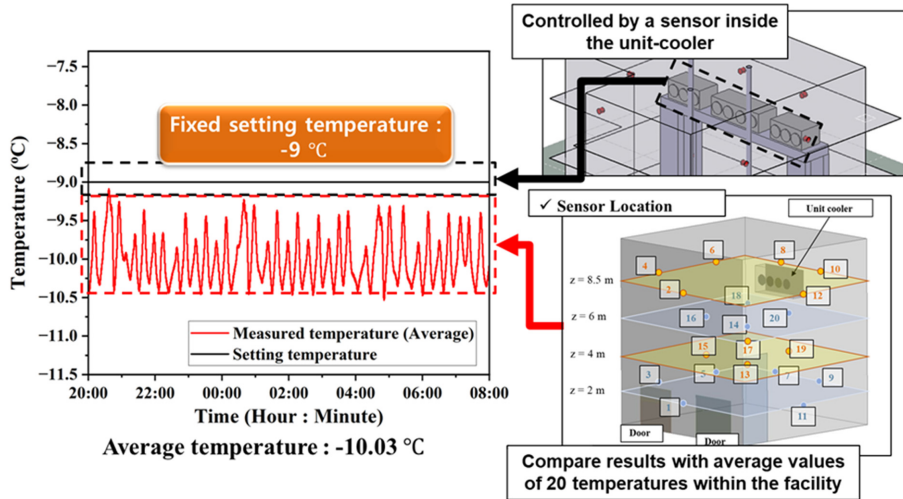


Fig. 6. Test configuration for AI-based unit-cooler control algorithm verification.

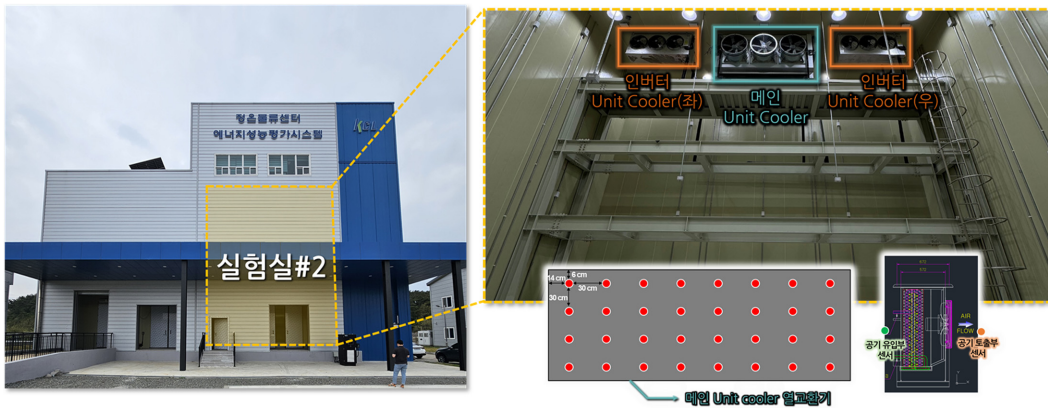


Fig. 7. Pilot test bed & temperature sensor attached to main unit-cooler heat exchanger for experiments.

8.5 m)에 따라 설치하여 3차원 온도분포를 계산하였으며, 해당 결과를 기반으로 메인 Unit-cooler를 제어하였다(Fig. 6 참조). 알고리즘 적용에 따른 에너지 효율 전/후 비교를 위해 기존 제어 방식은 설정 온도를  $-10^{\circ}\text{C}$ 로 고정하여 12시간 운전하였으며, 알고리즘 적용 시에는 타겟 온도  $-9^{\circ}\text{C}$  설정 후 12시간 운전하여 기존방식과 소비 전력을 비교하였다. Fig. 7에 나타난 바와 같이 알고리즘 적용 시에는 타겟 온도를  $-9^{\circ}\text{C}$ 로 설정해야 평균 온도가  $-10^{\circ}\text{C}$ 가 됨을 확인할 수 있다.

Fig. 7과 같이 AI 자동 제상 운전 알고리즘 구현을 위해 메인 Unit-cooler 열교환기에 총 32개의 온도센서를 설치하여 제어 및 모니터링을 진행하였다. 열교환기에 서리 착상을 극대화하기 위해  $-20^{\circ}\text{C}$  고내온도 조건에서 시험을 진행하였고, 제상 운전 주기(평균), 열교환기 온도, 소비 전력의 변화를 기존방식과 비교하였다. 제상 운전 알고리즘 적용에 따른 에너지 효율 전/후 비교를 위해 주기 제상(4시간 간격) 시 소비하는 전력량과 알고리즘 적용 시 전력량을 비교하였다.

#### 4. 시험 결과

##### 4.1. AI 기반 Unit-cooler 제어 알고리즘

알고리즘 기술 검증을 위한 시험은 총 12시간 진행했으며, 12시간 동안 소비된 총 전력량은 81.48 kWh로 확인하였다. 제상 주기는 4시간마다 설정하여 12시간 동안 총 3번의 제상 운전이 실행되도록 하였다. Fig. 8에서 Red line은 제상 운전 시 소비되는 소비 전력량을 나타내고, Black line은 Unit-cooler와 제상 시 소비되는 전력량의 합계를 의미한다. 본 연구에서 진행한 시험에서는 제상 주기 동안 Unit cooler의 fan이 동작하지 않기 때문에 온도 제어를 통한 Unit-cooler 제어는 불가능하다. 따라서, 제상 운전 시에는 설정 온도 제어를 통한 Unit-cooler 제어 결과로 판단하지 않기 때문에 제상 상태에서 소비된 전력량은 최종 소비 전력에서 제외하였다. 상위와 같은 이유로 제상 상태에서의 소비 전력량을 제외하면 총 64.85 kWh이며, 해당 값을 기존 제어를 통한 소비 전력량으로 정의하고 AI 제어 결과와 비교하였다.

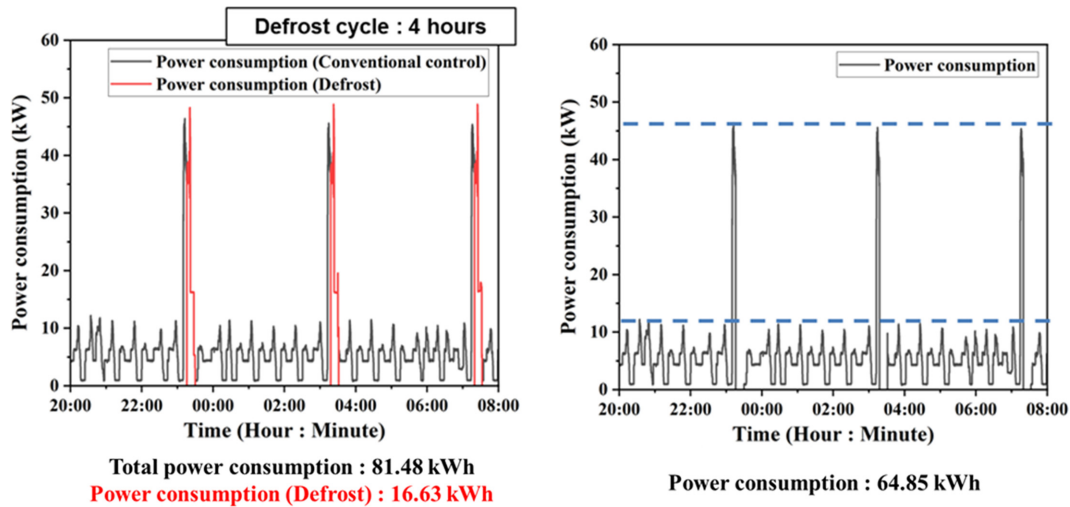


Fig. 8. (left) Power consumption including unit-cooler operation and defrost process and (right) power consumption with constant set-temperature control algorithm, except during defrost.

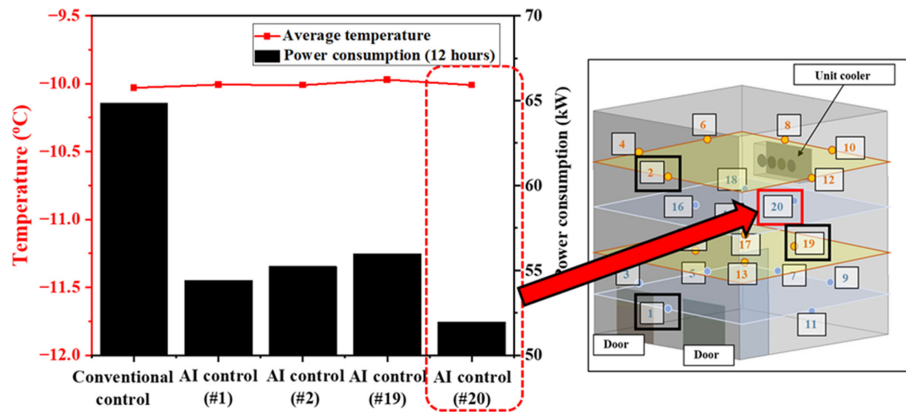


Fig. 9. Conventional Unit-cooler control method vs. Unit-cooler control method based on AI DDPG algorithm.

냉동창고 내 설치된 복수 개의 온도센서 중 20번 센서를 알고리즘의 Input으로 사용해 학습한 경우, 평균 고내 온도는  $-10.01^{\circ}\text{C}$ , 총 소비 전력량은  $51.97\text{ kWh}$ 로 나타났다. 기존 제어와 AI 제어 결과를 비교한 결과 모든 결과에서 비슷한 평균 고내온도를 보였지만, 그중에서 20번 센서를 Input으로 사용해 알고리즘을 구동한 경우가 가장 높은 에너지 절감 효과(19.8%)를 나타냈다(Fig. 9 참조). 센서 20번의 경우 unit-cooler에 가장 가깝게 위치한 센서이며, 제상 운전에 따른 unit-cooler on/off시 온도 변화에 가장 민감하게 동작·반응하여 다른 위치에 있는 센서보다 에너지 효율 향상에 큰 영향을 미친 것으로 판단하였다.

#### 4.2. AI 기반 자동 제상 알고리즘

시험 결과 Unit cooler의 냉동 운전 시 평균 소비 전력은  $11.3\text{ kWh}$ 이며, 1회 제상 운전(20분) 시 소비되는 평균 전력은  $48\text{ kWh}$ 로 확인하였으며, 기존 주기 제상 운전 조건

(제상 주기 4시간)에 따른 24시간 소비 전력은  $532.2\text{ kWh}$ 로 확인하였다. 반면 AI 자동 제상 운전 알고리즘 적용 시 제상 운전 주기는 72시간으로 증가하였고, 그에 따라 24시간 동안 제상 운전은 1회도 동작하지 않았다. 해당 결과 동일 조건에서 소비하는 전력은  $271.9\text{ kWh}$ 로 48%의 에너지 절감이 가능함을 확인하였다.

열교환기 표면에 형성되는 서리 착상 초기에는 서리층 두께가 얇게 형성되어 Fin 표면온도의 영향을 크게 받지만, 시간이 경과하고, 서리층 두께 성장이 가속화될수록 열저항이 증가하여 Unit cooler 열교환기에 급격한 온도 변화가 관측된다<sup>10,11)</sup>. 반면 Fig. 10-11과 같이 시험에 사용된 Unit cooler 열교환기의 경우 급격한 온도 변화는 관측되지 않았다. 해당 결과는 열교환기 표면 서리층 두께가 충분히 성장하지 않았음에도 불구하고 제상이 이루어지고 있다는 의미이며, 불필요한 제상 운전으로 과도한 에너지 소비가 진행되고 있음을 의미한다. AI 자동 제상 운전 알고리즘 적용

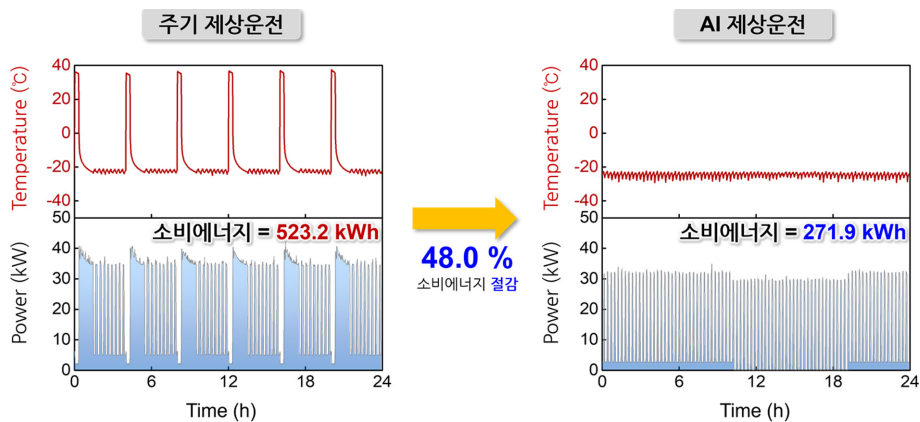


Fig. 10. Energy saving effect by applying AI automatic defrosting operation algorithm.

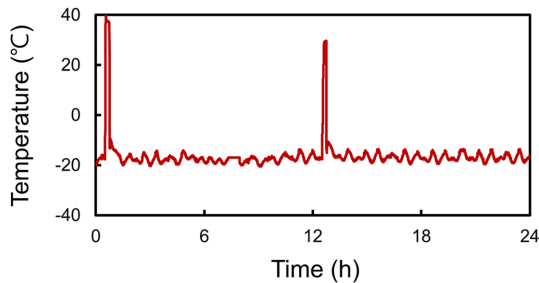


Fig. 11. Temperature change result of the unit cooler heat exchanger during periodic defrosting operation.

시 열교환기 표면에 설치된 온도 값을 Input으로 받고 제상 시점을 판정함으로써 불필요한 제상 운전 횟수를 감소시킴에 따라 에너지 절감이 가능함을 저온물류창고 Pilot 실증 모델을 기반으로 확인하였다.

## 결론

본 연구는 Pilot 실증 모델을 기반으로 저온물류창고 냉동기 전력 효율을 향상시키기 위해 2종 알고리즘(① AI 및 3D 온도맵핑 기반 유닛쿨러 제어 알고리즘, ② AI 자동 제상 운전 알고리즘)을 개발하여 기존 물류창고에서 운영하는 방식과 개발 기술 적용에 따른 소비 전력량을 비교 분석하였다.

AI 기반 Unit-cooler 제어 알고리즘 적용에 따른 시험 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 서로 다른 위치에 설치된 온도센서 중 어느 센서를 기준으로 학습하는지에 따라 에너지 절감률이 상이하였으며, 본 연구에서는 Unit cooler와 인접한 곳에 설치한 온도센서를 기준으로 할 경우 최적의 에너지 효율을 얻을 수 있었다.
- 제상으로 소비되는 전력량을 제외하고  $-10^{\circ}\text{C}$  운전 조건에서, 기술 적용 시 총 19.8%(기존 65.85 kWh, 기술

적용 시 51.97 kWh)의 에너지 절감 효과를 확인하였다. AI 자동 제상 운전 알고리즘 적용에 따른 시험 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 기존 물류창고의 제상 운전 방식은 주기 제상이며, 제상 6회일을 기존 물류창고의 운영 방식으로 하여 비교하였다.
- 기술 적용 시 제상 운전 주기는 72시간으로 증가하였고, 그에 따라 24시간 동안 제상 운전은 1회도 진행하지 않았다.
- 최종 결과 기존 주기 제상 운전 방식 대비 총 48%(기존 532.2 kWh, 기술 적용 시 271.9 kWh)의 에너지 절감이 가능함을 확인하였다.

본 연구를 통해 얻은 결과는 단시간(12~24시간) 결과 데이터이므로 추후 개발 기술의 신뢰성 확보를 위해 장시간 시험 및 실제 운영 중인 물류창고를 대상으로 기술 적용에 따른 에너지 절감 효과를 검토가 필요하며, 이를 통해 에너지 다소비 업종인 콜드체인 물류 서비스의 에너지 저감은 물론 국가 에너지 부하 저감 및 탄소중립에도 기여할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 에너지수요관리핵심기술개발사업(과제번호 : 2021202080090)에 의하여 수행되었음.

## 참고문헌

1. 조선일보, 250조 '부채 늪' 한전·가스, 작년 이자 비용만 6조, 2024.03.04.
2. 투데이에너지 보도자료, 창간특집 냉장·냉동 시스템, 에너지 소비 줄여야, 2024.
3. 박기현, "대학 캠퍼스 건물의 에너지 효율개선 방안 연구", 에너지경제연구원 연구 보고서, 2015.
4. Lian Cui, Young-Joo Kim, Cheolsun Kim., "Estimation Model of Electric Energy Consumption on Logistics Center Based

- on Thermodynamics Theory”, *Journal of the Korea Academia-Industrial*, 2015.
5. 국가물류통합정보센터, “연도별 물류창고업등록현황 정보”, 2023, <https://www.nlic.go.kr/nlic/fmComplex0010.action>.
  6. 에너지경제연구원, “KEEI 2024년 에너지수요전망”, 제25권 제2호, 2024.
  7. 한국철도기술연구원, “에너지 절감형 물류시설 기술개발 기획연구”, 국토해양부 한국건설교통기술평가원, 2012.
  8. 최민호, 이태동, 김창규, “에너지관리시스템: 물류센터 적용을 중심으로”, 대한설비공학회 제 46권 제7호, pp.14-19, 2017.
  9. Jong-Whi Park, “Continuous Deep Deterministic Policy Gradient-Based Control Algorithm for Energy-Efficient Cold Storage”, Thesis for Doctor of Philosophy, Hanyang Univ., 2024.
  10. K.S. Lee, “What is Frost Formation”, 공기조화 냉동공학 제 24회, 1995.
  11. K.S. Lee, “열교환기 환에서의 서리층 두께와 서리층 표면온도의 실험 상관식”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 798-803, 2009.
- 투고: 2024.11.28 / 심사완료: 2024.12.13 / 게재확정: 2024.12.19



## 포장재의 식품안전에 관한 최근 이슈 리뷰: 규제 동향 및 과학적 발견

김미경\*

대한민국 친환경 패키징 포럼위원회

### Review of Recent Issues in Food Safety of Packaging Materials: Regulatory Concerns and Scientific Findings

MeeKyung Kim\*

*Korea Sustainable Packaging Forum Committee*

**Abstract** The food packaging industry plays a critical role in ensuring food safety, extending shelf life, and enhancing convenience. However, as the industry has developed, concerns have emerged regarding the safety of packaging materials and their impact on human health. This has led to scientific investigations and regulatory actions, particularly concerning the migration of chemicals from packaging into food. New materials like biodegradable plastics and nanomaterials have introduced additional complexity, raising questions about their long-term safety and the environmental impact. Regulatory bodies worldwide have established frameworks to reduce health risks, but challenges remain due to regional differences in regulations and emerging technologies. Key safety concerns include the migration of harmful chemicals like bisphenol A (BPA), phthalates, and polyvinyl chloride (PVC) from packaging to food, as well as the potential ingestion of microplastics. Major countries, including the EU, the US, and Korea, have strengthened regulations to control these risks, focusing on harmful substances and promote environmentally friendly packaging options. Scientific research has played a critical role in understanding the mechanisms of chemical migration and the health effects of these substances, particularly their impact on the endocrine system and absorption by the human body. This paper explores six key areas of food packaging safety, reviews the trends in regulations and scientific studies addressing these ongoing concerns.

**Keywords** Food packaging, Chemical migration, Regulatory standards, Human health impact, Safety

## 서론

식품 포장산업은 식품을 외부 오염물질로부터 보호하고, 유통기한을 연장하며, 편의성을 제공하는 중요한 역할을 한다. 그러나 식품 산업이 발전함에 따라 사용되는 포장재의 안전성과 인체 건강에 대한 잠재적 영향에 대한 검토가 증가하고 있다. 지난 수십 년 동안 포장재에서 식품으로의 화학물질 이행에 대한 우려로 인해 과학적 조사와 규제 조치가 촉발되었다. 생분해성 플라스틱, 나노재료 등 새로운 포장재의 인기가 높아짐에 따라, 이러한 재료들의 장기적인 안전성과 환경에 미치는 영향에 대한 의문이 제기되면서 상황은 더욱 복잡해졌다<sup>1,2)</sup>. 이러한 우려를 반영하여 전 세계

규제 기관에서는 식품 포장재가 건강에 위험을 초래하지 않도록 다양한 규제 체계를 마련하였다. 그러나 지역별로 다른 규정과 새로운 포장 기술의 등장으로 인해 포장재에 대한 일관되고 안전한 기준을 유지하는 것이 점점 더 어려워지고 있다.

식품 포장재의 안전성 문제는 크게 두 가지 주요 이슈로 나뉜다. 첫째, 포장재에서 나오는 화학물질의 이행이다. 비스페놀 A(BPA), 프탈레이트, 폴리염화비닐(PVC) 등의 유해물질이 포함될 수 있으며, 이러한 물질들은 식품과 접촉을 통해 인체에 흡수될 수 있다<sup>3,4)</sup>. 둘째, 미세플라스틱의 문제이다. 포장재에서 유래한 미세플라스틱이 식품에 섞여 소비될 수 있어 건강에 미치는 위험이 커지고 있다<sup>5)</sup>.

식품 포장재의 안전성을 보장하기 위한 규제는 국가마다 상이하지만, 주요 국가들에서는 포장재에 대한 규제를 강화하고 있다. 예를 들어, 유럽연합(European Union, EU)은 유럽위원회(European Commission, EC)와 유럽식품안전청

\*Corresponding Author: MeeKyung Kim  
Korea Sustainable Packaging Forum Committee. Seoul, Korea  
Tel: +82-10-3293-0239  
E-mail: jadekim12@gmail.com

(European Food Safety Authority, EFSA)에서 식품과의 접촉에 관한 규정(EC Regulation No 1935/2004)을 통해 포장재에서 이행되는 물질의 안전성 기준을 설정하고<sup>6)</sup>, 미국(United States, US)은 식품의약품청(FDA)이 식품의약품화장품법(Food, Drug, and Cosmetic Act, FDCA)에 근거하여 포장재에 포함된 화학물질의 안전성을 평가하고 있다<sup>7)</sup>. 한국(Republic of Korea)은 식품의약품안전처(Ministry of Food and Drug Safety, MFDS)에서 식품위생법, 식품첨가물의 기준 및 규격, 기구 및 용기·포장의 기준 및 규격 등을 통해 포장재에 포함된 화학물질에 대한 규제를 시행하고 있으며<sup>8)</sup>, 특히 BPA와 프탈레이트 등의 유해물질에 대한 규제가 엄격히 적용되고 있다. 최근에는 여러나라에서 포장재 재활용률을 높이고, 환경을 고려한 포장재 사용을 유도하기 위한 법적 요구사항이 증가하고 있다.

과학적 연구는 식품 포장재의 안전성을 평가하는 데 중요한 역할을 한다. 최근 연구들은 포장재에서 나오는 화학물질의 이행 메커니즘과 이를 평가하는 방법을 중심으로 진행되고 있다. 또한, 유해물질의 인체 흡수 및 건강에 미치는 영향을 평가하는 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 예를 들어, BPA가 호르몬에 미치는 영향, 프탈레이트의 내분비계 교란 효과 등에 관한 연구가 많이 진행되고 있다<sup>4)</sup>. 미세플라스틱이 인체에 미치는 영향에 관한 연구도 급증하고 있다. 연구자들은 포장재에서 유래한 미세플라스틱이 식품을 통해 체내에 흡수될 가능성과 그로 인한 건강 영향을 조사하고 있다<sup>9)</sup>.

식품 포장재의 안전성 문제는 지속해서 중요한 사회적 문제로 대두되고 있으며, 이를 해결하기 위한 규제와 과학적 연구가 강화되고 있다. 각국의 규제는 점차 엄격해지고 있으며, 과학적 연구는 포장재에 포함된 화학물질의 안전성을 평가하고 인체에 미치는 영향을 규명하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 앞으로도 포장재의 안전성에 관한 연구와 규제가 더욱 발전할 것으로 예상하는 바이다. 따라서 본 논문에서는 식품 포장재의 안전성과 관련된 최근 이슈를 6개 주제(1. 포장재에서 식품으로의 화학물질 이행, 2. 식품 포장의 나노소재, 3. 재활용 재료에서의 물질 이행, 4. 라벨링 및 투명성, 5. 규제 체계 및 불일치 문제, 6. 과학적 발견 및 혁신)로 분류하여 정리하고, 규제 동향 및 과학적 연구 현황을 조사하였다.

## 본 론

### 1. 포장재에서 식품으로의 화학물질 이행

식품 포장의 안전성과 관련된 주요 관심사는 포장재에 존재할 수 있는 유해물질이 식품으로 이행하는지 여부이다. 이행은 식품과의 직접적인 접촉을 통해 일어나거나, 시간이 지남에 따라 포장에서 침출되는 화학물질이 식품으로 전달

되는 것을 통해 발생할 수 있다. 이러한 화학물질에는 포장재 생산에 사용되는 가소제, 착색제, 단량체 및 기타 첨가제가 포함될 수 있다<sup>10)</sup>.

#### 1.1. 우려되는 주요 화학물질의 종류

식품 포장재에서 우려되는 일반적인 화학물질로는 BPA, 프탈레이트 및 과불화화합물(PFCs)이 있다. 예를 들어, BPA는 식품 용기에 흔히 사용되는 폴리카보네이트 플라스틱과 에폭시 수지 생산에 널리 사용되는 화학물질이다. BPA는 내분비계 교란과 연관되어 특히 유아 및 임신부와 같은 취약 계층에서 건강 문제를 일으킬 수 있다는 우려가 제기되었다<sup>4)</sup>. 유연한 플라스틱의 가소제로 사용되는 프탈레이트도 마찬가지로 생식 독성 및 발달 문제와 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 최근 연구에 따르면 이러한 화학물질은 저장 중에 특히 열이나 산성 조건에 노출될 때 식품으로 이행될 수 있는 것으로 나타났기에 특정 유형의 포장, 장기간 가열하거나 보관하는 식품의 안전성에 대한 우려가 더욱 커지고 있다<sup>11)</sup>. 주요 화학물질에 대한 포장재 연관성 및 유해성을 Table 1에 간략히 정리하였다.

#### 1.2. 화학물질 이행에 영향을 미치는 요인

포장재에서 식품으로 화학물질이 이행하는 데는 여러 요인이 영향을 미치며, 온도, 시간, 식품 구성 및 포장재 종류에 따른 영향 등이 있다. 온도와 관련된 열은 포장재에서 화학물질이 이행하는 것을 가속화 할 수 있다. 이는 특히 전자레인지로 데우거나 높은 보관 온도에 노출되는 제품에서 관련이 있다. 예를 들어, 플라스틱 용기에 음식을 넣고 데우거나 포장된 식품을 직사광선에 노출하면 화학물질이 이행될 가능성이 커질 수 있다<sup>12)</sup>. 식품이 포장재와 접촉하는 시간도 이행 속도에 영향을 미친다. 보관 기간이 길수록 화학물질이 이행될 기회가 더 많아지는데, 특히 따뜻한 온도나 산성 환경과 같이 침출이 잘 일어나는 조건에 식품을 보관하는 경우에 그러하다<sup>13)</sup>. 식품 자체의 구성도 화학물질 이행에 중요한 역할을 한다. 지방이 많거나 기름기가 많거나 산성인 식품은 포장재에서 화학물질을 흡수하기 쉽다. 치즈나 육류와 같은 지방이 많은 식품은 지방에 더 잘 녹는 프탈레이트와 같은 가소제를 끌어들이는 경향이 있다. 포장재의 종류도 이행 속도에 영향을 미친다. 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP)과 같은 재료는 일반적으로 폴리스티렌(PS)이나 폴리카보네이트(PC) 플라스틱보다 이행 가능성이 낮다<sup>14)</sup>.

식품 포장산업이 생분해성 플라스틱, 다층 포장 및 활성 포장(식품에 방부제를 방출할 수 있음)과 같은 분야로 발전됨에 따라 새로운 소재에서 화학물질의 이행과 관련하여 문제가 발생하고 있다. 예를 들어, 폴리락트산(PLA)은 석유 기반 플라스틱과 비교하면 더욱 지속 가능한 대안으로 간

**Table 1.** Common chemicals in food packaging with their uses, health concerns, and migration conditions

Chemical	Common use in food packaging	Health concerns	Migration conditions	Ref.
Bisphenol A (BPA)	Polycarbonate plastics, epoxy resins (food containers, bottles, can coatings)	Endocrine disruption, reproductive harm, metabolic disorders, neurological issues	Exposure to heat or acidic conditions (e.g., microwaving, can storage)	3, 4
Phthalates	Plasticizers in flexible packaging (plastic wraps, food storage bags)	Developmental and reproductive toxicity, particularly in children and pregnant women	Migration into food, especially with fatty or oily substances	4, 10
Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)	Water- and grease-resistant coatings (microwave popcorn bags, fast-food wrappers, pizza boxes)	Cancer, liver damage, developmental delays in children, persistence in the environment and human body	Migration into food, particularly greasy or fatty foods	15, 16
Styrene	Used in the production of polystyrene plastics (food containers, packaging)	Neurological effects, cancer	Migration into food under certain conditions	17, 18
Acrylonitrile	Used in the production of ABS plastics (food containers, packaging)	Potential carcinogen	Migration into food under certain conditions	18, 19
Antioxidants and UV Stabilizers	Shelf-life extension and UV protection in packaging materials	Potential migration into food, particularly with heat exposure or prolonged storage	Migration into food, especially under heat exposure or long storage periods	20, 21

주하지만 온도 변화를 견디낼 수 있는 능력과 분해 중에 화학물질을 방출할 수 있는 잠재력에 대한 우려가 계속되고 있다. 규제 기관이 식품 접촉에 대한 안전성을 계속 평가함에 따라 이러한 소재에 대한 이행 시험은 여전히 활발한 연구 분야이며, 화학적 이행을 충분히 이해하기 위해 더 광범위한 시험이 필요하다.

### 1.3. 화학물질 이행에 관한 규제 기준

유해화학물질 이행의 위험을 완화하기 위해 각국의 규제 기관은 식품 포장재에서 화학물질 이행에 대한 제한을 설정하였다. 이러한 규정은 식품으로 이행하는 화학물질이 사

람이 소비하기에 안전한 수준이 되도록 고안되었다. 그러나 국가마다 이 문제를 규제하는 방식에는 상당한 차이가 있다. 유럽연합, 미국 및 한국의 규제 기준을 Table 2에 정리하였다.

유럽연합과 미국에서는 통조림 식품의 BPA 이행에 관하여 규제 기준을 마련하였으나 규제 불일치로 인해 안전성 평가의 적절성에 대한 의문이 꾸준히 제기되고 있다. BPA는 녹과 오염을 방지하기 위해 식품 캔의 라이닝에 널리 사용되었는데 식품으로 이행될 수 있으며, 특히 토마토와 같은 통조림 산성 식품에서의 이행 사례가 보고되었다<sup>22)</sup>. 소비자의 우려에 대응하여 유럽연합은 유아용 식품 포장에

**Table 2.** Global food packaging regulations, including key bodies, standards, and focus areas

Region	Regulatory body	Key regulations	Standards/Key focus	Related documents	Ref.
European Union (EU)	European Food Safety Authority (EFSA)	- Regulation (EC) No 1935/2004 - Regulation (EC) No 10/2011 - REACH Regulation (EC) No 1907/2006	- Safety evaluation of food contact materials - Specific migration limits (SML) for various substances - Authorizations for new substances	- EFSA: Food Contact Materials Scientific Opinions - EU Regulation (EC) No 10/2011: Plastic materials in food contact - REACH: European chemicals regulation for safety	6
United States (US)	US Food and Drug Administration (FDA)	- Food, Drug, and Cosmetic Act (FDCA) - Code of Federal Regulations (CFR) Title 21 - FDA's Food Contact Substance Notifications (FCSN)	- Approval process for new food contact materials - Migration limits for specific substances (e.g., BPA, plasticizers)	- FDA: Food Contact Materials Guidance (CFR Title 21); - FDA: FCS Notifications and standards on chemical migration	7
Korea	Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)	- Food Sanitation Act (FSA) - National Standards for Food Additives (NSFA) - KFDA (Korean Food and Drug Administration) Guidelines	- Safety of materials used in food contact articles - Limits on migration of specific chemicals (e.g., heavy metals, phthalates, BPA)	- MFDS: Official guidelines and regulations - KFDA: Packaging and migration standards; Regulations on food contact materials	8

BPA에 대한 엄격한 이행 제한을 시행하고 있다. 미국 FDA도 식품 포장의 BPA에 대한 의견을 개정하였지만, BPA는 캔 라이닝과 같은 특정 용도에 여전히 승인되어 있다. 한국에서는 식품 포장에서 육류, 치즈, 오일과 같은 식품으로 프탈레이트가 이행하는 것에 대한 우려가 제기되었다<sup>23)</sup>. 한국은 식품 포장에서 특정 고위험 프탈레이트, 특히 유연한 플라스틱에서 발견되는 프탈레이트를 금지하였으며 제조업체가 이행 제한을 준수하도록 요구하고 있다.

#### 1.4. 고산도 식품 포장에 대한 과제와 솔루션

과일, 주스, 피클, 토마토와 같은 산도가 높은 식품의 경우 적절한 포장재를 선택하는 것이 특히 중요하다. 높은 산 함량은 포장재와 상호작용하여 식품의 안전성, 맛 및 영양가에 영향을 미칠 수 있어 식품의 품질이 저하될 수 있다. 산도가 높은 식품 포장과 관련된 문제, 문제 해결을 위해 고안된 규제 조치 및 기술 발전에 대해 간략히 정리하였다.

##### 1.4.1. 고산도 식품용 포장재의 문제

고산도 식품(pH 4.6 이하)은 식품 포장재에 특정 문제를 일으키며, 산성 환경은 다음과 같은 우려 사항을 초래할 수 있다. 첫째, 특정 식품의 산성 특성으로 인해 포장재에서 식품으로 화학물질이 이행될 수 있다. 이는 식품이 시간이 지남에 따라 포장재와 상호 작용할 때 발생하며, 특히 과일 주스, 절인 야채, 토마토소스와 같은 제품에서 발생한다<sup>22,24)</sup>. 프탈레이트, BPA, 플라스틱 포장재의 가소제와 같은 화학

물질이 식품으로 이행되어 식품안전에 영향을 미칠 수 있으며, 극단적인 경우 식품의 맛을 바꾸거나 내분비계 교란 특성으로 인해 인체 건강 위험을 초래할 수 있다<sup>4,11)</sup>. 둘째, 고산도 식품, 특히 장기간 보관하거나 극한 조건에서 보관하는 식품은 포장재의 분해로 이어질 수 있다. 예를 들어, 산성 식품은 알루미늄이나 주석 도금과 같은 금속과 반응하여 부식을 일으킬 수 있으며, 이는 포장재를 약화시킬 뿐만 아니라 철이나 아연과 같은 금속 이온이 식품으로 침출되는 결과를 초래 한다<sup>24)</sup>. 이는 식품의 맛과 안전에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 주석 캔의 경우 주석 층의 부식으로 인해 아래의 강철이 노출될 수 있으며 녹슬기 쉽다. 셋째, 고산도 식품은 특정 포장재의 경우 더 빨리 분해될 수 있다. 예를 들어, 폴리에틸렌이나 폴리스티렌과 같은 플라스틱 소재는 시간이 지남에 따라 산성 식품에 노출되면 분해될 수 있으며, 특히 열이나 빛에 노출될 때 분해되기 쉽다. 이러한 분해는 포장 무결성 손실로 이어져 누출, 오염 및 제품의 전체 유통기한 단축으로 이어질 수 있다<sup>25)</sup>. 넷째, 산성 식품과 포장재 간의 상호작용은 식품의 풍미, 향 및 영양 성분에 영향을 미치는 바람직하지 않은 화학 반응을 일으킬 수 있다. 예를 들어, 특정 포장재는 고산도 식품의 맛을 변화시키는 휘발성유기화합물(VOCs) 또는 향을 방출할 수 있다<sup>26)</sup>.

##### 1.4.2. 고산도 식품용 포장재의 문제 해결 및 규정

고산도 식품이 초래하는 과제를 감안할 때, 산성도를 견

**Table 3.** Benefits and challenges of packaging materials for high-acidity foods

Packaging material	Description	Benefits	Challenges	Ref.
Glass	Highly stable and inert material. Commonly used for packaging fruit juices, sauces, pickles, and jams.	- Non-reactive with acidic food - Prevents chemical migration - Fully recyclable - Non-toxic	- Heavy and fragile - Higher transportation costs - Risk of breakage	27, 28
Polyethylene terephthalate (PET)	A widely used plastic, especially for high-acid beverages like fruit juices. Requires treatment to prevent chemical migration.	- Resistant to acids compared to other plastics - Lightweight and durable - Transparent	- Requires special treatment for acid resistance - Potential chemical migration if untreated	29, 30
Aluminum and tinplate cans	Used for high-acidity foods like tomatoes, fruits, and pickles. Coated with protective layers such as epoxy resins.	- Resistant to corrosion - Protects food from external contaminants - Lightweight	- BPA in traditional linings raises health concerns - Risk of chemical migration	31, 32
BPA-free coatings	Alternatives to BPA-based coatings for food cans, such as polyester, polyurethane, and vinyl-based coatings.	- Safe for acidic foods - Reduces risk of chemical migration - Improved resistance to corrosion	- May be more costly than BPA-based coatings - Still may need additional testing for safety	33, 34
Paperboard with barrier coatings	Paperboard packaging with polyethylene (PE) or wax coatings for dry or semi-dry acidic foods.	- Can be used for dry acidic foods - Relatively low-cost packaging	- Barrier coatings can impact recyclability - May not be as effective for highly acidic foods	35, 36
Flexible films and pouches	Laminated films or multilayer pouches, often used for beverages and sauces. Includes inner barrier layers for acid resistance.	- Lightweight and convenient - Can be designed with multiple barrier layers - Cost-effective	- Requires careful design to prevent acid migration - May not be as durable as rigid materials	37, 38

디고 유해물질의 이행을 방지하도록 특별히 설계되거나 처리된 포장재를 선택하는 것이 필수적이다. 고산도 식품에 가장 일반적으로 사용되는 포장재의 종류별 특성을 Table 3에 나타내었다.

고산도 식품 포장의 문제 해결을 위하여 식품 포장 기술에서 여러 혁신이 등장하고 있다. 능동적 포장 기술은 고산도 식품의 유통기한과 안전성을 개선하기 위해 개발되고 있다. 이러한 포장재에는 식품이나 포장재와 상호 작용하여 식품의 환경을 제어하는 첨가제나 작용제가 포함되어 있다. 예를 들어, 항산화제, 항균제 또는 산소 제거제를 포장에 통합하여 고산도 식품의 풍미, 질감 및 영양 품질을 보존할 수 있다<sup>39</sup>. 능동적 포장은 식품과 포장 사이에 추가 장벽을 제공하여 화학물질 이행 위험을 완화하는 데 도움이 될 수도 있다<sup>40</sup>. 식품의 상태를 모니터링하는 센서와 지표가 포함된 지능형 포장은 고산도 식품에 점점 더 많이 사용되고 있다. 이 기술은 소비자나 제조업체에 온도, pH 수준 또는 부패의 변화를 경고하여 식품이 더 오래 안전하고 신선하게 유지되도록 하는 데 도움이 될 수 있다. 예를 들어, pH 민감 지표를 포장에 통합하여 식품의 산도 수준을 모니터링하고 품질에 대한 실시간 피드백을 제공할 수 있다<sup>41</sup>. 생분해성 및 퇴비화 가능한 재료의 모색은 플라스틱 폐기물에 대한 우려가 커지면서 고산도 식품을 위한 포장재 산업 발전을 유도하고 있다. 이러한 재료는 환경에서 더 쉽게 분해되어 폐기물을 줄이도록 설계되었으며, 식물성 플라스틱과 폴리락트산 재료가 고산도 식품 포장에 적합한지 연구되고 있다<sup>42</sup>.

고산도 식품 포장과 관련된 위험을 고려하여 전 세계 규제 기관은 식품 포장재의 안전성과 적합성을 보장하기 위한 지침과 기준을 수립하였다. 주목할 만한 규정은 Table 4와 같다.

## 2. 식품 포장의 나노소재

나노기술은 분자 또는 원자 규모(일반적으로 1~100나노미터)에서 물질을 조작하는 기술로, 점점 더 탐구되고 식품 포장재에 활용되고 있다. 나노소재는 상당히 다른 고유한 물리적, 화학적 및 기계적 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 식품 포장에서 나노소재를 사용하는 데 대한 관심을 불러일으켰으며, 향상된 차단 성능, 항균 활성 및 식품의 유통기한 연장과 같은 향상된 특성을 제공할 수 있다<sup>43,44</sup>. 그러나 모든 신기술과 마찬가지로 식품 포장에서 나노소재를 사용하면 안전성, 규제 감독 및 인체 건강과 환경에 미치는 잠재적 영향에 대한 우려가 제기된다.

### 2.1. 식품 포장에서 나노소재의 특성 및 이점

나노소재는 식품 포장의 성능을 개선하여 식품을 보호하고 유통기한을 연장하는 데 효과적인 다양한 이점을 제공할 수 있다. 이러한 이점은 높은 표면적, 향상된 반응성 및 향상된 기계적 강도와 같은 나노소재의 고유한 특성에서 비롯된다. 식품 포장에서 나노소재의 주요 특성 및 이점으로는 향상된 차단 특성, 항균 특성, 빛 보호 및 자외선 차단, 기계적 강도 및 내구성 향상 등이 있다. 나노소재는 포장재의 차단 특성을 향상시켜 산소, 습기, 빛 및 기타 외부 오염물질의 투과를 방지하는 데 더 효과적이다. 예를 들어, 나노점토(예: 몬모릴로나이트) 및 탄소나노튜브를 포장 필름에 통합하여 부패를 방지하고 식품의 품질을 보존하는 다기능 차단재를 만들 수 있다<sup>45</sup>. 식품 포장에서 나노소재의 가장 널리 연구된 응용 분야 중 하나는 항균 특성이 있는 나노은 또는 나노구리 입자를 활용하는 것이다. 나노입자는 식품 매개 질병이나 부패를 일으킬 수 있는 박테리아, 곰팡이 및 효모의 성장을 효과적으로 억제할 수 있다. 식품 포장에 항균 나노소재를 내장함으로써 제조업체는 식품의 유

**Table 4.** Global regulations on packaging for high-acidity foods

Region	Regulatory body	Regulations/Guidelines	Key requirements for high-acidity food packaging	Ref.
European Union (EU)	European Commission (EC)	Regulation (EC) No. 1935/2004 Regulation (EU) No. 10/2011	- Packaging must not release harmful substances into food. - Materials for acidic foods must undergo migration testing. - Coatings and resins used in acidic food packaging must comply with safety standards to minimize chemical migration.	6
United States (US)	Food and Drug Administration (FDA)	Federal Food, Drug, and Cosmetic Act (FDCA)	- Packaging for high-acid foods must pass chemical migration tests and be FDA-approved. - Guidelines for materials such as plastic, aluminum, and glass. - Monitoring of BPA use and encouragement of safer alternatives for high-acid foods.	7
Korea	Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)	Food Sanitation Act	- Specific guidelines for materials in contact with acidic foods. - Manufacturers must provide evidence of food contact safety. - Regulations for migration testing and use of BPA-free coatings for high-acid food packaging.	8

통기함을 연장하고 오염 위험을 줄이며 식품안전성을 개선하는 데 도움이 될 수 있다<sup>46)</sup>. 나노이산화티타늄 및 나노산화아연과 같은 나노소재를 포장 필름에 추가하여 자외선(UV)으로부터 차단 효과를 증진 시킬 수 있다. 자외선은 비타민과 같은 영양소의 손실을 일으키고 산화를 가속화하여 식품의 품질을 저하시킬 수 있는데 나노소재를 포장에 적용함으로써 자외선에 의한 손상을 방지하고 식품의 영양적 품질과 외관을 보존할 수 있다<sup>47)</sup>. 나노셀룰로오스(식물 섬유에서 파생)를 활용하면 포장 필름의 강도와 인열 저항성이 증가하여 상당한 무게를 추가하지 않고도 내구성이 높아질 수 있다<sup>48)</sup>. 이는 재료의 낭비를 줄이고 포장을 더욱 효율적으로 만드는 데 기여할 수 있을 것이다

이외에도 나노소재는 식품 상태를 모니터링하는 능동적이고 지능형인 스마트 포장 시스템에도 사용될 수 있다<sup>49)</sup>. 포장에 내장된 나노 센서는 온도, 습도 또는 에틸렌과 같은 부패 관련 가스의 존재를 감지하여 식품의 신선도와 안전성에 대한 실시간 정보 제공을 가능하게 할 수 있다.

## 2.2. 안전 및 독성 문제

나노소재의 고유한 특성은 식품 포장에 흥미로운 잠재력을 제공하지만, 인체 건강과 환경에 대한 안전성에 우려도 제기된다. 식품 포장에 나노소재를 사용하는 것과 관련된 주요 우려 사항은 식품으로의 이행 가능성, 잠재적 독성, 의도치 않은 노출, 환경 영향 등을 들 수 있다. 나노입자는 크기가 작고 표면적이 크기 때문에 포장재를 통과하여 식품과 직접 접촉할 가능성이 더 크며, 식품으로 이행하면 섭취되어 인체 건강 위험을 초래할 수 있다. 일부 연구에 따르면 나노은과 같은 특정 나노입자가 인체내에 흡수되면 조직에 축적되어 잠재적으로 독성 효과를 일으킬 수 있다<sup>50)</sup>. 이행 가능성은 나노물질의 종류, 식품의 종류, 온도, 접촉 시간 등의 요인에 따라 달라진다. 인체내 나노물질의 생물학적 상호작용은 아직 완전히 이해되지 않았으며, 장기적인 건강 효과를 확인하기 위해 더 많은 연구가 필요하다. 일부 나노입자는 실험실 연구에서 산화 스트레스, 염증을 유발하거나 세포 기능을 방해하는 등 독성 효과가 나타났다. 예를 들어, 나노은은 항균 특성으로 널리 알려져 있지만, 인체 세포에 대한 잠재적인 독성에 대한 우려도 제기되었다. 나노입자가 식품으로 침출되면 특히 어린이, 임산부 또는 면역 체계가 약한 사람과 같은 민감한 집단에 위험을 초래할 수 있다.

식품으로의 이행 외에도 포장재의 제조, 운송 및 폐기 중에 근로자와 소비자가 나노입자에 의도치 않게 노출될 수 있다는 우려가 있다<sup>51)</sup>. 생산 시설에서 나노물질을 취급하는 것과 나노입자가 공기 중으로 이행될 가능성은 흡입 노출로 이어질 수 있다. 이러한 노출의 위험으로 인해 식품 포장의 수명 주기 전반에 걸쳐 나노물질에 대한 보다 엄격한

안전 조치와 규제가 요구되고 있다. 식품 포장의 생산, 사용 또는 폐기 중에 나노물질이 환경으로 방출되는 것도 우려되는 또 다른 영역이다. 나노입자는 폐기물 처리를 통해 생태계에 유입되어 토양, 물 및 공기를 오염시킬 수 있다. 나노입자의 작은 크기와 높은 반응성으로 인해 환경 유기체와 상호 작용하여 잠재적인 생태적 피해를 초래할 수 있으며, 일부 나노물질은 수생 생물에 축적되어 생태계와 먹이 사슬을 파괴할 수 있는 능력을 보여주었다<sup>52)</sup>. 나노물질의 환경적 거동에 대한 포괄적인 데이터가 부족하여 이러한 위험에 대한 평가가 복잡해지는 바이다.

## 2.3. 규제 체계 및 기준

식품 포장재의 나노물질 안전성과 관련된 우려를 고려하여, 여러 국가에서 나노물질 사용과 관련된 잠재적 위험을 평가하고 관리하기 위한 규제 체계와 지침을 도입하였다. 그러나 나노물질에 대한 규제 감독은 여전히 진행 중이며, 현재의 규정은 나노물질의 고유한 특성과 위험을 완전히 다루지 못할 수 있다. 유럽연합, 미국 및 한국의 규제 체계 및 기준 현황을 살펴보았다.

유럽연합은 나노물질을 규제하는 데 있어 적극적인 접근 방식을 취하였다. EC는 나노물질에 대한 정의를 채택하였으며, 나노물질을 함유한 식품 포장재는 식품 접촉 응용 분야에 사용되기 전에 안전성 평가를 거쳐야 한다. EFSA도 포장재를 포함한 식품의 나노물질 위험성 평가 지침을 발표하였다. 나노물질은 이행, 독성 및 인체 건강과 환경에 미치는 잠재적 영향에 대해 평가해야 하며, EU는 나노물질을 함유한 식품 포장재에 그에 따른 라벨을 붙여 소비자에게 투명성을 보장해야 한다고 규정하고 있다<sup>53-55)</sup>.

미국은 식품 포장재의 나노물질에 대한 구체적인 규정을 제정하지 않았지만, 제조업체가 나노물질을 포함한 포장재를 포함하여 포장재가 사용하기에 안전하다는 것을 입증하도록 요구하고 있다. FDA는 식품 포장재의 나노물질 안전성 평가에 대한 지침을 발표하였으며, 나노물질을 활용한 것을 포함한 모든 식품 접촉 재료가 기존 재료와 동일한 안전 기준을 충족해야 한다고 강조하고 있다. 또한, 제조업체가 식품 접촉 통지(Food Contact Notifications, FCN) 프로세스를 통해 나노기술을 포함한 새로운 식품 접촉 재료를 FDA에 통지하도록 권장하고 있다<sup>56)</sup>.

한국은 식품 포장재의 나노물질 규제에 더욱 신중한 접근 방식을 채택하고 있다. 식품의약품안전처는 나노물질을 포함한 식품 접촉 물질의 안전을 감독할 책임이 있으며, 아직 식품 포장재의 나노물질에 대한 구체적인 규정을 수립하지는 않았다<sup>57)</sup>.

## 2.4. 미래 전망

식품 포장에 나노소재를 사용하면 식품안전, 유통기한 및

포장 성능을 개선하는 데 상당한 가능성이 있다. 그러나 이행, 독성 및 환경 영향에 대한 우려는 신중하게 해결해야 하며, 식품 포장에서 나노소재의 거동과 잠재적 인체 건강 위험, 환경적 영향을 더 잘 이해하기 위해 지속적인 연구가 필요한 바이다. 나노기술이 계속 발전함에 따라 규제 기관에서 식품 포장에서 나노소재의 안전을 보장하기 위해 포괄적이고 과학 기반의 지침과 테스트 프로토콜을 수립하는 것이 필수적일 것이다. 과학자, 산업 이해 관계자 및 규제 기관 간의 협력은 소비자 요구와 환경 영향 목표를 모두 충족하는 안전하고 지속 가능하며 혁신적인 포장 솔루션을 개발하는 데 중요한 것으로 생각된다.

### 3. 재활용 재료에서의 물질 이행

지속 가능성에 관한 관심이 커지면서 식품 포장에 재활용 재료 사용이 증가하고 있다. 재활용 포장은 원재료 수요를 줄이고 매립지 폐기물을 줄이는 등 상당한 환경적 이점을 제공하게 된다. 그러나 식품 포장에 재활용 재료를 사용하면 여러 과제가 발생하는데, 특히 이러한 재료에서 보호하려는 식품으로 물질이 이행하는 것과 관련이 있다. 재활용 재료에서 물질이 이행하는 것과 관련된 위험, 이러한 위험을 해결하기 위해 마련된 규제 체계, 이행 문제를 완화하기 위한 과학적 발전에 대해 살펴보았다.

#### 3.1. 재활용 재료에서의 이행 관련 주요 관심 사항

재활용 재료, 특히 플라스틱과 종이는 비용 효율성과 환경적 이점으로 인해 식품 포장에 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 재료는 재활용된 내용물에서 식품으로 오염물질이 이행될 수 있어 위험을 초래할 수 있다. 재활용 재료에서 유해물질이 이행하는 것은 식품 제품의 생산, 보관 및 운송 중에 발생할 수 있으며, 잠재적으로 인체에 노출될 수 있다. 재활용 재료의 이행과 관련된 몇 가지 주요 관심 사항은 다음과 같다.

##### 3.1.1. 재활용 플라스틱의 화학적 오염물질

플라스틱을 재활용하면 이전 사용의 잔류 화학물질이 포함될 수 있다<sup>58</sup>). 화학물질에는 첨가제, 가소제, 난연제 및 착색제가 포함될 수 있으며, 이 중 일부는 인체 건강에 해로울 수 있다. 재활용 과정에서 플라스틱은 오염물질이나 이전 식품의 잔류물과 같은 환경 물질로 오염될 수 있다. 이러한 오염물질은 특히 열, 습기 또는 장시간 접촉 조건에서 재활용 플라스틱 포장에서 식품으로 이행될 수 있다. BPA, 프탈레이트 및 다환 방향족 탄화수소(PAHs)는 재활용 플라스틱에서 식품으로 이행될 수 있는 물질의 예로, 잠재적인 독성, 내분비계 교란 특성 및 장기적인 인체 건강 영향에 대한 우려가 있다.

##### 3.1.2. 중금속 이행

재활용 재료에는 재활용 과정 중 오염으로 인해 존재할 수 있는 납, 카드뮴, 수은 및 비소와 같은 중금속도 포함될 수 있다<sup>59</sup>). 이러한 금속은 인체 건강에 해롭고, 소량이라도 시간이 지나면서 축적되어 신경, 발달 및 암 관련 문제를 일으킬 수 있다. 중금속은 재활용 포장재에서 식품으로 이행될 수 있으며, 특히 포장재가 고온이나 습기에 노출될 때 이행률이 높아질 가능성이 있으며, 뜨겁거나 기름진 식품에 사용되는 포장재에 대해 상당히 우려되는 사항이다.

##### 3.1.3. 분해 산물

재활용 재료, 특히 플라스틱은 재활용 과정에서 화학적 변화를 겪을 수 있으며, 섭취 시 독성이 있거나 유해할 수 있는 분해 산물이 형성될 수 있다<sup>60</sup>). 이러한 분해 산물은 식품으로 이행하여 오염에 기여할 수 있으며, 재활용 중에 고온이나 기계적 응력에 노출된 플라스틱은 소비자에게 위험을 초래할 수 있는 휘발성유기화합물 또는 단량체를 생성할 수 있다.

##### 3.1.4. 비식품 등급 재활용 재료로 인한 오염

재활용 포장의 주요 과제 중 하나는 재활용 재료가 안전하고 적절한 출처에서 나왔는지 확인하는 것이다. 산업 제품이나 소비재와 같이 이전에 비식품 목적으로 사용되었던 재료에는 식품과 접촉하기에 적합하지 않은 독성 물질이 포함되어 있을 수 있다<sup>61</sup>). 재활용 과정 중 교차 오염이나 재료의 부적절한 분류로 인해 유해화학물질이 재활용 포장에 포함될 수도 있다. 적절한 오염 제거 절차 없이 비식품 응용 분야에서 소비자 후 재활용(post-consumer recycled, PCR) 플라스틱을 사용하면 유해물질이 식품으로 이행될 가능성이 커질 수 있다.

### 3.2. 규제 체계 및 기준

재활용 재료에서 식품으로 물질이 이행하는 것은 식품 안전을 보장하기 위한 규제의 적용을 받는다. 여러 국가와 지역에서 유해한 이행을 방지하는 데 중점을 두고 식품 포장에 재활용 재료를 사용하기 위한 지침과 기준을 개발하였다. 이러한 규정은 관할권에 따라 다르지만, 일반적으로 오염물질의 잠재적 이행을 모니터링하고 제어하여 재활용 포장의 안전에 중점을 둔다. 관련 규정 및 기준을 Table 5에 정리하였다.

### 3.3. 과제의 해결책

식품 포장재의 재활용 재료 사용의 안전을 보장하기 위한 규정이 있지만, 재활용 포장재에서 물질이 이행하는 것과 관련된 위험을 최소화하기 위해 해결해야 할 과제가 여전히 몇 가지 있다. 이러한 과제에는 재활용 프로세스의 다

**Table 5.** Regulations and requirements for recycled materials in food packaging

Region	Regulations	Requirements	Ref.
European Union (EU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulation (EC) No. 1935/2004 on materials and articles intended to come into contact with food.</li> <li>- Regulation (EU) No. 282/2008 on recycled plastics used in food packaging.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recycled materials must not release harmful substances into food.</li> <li>- Recycled plastics must undergo a detailed safety evaluation before approval.</li> <li>- The recycling process must prevent contaminants from migrating into food.</li> <li>- Recycled plastics must be processed using specific technologies like depolymerization, pyrolysis, or supercritical fluid processing to ensure safety.</li> </ul>	6
United States (US)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Food and Drug Administration (FDA) regulations under the Federal Food, Drug, and Cosmetic Act.</li> <li>- FDA's Food Contact Notification (FCN) process for recycled materials.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recycled materials used in food packaging must be validated to ensure no harmful substances are present.</li> <li>- Companies must submit migration studies and other safety data to the FDA to demonstrate safety.</li> <li>- Not all recycling processes in the US meet the rigorous standards of the EU, raising potential concerns about the safety of some recycled packaging materials.</li> </ul>	7
Korea	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Food Sanitation Act and Standards for Food Containers and Packaging.</li> <li>- Regulations from the Ministry of Food and Drug Safety (MFDS) regarding the use of recycled materials in food packaging.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recycled materials must be derived from food-grade sources.</li> <li>- Recycled packaging materials must undergo proper decontamination during the recycling process to prevent contamination.</li> <li>- Migration testing and approval processes are required for the use of recycled materials in food contact applications.</li> </ul>	8

양성, 낮은 수준의 오염물질을 감지하는 복잡성, 일관된 국제 기준의 부족이 포함된다.

재활용 재료의 품질과 안전성은 사용된 재활용 프로세스에 크게 좌우된다. 다양한 재활용 기술과 관행으로 인해 최종 제품의 오염 수준이 달라질 수 있다. 예를 들어, 기계적 재활용과 같은 일부 재활용 프로세스는 오염물질을 적절하게 제거하지 못할 수 있는 반면, 화학적 또는 효소적 재활용과 같은 첨단 기술은 더 높은 수준의 순도를 제공할 수 있지만 비용이나 기술적 문제로 인해 아직 널리 구현되지 않고 있다<sup>62,63</sup>. 재활용 재료가 검증되고 안전한 방법을 사용하여 처리되도록 하는 것은 이행 위험을 줄이는 데 필수적이다.

재활용 포장재의 과제 중 하나는 오염물질이 감지하기 어려운 매우 낮은 농도로 존재할 수 있다는 것이다. 고성능 액체크로마토그래피(HPLC) 또는 기체크로마토그래피-질량분석법(GC-MS)과 같은 분석 방법은 화학물질의 이행을 분석하는 데 사용되지만 이러한 방법은 비용이 많이 들고 시간이 오래 걸리며 항상 실시간 모니터링에 적합하지 않을 수 있다<sup>64</sup>. 또한, 중금속과 같은 특정 오염물질은 고유한 특성으로 인해 별도의 시험방법이 필요할 수 있다. 재활용 재료의 이행을 감지하는 보다 효율적이고 비용 효율적인 방법을 개발하는 것은 식품 포장의 안전을 보장하는 데 매우 중요하다.

균일하고 국제적인 기준이 부족한 것도 재활용 포장재 사용에 대한 과제이다. 유럽연합과 미국에는 특정 규정이 있는 반면, 다른 국가들은 재활용 포장에 대한 지침을 확립하지 않았거나 다른 기준을 가질 수 있다. 규제 기관 간 기

준 및 시험방법의 다양성은 여러 규제 요구사항을 충족하려는 글로벌 기업에 어려움을 초래할 수 있다. 재활용 식품 포장에 대한 조화로운 국제 기준을 개발하면 이러한 불일치를 해소하고 모든 지역에서 일관된 식품안전을 보장하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

### 3.4. 신기술 및 연구

재활용 재료에서 물질이 이행하는 것과 관련된 우려를 해결하기 위해 재활용 기술을 개선하고 재활용 식품 포장의 안전을 보장하는 새로운 방법을 개발하기 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 앞서 언급했듯이 화학적 재활용(플라스틱 폴리머를 단량체로 분해)이나 열분해(고온에서 유기 물질을 분해)와 같은 첨단 재활용 방법이 기존의 기계적 재활용에 대한 대안으로 모색되고 있다<sup>65</sup>. 이러한 기술은 오염물질을 보다 효과적으로 제거하고 식품 포장에 사용하기에 더 안전한 고품질 재활용 재료를 생산할 수 있는 잠재력을 제공한다.

이행 위험을 줄이는 한 가지 방법으로는 식품 등급 포장에서 공급된 재활용 재료만을 독점적으로 사용하는 것이다. 이전에 식품과 접촉했던 포장재만 재활용하고 식품 포장에 재사용함으로써 회사는 비식품 공급원에서 유해물질로 오염될 가능성을 줄일 수 있을 것이다<sup>61</sup>. 일부 회사는 안전을 보장하기 위해 추가 세척 공정을 거치는 식품 등급의 PCR 플라스틱의 사용을 조사하고 있다. 이행 모델링의 발전으로 오염물질이 재활용 포장에서 식품으로 이행될 가능성을 더 잘 예측하는 데 도움이 되고 있다. 이러한 모델은 재활용 재료의 구성, 식품 제품의 특성 및 보관 조건과 같은 요소

를 고려한다<sup>65</sup>). 물질 이행 경로를 시뮬레이션함으로써 연구자와 규제 기관은 오염 위험을 보다 정확하게 평가하고 보다 안전한 포장 솔루션을 설계할 수 있을 것이다.

#### 4. 라벨링 및 투명성

소비자들이 식품안전과 환경적 지속 가능성에 대해 점점 더 우려함에 따라 식품 포장의 투명성이 중요한 문제가 되었다. 식품 포장재의 라벨링은 소비자의 신뢰를 보장하고, 포장재와 관련된 내용물 및 잠재적 위험에 대한 정보를 제공하며, 지속 가능한 실행을 발전시키는 데 중요한 역할을 한다. 식품 포장재, 특히 나노물질, 재활용 내용물, 식품 접촉 재료에 사용되는 화학물질과 같은 새로운 물질이 포함된 포장재의 적절한 라벨링은 규정 준수와 소비자 보호에 필수적이기에, 라벨링의 중요성, 기존의 과제, 식품 포장의 투명성을 보장하기 위해 시행 중인 규제 체계에 대해 정리하였다.

##### 4.1. 식품 포장 라벨의 중요성

식품 포장 라벨은 제조업체, 규제 기관 및 소비자 간의 주요 커뮤니케이션 수단이다. 식품 포장재의 맥락에서 라벨은 포장재의 안전성, 성분 및 환경 영향에 대한 필수 정보를 제공하고 소비자가 포장재와 관련된 잠재적 위험을 인식하도록 한다. 따라서 명확하고 정확한 라벨이 매우 중요하다.

라벨의 주요 목적은 소비자에게 식품과 접촉하는 재료와 관련된 안전성 및 잠재적 위험에 대해 알리는 것이다. 명확한 라벨은 BPA, 프탈레이트 또는 기타 내분비계 교란 화학물질과 같이 포장에서 식품으로 이행될 수 있는 잠재적으로 유해한 물질의 존재를 소비자에게 알릴 수 있다. 또한, 나노소재와 같은 새로운 포장 기술의 안전성에 대한 정보를 제공하고 소비자가 “단일 사용 전용” 또는 “고온 사용에 적합하지 않음”과 같은 특정 예방 조치를 인식하도록 한다<sup>66</sup>). 라벨링은 공급망의 추적성을 개선하는 데에도 도움이 되어 규제 기관과 소비자가 포장재의 출처와 구성을 식별할 수 있다. 예를 들어, 식품 포장재에 재활용 콘텐츠가 포함된 경우 라벨은 식품안전 인증을 받았는지 여부를 명시하여 소비자의 제품 안전성에 대한 신뢰를 높일 수 있다. 명확한 라벨을 통해 식품 포장재가 안전 및 환경 영향에 대한 기준을 충족하도록 하여 회사가 관련 규정을 준수하는 데 도움이 되도록 유도한다.

지속 가능한 포장은 소비자, 특히 플라스틱 폐기물을 줄이고 친환경적 관행을 지원하는 소비자 사이에서 점점 더 큰 우려가 되고 있다. 포장재의 재활용 가능성 또는 포장재에 PCR 콘텐츠가 포함되어 있는지에 대한 정보를 제공하는 라벨은 소비자가 보다 지속 가능한 제품을 선택하도록 이끌 수 있다<sup>67</sup>). “재활용 가능”, “퇴비화 가능” 또는 “재생 가능한 재료로 만들어짐”과 같은 라벨은 환경을 의식한 구

매 결정에 기여한다.

전 세계의 규제 기관은 식품안전, 투명성 및 소비자 보호를 보장하기 위해 라벨링 요구사항을 수립하였다. 많은 지역에서 법률 및 규정은 특정 식품 포장재에 잠재적 위험, 나노물질의 존재 또는 재활용 콘텐츠 사용에 대해 소비자에게 알리기 위해 라벨을 부착해야 한다고 규정하고 있다. 적절한 라벨링은 이러한 규정을 준수하도록 보장하여 잠재적인 법적 결과를 피하고 회사를 책임으로부터 보호하는 데 도움이 된다.

##### 4.2. 라벨링에 대한 규제 체계

많은 국가에서 투명성을 제공하고, 소비자 안전을 개선하고, 지속 가능성을 증진하는 것을 목표로 식품 포장 라벨링 관행을 관리하는 규제 체계를 수립하였다. 유럽연합은 식품 포장재에 대한 잘 확립된 규제 체계를 가지고 있으며, 라벨링 요구사항은 소비자가 포장의 내용물과 잠재적 위험에 대해 잘 알고 있도록 설계되어 있다. EC No. 1935/2004 규정에는 모든 식품 포장재가 소비자에게 안전해야 하며, 특정한 경우 라벨링이 필요하다고 명시하고 있다<sup>68</sup>). 예를 들어, 나노물질을 포함하는 식품 포장재는 나노물질 사용에 대한 유럽위원회의 지침에 따라 명확하게 라벨을 붙여야 한다. 재활용 포장재에 명확한 라벨을 붙여 소비자가 포장의 PCR 콘텐츠로 만들어졌는지, 식품 접촉에 안전한지 이해할 수 있도록 해야 한다. 소비자를 위한 식품 정보에 관한 규정(EU 1169/2011)에는 특히 알레르기 유발 물질과 성분에 대한 명확하고 읽기 쉬운 라벨링에 대한 지침이 포함되어 있다.

미국은 식품의약품화장품법에 따라 식품 포장재를 규제한다<sup>69,70</sup>). FDA는 식품 포장재에 대한 특정 라벨을 의무화하지 않지만, 제조업체가 포장재가 안전하고 유해물질이 없는지 확인해야 한다. 또한, 연방거래위원회(Federal Trade Commission, FTC)는 Green Guides에 따라 포장재의 환경적 주장을 규제하는데, 이는 포장재의 재활용성이나 지속 가능성에 대한 오해의 소지가 있는 주장을 방지하기 위한 것이다. 그러나 미국에서는 재활용된 내용물이나 식품 포장재의 나노물질 존재에 대한 의무적 라벨 요구사항이 없어 소비자의 투명성이 제한될 수 있다.

한국은 식품위생법 및 식품 용기 및 포장 기준에 따라 식품 포장재에 대한 보다 구체적인 라벨 요구사항이 있다<sup>71,72</sup>). 재활용된 내용이 포함된 식품 포장재를 포함한, 식품 포장재는 소비자 안전을 보장하기 위해 라벨을 붙여야 한다. 식품의약품안전처는 식품 포장재의 승인을 감독하며 재료의 원산지, 안전성 및 재활용 상태에 대한 특정 정보를 공개하도록 의무화한다. 한국에서는 나노물질이나 화학 첨가물이 포함된 포장에는 투명성을 제공하고 소비자 건강을 보호하기 위해 명확하게 라벨을 붙이도록 규정하고 있다.

#### 4.3. 라벨링 및 투명성의 과제

라벨링이 소비자 안전과 지속 가능성을 촉진하는 데 중요한 역할을 하지만 효과적인 라벨링 관행을 구현하고 시행하는 데는 몇 가지 과제가 있다. 표준화 및 조화 부족, 신소재 라벨링의 복잡성, 제한된 소비자 이해, 재료에 대한 부적절한 라벨링, 자발적 라벨 대 의무적 라벨 등이 주요 과제라 할 수 있다.

식품 포장 라벨링에서 가장 중요한 과제 중 하나는 일관된 글로벌 기준이 부족하다는 것이다. 국가와 지역마다 식품 포장재 라벨링에 대한 요구사항이 다르므로 국제 무역이 복잡해지고 관행이 일관되지 않을 수 있다. 예를 들어, 유럽연합, 미국, 한국은 식품 포장에 재활용 재료를 사용하는 것에 관한 규정이 다르며, 이러한 차이로 인해 국경을 넘나드는 식품 포장 제품 라벨링에 혼란이나 불일치가 발생할 수 있다. 더구나 모든 국가가 나노 재료나 포장에 사용되는 화학물질과 같은 특정 재료에 대한 의무적 라벨링 요구사항을 정한 것은 아니므로 소비자 인식에 차이가 있다.

식품 포장 기술이 발전함에 따라, 특히 나노 재료와 같은 새로운 재료가 도입됨에 따라 라벨링의 복잡성이 증가하고 있다. 나노 재료는 포장 디자인에서 항상 명확하게 나타나지 않기 때문에 소비자가 식별하기 쉽지 않을 수 있다. 유럽연합과 같은 일부 지역에서는 나노 재료가 포함된 식품 포장에 라벨을 붙여야 하지만, 많은 국가에서는 여전히 구체적인 지침이 부족하여, 재료와 관련된 위험에 익숙하지 않은 소비자 사이에 지식 격차가 발생하여 정보에 입각한 구매 결정을 내리기가 더 어려워 진다<sup>65</sup>.

라벨이 있어도 소비자는 전달되는 정보를 항상 이해하지 못할 수 있다. 많은 소비자는 “BPA 없음” 또는 “재활용 가능”과 같은 용어를 완전히 이해하지 못하거나 포장에 사용된 특정 화학물질과 관련된 특정 건강 위험을 알지 못할 수 있다. 또한, “생분해성” 또는 “퇴비화 가능”과 같은 문구는 맥락과 폐기 인프라에 따라 포장재가 환경친화적이라는 것을 반드시 의미하지 않을 수 있다. 이러한 제한된 이해는 소비자 안전과 환경적 지속 가능성을 보장하는 도구로서 라벨링의 효과를 떨어뜨릴 수 있다.

식품 포장에 재활용 재료의 사용이 증가하고 있지만, 재활용 내용에 대한 라벨링 요구사항은 항상 명확하거나 일관되지 않고 있다. 어떤 경우에 사용된 재활용 재료는 이전 사용으로 인한 물질로 오염되어 건강 위험을 초래할 수 있다. 일부 규정에서는 식품에 안전한 재활용 재료의 사용을 요구하지만 모든 재활용 포장에 소비자에게 안전을 보장하는 방식으로 라벨이 부착되어 있는 것은 아니다. 재활용 소재의 조달, 가공, 식품 포장에 사용되기 전 오염 제거 과정에 대한 투명성이 부족한 것은 심각한 문제이며, 소비자들은 환경적 영향이 적은 제품을 점점 더 많이 요구하고 있다<sup>67</sup>.

“재활용 가능” 또는 “생분해 가능”과 같은 많은 포장 지

속 가능성 라벨은 자발적이며 엄격한 규제 감독을 받지 않고 있다. 이는 회사가 포장재의 환경 영향에 대해 오해의 소지가 있거나 과장된 주장을 사용하는 “그린워싱” 사례로 이어질 수도 있다<sup>73</sup>. 의무적 기준이나 인증 프로그램이 없으면 소비자는 포장이 실제로보다 환경친화적이라고 생각하도록 오도될 수 있으며, 환경 주장에 대한 표준화된 기준이 없으면 지속 가능성 라벨에 대한 신뢰가 훼손될 수 있다.

### 5. 규제 체계 및 불일치 문제

포장재에 대한 식품안전 규정은 주로 국가 및 국제기관에서 관리하지만, 지역별로 통일된 기준이 없어 규제 불일치가 발생하고 있다. 유럽연합, 미국, 한국과 같은 국가에서는 포장 안전성을 평가하기 위한 포괄적인 규제 체계를 마련하였지만 개발도상국에서는 규제가 덜 엄격할 수 있어, 국가 간 식품 등의 수출입이 매우 활발한 상황에서는 안전하지 않은 포장 재료가 시장에 유입될 위험이 잠재적으로 증가할 수 있다.

#### 5.1. 글로벌 기준 및 다양한 규정

유럽연합은 Regulation No. 1935/2004 (Regulation on materials and articles intended to come into contact with food)에서 식품 접촉 물질(Food Contact Materials)에 대한 안전 요구사항이 개괄적으로 설명되어 있으며, 물질이 인체 건강을 위협할 수 있는 수준으로 유해물질을 식품에 방출해서는 안 된다고 규정하고 있다<sup>66</sup>. 모든 식품 접촉 물질은 Regulation (EC) No 2023/2006 (Good Manufacturing Practice, GMP)에 따라 안전하고 올바르게 라벨을 부착하고 제조되어야 한다고 명시하고 있다. Regulation No. 10/2011 (Plastic materials and articles intended to come into contact with food)에는 식품 접촉에 사용되는 플라스틱 재료에 대한 특정 규칙을 제공한다. 여기에는 식품 포장에 사용하도록 승인된 물질 목록이 포함되어 있으며 포장에서 식품으로 이행될 수 있는 물질에 대한 이행 제한을 설정한다고 명시되어 있다. Regulation (EU) No 1183/2012 (Recycled Plastics)에는 포장재는 재사용 또는 재활용할 수 있도록 설계되어야 한다고 명시되어 있고, Directive 94/62/EC (Packaging and packaging waste) 지침은 포장재에 대한 규칙을 제시하고 EU에서 포장 폐기물이 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것을 목표로 한다. 이외에 Regulation (EU) No 450/2012 (Active and Intelligent Materials)에 지능형 포장재에 대하여 규정하고 있다.

미국은 FDA에서 식품의약품화장품법(Food, Drug, and Cosmetic Act (FDCA) - 21 U.S. Code § 301 et seq.)을 통해 식품과 직접 접촉하는 재료에 중점을 두고 식품 포장재를 감독하고 있다<sup>71</sup>. 이 법은 식품 포장을 포함하여 미국의 식품안전에 대한 기초를 제공한다. FDA 21 CFR Part 177-

179 (Regulations for food packaging materials) 규정에는 다양한 유형의 식품 포장 재료(예: 플라스틱, 접착제, 코팅)에 대한 특정 규칙과 안전에 대한 개요(이동 제한, 독성 시험 등)가 포함되어 있다. 또한, FDA의 Food Contact Substance Notification (FCSN) Program을 통해 제조업체는 새로운 식품 접촉 물질을 시장에 출시하기 전에 FDA에 승인을 위한 신고서를 제출할 수 있다.

한국은 식품의약품안전처에서 식품 접촉 물질의 안전을 포함한 식품안전 규제를 담당한다. 식품위생법(Food Sanitation Act)은 식품과 접촉하는 물질이 의도된 용도로 안전해야 하며, 인체 건강에 해로울 수 있는 양의 유해물질을 식품에 방출해서는 안 된다는 의미로, 식품 접촉 물질에 관한 규정을 포함하여 한국의 식품안전에 대한 주요 법적 근거를 제공한다<sup>8)</sup>. 식품, 식품첨가물, 기구 및 용기·포장에 관한 기준 및 규격을 규정하고 있다. 식품공전(Korean Food Code)은 식품의 기준 및 규정을 수록한 규정집으로, 식품 및 식품첨가물, 기구 및 용기·포장을 대상으로 하여 위생상의 위해를 방지하고 품질을 확보하기 위한 식품안전과 관련된 표준 및 규정을 제공한다. 기구 및 용기·포장 공전(Standards and Specifications for Utensils, Containers and Packages)은 기준 및 규격의 목적, 수록범위, 구성 등의 총칙과 함께 공통기준 및 규격, 재질별 규격, 기구 및

용기 포장의 시험법 등으로 구성되어 있다. 또한, 별표4에 ‘기구 및 용기·포장에 사용되는 물리적 재생 합성수지제 기준’을 규정하고 있다.

규제 접근 방식은 국가마다 크게 다르므로 포장재가 전 세계적으로 일관된 안전 기준을 충족하는지 확인하는 데 많은 어려움이 있다. 유럽연합, 미국, 한국에서 취하는 접근 방식을 비교하여 Table 6에 나타내었으며, 이러한 차이점은 글로벌 식품안전의 과제와 조화로운 기준의 필요성을 강조한다.

5.2. 새로운 재료 및 규정 격차

식품 포장산업이 생분해성 플라스틱, 복합재, 활성 포장 시스템과 같은 새로운 재료를 채택함에 따라 기존 규정은 이러한 새로운 재료로 인한 안전 위험을 적절하게 다루지 못할 수 있다. 예를 들어, 많은 생분해성 플라스틱은 식품 접촉에 안전한 것으로 판매되고 있지만, 습기나 고온에 노출될 때 유해물질을 방출할 가능성은 여전히 잘 알려지지 않았다<sup>2,39)</sup>. 더욱이, 그러한 재료로 포장된 식품 섭취의 장기적인 영향에 관한 연구는 매우 제한적이다.

규제 기관은 더욱 포괄적인 안전성 평가를 통합하고 더욱 유연하고 역동적인 규제 체계로 전환함으로써 이러한 격차를 해소하기 시작하였다. 그러나 새로운 식품 포장 재료

Table 6. Comparison of Food Packaging Regulations in the EU, US, and Korea

Aspect	European Union (EU)	United States (US)	Korea
Regulatory authority	European Food Safety Authority (EFSA)	US Food and Drug Administration (FDA)	Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)
Main regulation	Regulation (EC) No. 1935/2004, Regulation (EU) No. 10/2011 <sup>6)</sup>	Federal Food, Drug, and Cosmetic Act (FDCA) <sup>7)</sup>	Standards and Specifications for Utensils, Containers and Packages (Part I, II) <sup>8)</sup>
Chemical migration risk	Substances must not migrate into food at harmful levels. EFSA conducts risk assessments (e.g., BPA).	FDA assesses food contact substances through Food Contact Notification (FCN). Risk-based approach to migration limits.	Strict migration testing for specific chemicals; vigilant monitoring of banned substances (e.g., phthalates, BPA).
Biodegradable plastics	Evolving regulatory framework; EFSA has raised concerns about chemical migration and testing of biodegradable plastics.	No comprehensive framework yet; concerns over biodegradables and emerging materials like active packaging.	Proactive regulation; research into health risks of biodegradable plastics and nanoparticles.
Nanomaterials	Under consideration; EFSA is investigating potential risks of migration from nanomaterials.	FDA is evaluating nanotechnology but has been slow to establish a specific framework.	Actively researching the potential risks of nanomaterials in food packaging.
Risk assessment	Extensive evaluations, e.g., BPA, with recommendations for stricter limits on certain substances.	Flexible, risk-based approach; allows rapid entry of new materials, but controversy around BPA approval.	Stringent risk assessments, particularly for new and emerging materials like nanomaterials.
Market flexibility	Strict approval process, particularly for new materials. Some delays in regulatory updates.	More flexible, with faster approval processes for new materials but concerns about regulatory lag.	Regulations tailored to local market needs while adhering to international standards.

의 안전성을 보장하려면 기준의 추가적인 통합과 더욱 적극적인 위험 평가 프로세스가 필요하다.

## 6. 과학적 발견 및 혁신

최근의 과학적 연구는 포장재에서 화학물질이 이행하는 메커니즘을 이해하고 보다 안전한 대체 재료를 찾는 데 집중하고 있다. 연구를 통해 식물 기반 바이오플라스틱과 같이 화학적 침출 가능성이 감소한 새로운 소재가 확인되었으며, 합성 첨가제의 필요성을 줄이기 위해 천연 코팅을 사용하는 방법이 모색되었다. 나노기술은 화학 첨가제의 필요성을 줄이면서 장벽 특성을 강화한 포장재를 만들 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 그러나 이러한 재료들의 안전성은 여전히 연구 중에 있으며, 잠재적인 독성과 장기적인 인체 건강 영향에 대한 우려가 존재한다.

### 6.1. 새로운 이행 시험

최근 몇 년 동안 식품 포장재에서 화학물질의 이행을 평가하기 위한 다양한 새로운 이행 시험방법이 개발되었다. 이들 방법은 화학물질이 포장에서 식품으로 얼마나 효율적으로 이행되는지, 그리고 어떤 조건에서 이행이 가속화되거나 증가하는지를 평가하는 데 중요한 역할을 한다. 주요 발전 사항을 다음과 같이 정리하였다.

#### 6.1.1. 실시간 테스트 (Real-Time Testing)

전통적인 이행 시험은 일정한 시간 간격으로 샘플을 채취하여 분석하는 방식으로 진행된다. 그러나 실시간 테스트 방법은 화학물질이 포장재에서 식품으로 이행되는 과정을 실시간으로 추적할 수 있는 기술로, 이 방법을 통해 더욱 정밀한 데이터를 얻을 수 있다. 예를 들어, 고성능 액체크로마토그래피(HPLC)나 질량분석법(MS) 등의 기술을 활용하여 실시간으로 이행되는 물질을 추적하고 모니터링한다<sup>74,75</sup>).

#### 6.1.2. 가속 이행 시험 (Accelerated Migration Testing)

이 방법은 시간과 비용을 절감하는 데 유용하며, 일반적으로 실제 소비 환경에서 시간이 지나면서 일어날 이행 과정을 실험실에서 단기간에 시뮬레이션하는 방식이다. 온도, 습도, pH 등의 조건을 인위적으로 조절하여 이행 속도를 가속시키고, 이를 통해 장기적인 안정성을 예측할 수 있다<sup>76,77</sup>).

#### 6.1.3. 생분해성 플라스틱에서의 이행 시험 (Migration Testing of Biodegradable Plastics)

생분해성 플라스틱은 최근 식품 포장 분야에서 주목받고 있다. 그러나 이들 물질은 다양한 환경 조건에서 다른 물리적, 화학적 특성을 보이므로, 이에 대한 정확한 이행 시험 모델이 필요하다. 생분해성 플라스틱은 수분, 온도, 산도(pH)에 따라 화학물질의 이행이 달라질 수 있다. 이에 따라

다양한 환경 조건을 고려한 이행 시험 모델이 개발되고 있으며, 이는 새로운 포장재의 안전성을 평가하는 데 중요한 역할을 한다<sup>1,78</sup>).

#### 6.1.4. 화학물질 이행의 정확한 모델 개발 (Development of More Accurate Models for Chemical Migration Testing)

다양한 환경 조건에서 다양한 화학물질을 방출하는 경향이 있는 생분해성 플라스틱의 경우, 기존의 모델로는 정확한 이행 예측이 어려운 경우가 많다. 이에 따라 실험적 데이터를 바탕으로 더 정교한 수학적 및 물리적 모델이 개발되고 있다. 물리화학적 특성에 따른 화학물질의 이동 경로를 시뮬레이션하는 컴퓨터 모델링 기법이 발전하고 있으며, 이를 통해 더 정확한 예측이 가능하다<sup>79,80</sup>).

## 6.2. 지속 가능하고 안전한 대안

환경에 대한 우려가 커지면서 기존 플라스틱을 대체할 지속 가능한 대안을 개발하려는 관심이 급증하였다. 옥수수 전분과 같은 재생 가능한 자원으로 만든 폴리락트산과 같은 재료는 석유 기반 플라스틱을 대체할 수 있는 잠재적인 재료로 인기를 얻고 있다. 그러나 이러한 물질의 생분해성과 잠재적인 환경 영향에 대한 우려는 여전히 남아 있어 이러한 대안이 새로운 안전 위험이나 환경 위험을 초래하지 않도록 하려면 더 많은 연구가 필요하다.

포장 재료의 화학물질 이행에 관한 연구는 식품 및 음료에 침출될 수 있는 물질의 안전성에 대한 우려가 커지고 있음을 강조하고 있다. 더욱 안전하고 지속 가능한 포장 솔루션에 대한 요구가 높아짐에 따라, 화학적 침출 가능성이 낮은 재료를 식별하는 데 상당한 발전이 이루어졌다. Table 7에 식품 포장의 주요 문제와 관련한 과학적 발견 및 잠재적인 해결책을 정리하였다.

식물 기반 바이오플라스틱은 유망한 대안 중 하나로 떠올랐다. 옥수수, 감자, 사탕수수와 같은 재생 가능한 자원에서 유래한 바이오플라스틱은 기존의 석유 기반 플라스틱보다 유해한 화학물질 이행 위험이 낮다. 연구자들은 이러한 재료의 특성을 개선하여 더욱 견고하고 기능적인 재료로 만들기 위해 노력하고 있으며, 이들의 생분해성이 환경에 미치는 영향을 줄이는지 여부도 조사하고 있다<sup>81</sup>). 천연 코팅도 합성 첨가제의 필요성을 줄이는 데 도움이 될 수 있는 방법으로 주목받고 있다. 밀랍, 키토산(갑각류 유래 천연 중합체), 또는 식물성 기름과 같은 물질에서 추출되는 이러한 코팅은 포장재의 보호층을 형성할 수 있다<sup>82</sup>). 제품과 포장 내 잠재적으로 유해한 물질 사이에 장벽을 만들어 오염 위험을 최소화한다.

또 다른 관심 분야는 포장재의 차단 특성을 향상하는데 유망한 나노기술이다. 연구자들은 나노점토, 탄소나노튜브, 나노 은과 같은 나노물질을 통합하여 기계적 강도, 습기 저항

**Table 7.** Key Issues in food packaging and their scientific findings, regulatory concerns, and potential solutions

Issue	Scientific findings	Regulatory concerns	Potential solutions	Ref.
Chemical migration from packaging	- Many packaging materials leach harmful chemicals like BPA, phthalates, and PFAS into food.	- Regulatory limits on chemicals like BPA exist, but new chemicals are constantly being used in packaging.	- Development of safer, non-toxic alternatives.	1, 2, 3, 4, 15
Plant-based bioplastics	- Plant-based bioplastics, such as those derived from corn, potatoes, and sugarcane, show reduced chemical leaching.	- Lack of clear safety standards for new bioplastics and their interaction with food.	- Establishment of safety standards for bioplastics.	1, 2, 39, 81
Natural coatings (e.g., beeswax, chitosan)	- Natural coatings reduce the need for synthetic additives and act as a protective barrier, lowering migration risks.	- Limited regulation on the safety of natural coatings, particularly in terms of their long-term effects on food.	- Further research into the safety of natural coatings.	82, 83
Nanotechnology in packaging	- Nanomaterials like nanoclays and carbon nanotubes improve barrier properties and reduce chemical migration.	- Lack of comprehensive safety regulations regarding the toxicity of nanoparticles and their long-term effects.	- Development of standardized safety protocols for nanomaterials.	36, 37, 43, 47
Environmental impact of packaging	- Some bioplastics and biodegradable coatings are more environmentally friendly, but their degradation can still vary.	- Inconsistent regulations on environmental claims, making it difficult to assess their true environmental impact.	- Creation of more robust environmental standards and certifications.	1, 2, 5, 9
Toxicity of additives (e.g., plasticizers, stabilizers)	- Many chemical additives used in conventional packaging have been linked to endocrine disruption and other health risks.	- Strict regulations for some additives (e.g., FDA-approved plasticizers) but less scrutiny on newer additives.	- Use of safer alternatives with more stringent testing.	4, 10, 24, 83
Global regulatory disparities	- Some countries have stricter regulations (e.g., EU's REACH), while others have less comprehensive packaging material regulations.	- Lack of harmonized global standards for packaging material safety and chemical migration.	- Push for global harmonization of food safety standards.	6, 7, 8, 68-72

성이 향상되고 화학적 침출이 감소한 포장재를 개발하고 있다. 이러한 재료는 유해한 화학 첨가제의 필요성을 줄이고 제품의 유통기한을 늘리는 데 도움이 될 수 있다<sup>83)</sup>. 그러나 새로운 재료에 대한 안전성 우려는 여전히 존재한다. 특히 나노기술은 나노입자의 잠재적인 독성 및 장기적인 인체 건강 영향에 대한 의문을 제기하고 있다. 이들 재료는 성능과 지속 가능성 측면에서 여러 가지 이점을 제공하지만, 식품, 인체 및 환경과의 상호작용은 여전히 철저한 검토가 필요하다. 따라서 이러한 혁신이 인체 건강이나 환경에 예상치 못한 위험을 초래하지 않도록 보장하기 위해 종합적인 안전성 평가와 규제 체계가 필요하다.

더 나아가, 과학적 발견 및 혁신은 새로운 자원순환 활동이 플라스틱 오염을 줄이고 지속 가능한 포장재를 위한 순환경계의 발전을 이끌고 있다<sup>84)</sup>. 이는 재활용과 재사용을 촉진하는 혁신적인 방법들을 통해 플라스틱 사용을 줄이고, 폐기물 관리를 효율적으로 하여 환경에 미치는 영향을 최소화하려는 노력을 포함한다. 순환경계 모델은 포장재가 한번 사용된 후 다시 자원으로 환원되어 재사용될 수 있도록 하는 것을 목표로 하며, 이를 통해 지속 가능한 포장 재료의 사용을 촉진하고 있다. 이러한 새로운 자원순환 활동은 식품 포장산업의 환경적 영향을 획기적으로 줄이는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 여러 국가에서 자원순환

활동이 활발히 전개되고 있으며, 최근 한국에서 개최된 (2024년 11월 20-21일) 제5차 “대한민국 친환경 패키징/제품 포럼”에서는 플라스틱 전주기 관리 및 식품 산업에 사용되는 포장재의 더욱 안전하고 지속 가능한 다양한 연구 사례들을 볼 수 있었다. 포장 재료에 관한 연구는 빠르게 진행되고 있지만, 이러한 재료들이 안전 기준을 충족하고 새로운 위험을 초래하지 않도록 보장하기 위해서는 지속적인 연구와 시험이 필요하다. 혁신을 추구하면서도 철저한 안전성 평가를 통해 소비자와 환경을 보호하는 것이 매우 중요하다.

## 결론

식품 포장산업은 식품의 안전성, 유통기한 연장, 그리고 편리함을 제공하는 중요한 역할을 하며, 그 발전은 현대 사회에서 필수적인 부분으로 자리 잡고 있다. 그러나, 포장재에서 식품으로의 화학물질 이행 문제와 미세플라스틱, 나노소재 사용에 따른 인체 건강 및 환경적 우려가 증가하면서, 안전성 문제는 더욱 복잡해지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 각국의 규제 기관들은 엄격한 규제를 시행하고 있으며, 과학적 연구도 지속해서 이루어지고 있다.

현재의 규제는 포장재에서 이행되는 유해화학물질에 대

한 제한을 두고 있으며, 유럽연합, 미국, 한국 등 주요 국가들은 식품과 접촉하는 포장재의 화학적 안전성을 평가하고 이를 규제하고 있다. 또한, 고산도 식품과 같은 특정 식품에 적합한 포장재의 선택과 새로운 소재의 안전성 평가가 중요한 이슈로 대두되고 있다. 특히 생분해성 플라스틱, 나노소재와 같은 새로운 재료들이 식품 포장에서 활용됨에 따라, 이러한 소재들의 장기적인 안전성 및 환경 영향에 관한 연구와 규제의 필요성은 더욱 커지고 있다.

앞으로도 식품 포장재의 안전성을 보장하기 위한 과학적 연구와 규제는 지속해서 발전할 것으로 예상된다. 포장재와 관련된 다양한 연구 분야에서의 진전은, 소비자와 환경을 보호하고, 더욱 안전하고 지속 가능한 포장 기술의 발전을 이끌어낼 것이다. 따라서 식품 포장산업이 기술적 혁신과 함께 인체 건강 및 환경에 대한 영향을 최소화하기 위한 지속적인 노력으로 순환경제에 이바지하기를 기대하는 바이다.

## 요 약

식품 포장산업은 식품안전을 보장하고, 유통기한을 연장하며, 편리함을 제공하는 중요한 역할을 한다. 그러나 산업의 발전에 따라 포장재의 안전성과 인체 건강에 미치는 영향에 대한 우려가 제기되었다. 이는 특히 포장에서 식품으로의 화학물질 이행에 관한 과학적 조사와 규제 조치로 이어졌다. 생분해성 플라스틱 및 나노물질과 같은 새로운 재료들은 추가적인 복잡성을 가져오며, 이들의 장기적인 안전성 및 환경적 영향에 대한 의문이 제기되고 있다. 전 세계의 규제 기관들은 인체 건강 위험을 줄이기 위한 규제 체계를 마련했지만, 지역별 규제 차이와 새로운 기술로 인한 도전 과제가 여전히 존재한다. 주요 안전 우려 사항으로는 비스페놀 A(BPA), 프탈레이트, 폴리염화비닐(PVC)과 같은 유해화학물질이 포장재에서 식품으로 이행하는 문제와 미세플라스틱의 섭취 가능성이 포함되어 있다. 유럽연합, 미국, 한국을 포함한 주요 국가들은 이러한 위험을 통제하기 위해 규제를 강화하고, 유해물질을 제한하며 환경친화적인 포장재를 촉진하고 있다. 과학적 연구는 화학물질의 이행 메커니즘과 이 물질들이 인체에 미치는 영향, 특히 내분비계와 인체 흡수에 미치는 영향을 이해하는 데 중요한 역할을 하였다. 본 논문은 식품 포장 안전과 관련된 6개 주요 영역을 탐구하고, 이러한 지속적인 우려 사항을 해결하는 규제와 과학적 연구의 동향을 살펴보았다.

## 참고문헌

- Shruti, V.C., and Kutralam-Muniasamy, G. 2024. Migration testing of microplastics in plastic food-contact materials: Release, characterization, pollution level, and influencing factors. *TrAC Trends Anal. Chem.* 170: 117421.
- Din, M.I., Ghaffar, T., Najeeb, J., Hussain, Z., Khalid, R., Zahid, H. 2020. Potential perspectives of biodegradable plastics for food packaging application—Review of properties and recent developments. *Food Addit. Contam. Part A* 37(4): 665-680.
- Wang, X., Nag, R., Brunton, N.P., Siddique, M.A.B., Harrison, S.M., Monahan, F.J., and Cummins, E. 2022. Human health risk assessment of bisphenol A (BPA) through meat products. *Environ. Res.* 213: 113734.
- Ong, H.-T., Samsudin, H., and Soto-Valdez, H. 2022. Migration of endocrine-disrupting chemicals into food from plastic packaging materials: An overview of chemical risk assessment, techniques to monitor migration, and international regulations. *Environ. Int.* 62(4): 957-979.
- Kadac-Czapska, K., Knez, E., Gierszewska, M., Olewnik-Kruszkowska, E., and Grembecka, M. 2023. Microplastics derived from food packaging waste—Their origin and health risks. *Materials* 16(2): 674.
- European Union (EU). Regulation (EC) No. 1935/2004: <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/1935/oj> Regulation (EU) No. 10/2011: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/10/oj> Directive 94/62/EC: <http://data.europa.eu/eli/dir/1994/62/oj>
- United States (U.S.). Food, Drug, and Cosmetic Act (FDCA): 21 U.S. Code § 301 et seq. FDA Food Packaging Regulations: FDA 21 CFR Part 177-179. FDA's Food Contact Substance Notification (FCN) Program.
- Korea Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Korean Food Code; Food Sanitation Act; Standards and Specifications for Utensils, Containers and Packages (Part I, II); Regulations on the Safety of Food Contact Materials.
- Jadhav, E.B., Sankhla, M.S., Bhat, R.A., and Bhagat, D.S. 2021. Microplastics from food packaging: An overview of human consumption, health threats, and alternative solutions. *Environ. Nanotechnol. Monitor. Manag.* 16: 100608.
- Hahladakis, J.N., Velis, C.A., Weber, R., Iacovidou, E., and Purnell, P. 2018. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate, and environmental impact during their use, disposal, and recycling. *J. Hazard. Mater.* 344: 179-199.
- Bhunia, K., Sablani, S.S., Tang, J., and Rasco, B. 2013. Migration of chemical compounds from packaging polymers during microwave, conventional heat treatment, and storage. *Comprehensive Rev. Food Sci. Food Safety* 12(5): 523-545.
- Manoli, E., and Voutsas, D. 2017. Food containers and packaging materials as possible sources of hazardous chemicals to food. In: *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environ.* 19-50.
- Ucheana, I.A., Ihedioha, J.N., Njoku, J.B.C., Abugu, H.O., and Ekere, N.R. 2024. Migration of bisphenol A from epoxy-can malt drink under various storage conditions and evaluation of its health risk. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 104(16): 3936-3955.
- Cruz, R.M.S., Rico, B.P.M., and Vieira, M.C. 2019. Food packaging and migration. *Food Qual. Shelf Life* 281-301.

15. Phelps, D.W., Parkinson, L.V., Boucher, J.M., Muncke, J., and Geueke, B. 2024. Per- and polyfluoroalkyl substances in food packaging: Migration, toxicity, and management strategies. *Environ. Sci. Technol.* 58: 5670-5684.
16. Zheng, J., Liu, S., Yang, J., Zheng, S., and Sun, B. 2024. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and cancer: Detection methodologies, epidemiological insights, potential carcinogenic mechanisms, and future perspectives. *Sci. Total Environ.* 953: 17615.
17. Ajaj, A., J'Bari, S., Ononogbo, A., Buonocore, F., Bear, J.C., Mayes, A.G., and Morgan, H. 2021. An insight into the growing concerns of styrene monomer and poly(styrene) fragment migration into food and drink simulants from poly(styrene) packaging. *Foods* 10(5): 1136.
18. Pilevar, Z., Bahrami, A., Beikzadeh, S., Hosseini, H., and Jafari, S.M. 2019. Migration of styrene monomer from polystyrene packaging materials into foods: Characterization and safety evaluation. *Foods* 91: 248-261.
19. Muzeza, C., Ngole-Jeme, V., and Msagati, T.A.M. 2023. The mechanisms of plastic food-packaging monomers' migration into food matrix and the implications on human health. *Foods* 12(18): 3364.
20. Vasile, C., and Baican, M. 2021. Progresses in food packaging, food quality, and safety—Controlled-release antioxidant and/or antimicrobial packaging. *Molecules* 26(5): 126.
21. Su, Q.-Z., Lin, Q.-B., Chen, C.-F., Wu, Y.-M., Wu, L.-B., Chen, X.-Q., et al. 2015. Effect of antioxidants and light stabilizers on silver migration from nanosilver-polyethylene composite packaging films into food simulants. *Food Addit. Contam. Part A* 32: 1561-1566.
22. Errico, S., Bianco, M., Mita, L., Migliaccio, M., Rossi, S., Nicolucci, C., Menale, C., Portaccio, M., Gallo, P., Mita, D.G., and Diano, N. 2014. Migration of bisphenol A into canned tomatoes produced in Italy: Dependence on temperature and storage conditions. *Food Chem.* 160: 157-164.
23. Lee, K.-H., Kwak, I.-S., Jeong, D.-Y., Jeon, D.-H., Choi, J.-C., Kim, H.-I., Choi, B.-H., Lee, C.-H., Koo, E.-J., and Lee, C.-W. 2001. A study of phthalate and adipate esters in food packaging and packaged foods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33(4): 479-485.
24. Zheng, J., Tian, L., and Bayen, S. 2023. Chemical contaminants in canned food and can-packaged food: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 63(16): 2687-2718.
25. Arvanitoyannis, I.S., and Kotsanopoulos, K.V. 2014. Migration phenomenon in food packaging. Food-package interactions, mechanisms, types of migrants, testing and relative legislation—a review. *Food-Pack. Interact.* 7: 21-36.
26. Moschopoulou, E., Moatsou, G., Syrokou, M.K., Paramithiotis, S., and Drosinos, E.H. 2019. Food quality changes during shelf life. *Food Qual. Shelf Life* 1-31.
27. Balzarotti, S., Maviglia, B., Biassoni, F., and Ciceri, M.R. 2015. Glass vs. plastic: Affective judgments of food packages after visual and haptic exploration. *Procedia Manufacturing* 2251-2258.
28. Agnusdei, G. P., Gnoni, M. G., and Sgarbossa, F. 2022. Are deposit-refund systems effective in managing glass packaging? State of the art and future directions in Europe. *Sci. Total Environ.* 851: 158256.
29. Ozaki, A., Kishi, E., Ooshima, T., Kakutani, N., Abe, Y., Mutsuga, M., Yamaguchi, Y., and Yamano, T. 2022. Determination of potential volatile compounds in polyethylene terephthalate (PET) bottles and their short- and long-term migration into food simulants and soft drink. *Food Chem.* 397: 133758.
30. Schreier, V.N., Appenzeller-Herzog, C., Brüscheweiler, B.J., Geueke, B., Wilks, M.F., Simat, T.J., Schilter, B., Smieško, M., Muncke, J., Odermatt, A., and Roth, N. 2022. Evaluating the food safety and risk assessment evidence-base of polyethylene terephthalate oligomers: Protocol for a systematic evidence map. *Environ. Int.* 167: 107387.
31. Wagner, J., Castle, L., Oldring, P.K.T., Moschakis, T., and Wedzicha, B.L. 2018. Factors affecting migration kinetics from a generic epoxy-phenolic food can coating system. *Food Res. Int.* 106: 183-192.
32. Yildirim, K., and Kizilkaya, A.C. 2022. Effect of the combination of organic acid solutions on tinplate corrosion. *Mater. Chem. Phys.* 291: 126742.
33. Bailey, A. 2022. US regulatory considerations and recent developments on can coatings. In *Global Legislation for Food Contact Materials (Second Edition)*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 145-169.
34. Lestido-Cardama, A., Sendón, R., Bustos, J., Nieto, M.T., Paseiro-Losada, P., and Rodríguez-Bernaldo de Quirós, A. 2022. Food and beverage can coatings: A review on chemical analysis, migration, and risk assessment. *Comprehensive Rev. Food Sci. Food Safety* 21(4): 3031-3800.
35. Adibi, A., Trinh, B.M., and Mekonnen, T.H. 2023. Recent progress in sustainable barrier paper coating for food packaging applications. *Prog. Org. Coat.* 181: 107566.
36. Poulouse, S., Toriseva, J., Lahti, J., Jönkkäri, I., Hedenqvist, M.S., and Kuusipalo, J. 2022. A green high barrier solution for paperboard packaging based on potato fruit juice, poly(lactic acid), and poly(butylene adipate terephthalate). *Appl. Polym. Mater.* 4(6): 4047-4587.
37. Tyagi, P., Salem, K.S., Hubbe, M.A., and Pal, L. 2021. Advances in barrier coatings and film technologies for achieving sustainable packaging of food products – A review. *Trends Food Sci. Technol.* 115: 461-485.
38. Hwang, S.W., Shim, J.K., Lee, S.B., and Auras, R. 2010. Design and performance evaluation of multilayer packaging films for blister packaging applications. *J. Appl. Polym. Sci.* 116(5): 2846-2855.
39. Basavegowda, N., and Baek, K.-H. 2021. Synergistic antioxidant and antibacterial advantages of essential oils for food packaging applications. *Biomolecules* 11(9): 1267.
40. Ahmed, W., Haque, A., Mohibullah, M., Khan, S.I., Islam, M.A., Mondal, H.T., and Ahmmmed, R.A. 2022. A review on active packaging for quality and safety of foods: Current

- trends, applications, prospects, and challenges. *Food Packag. Shelf Life* 33: 100913.
41. Luo, Q., Hossen, A., Sameen, D.E., Ahmed, S., Dai, J., Li, S., et al. 2023. Recent advances in the fabrication of pH-sensitive indicator films and their application for food quality evaluation. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 63(8): 1102-1118.
  42. Chung, M.R.W.Y., Tan, I.S., Foo, H.C.Y., Lam, M.K., and Lim, S. 2023. Potential of macroalgae-based biorefinery for lactic acid production from exergy aspect. *Biomass Conv. Biorefinery* 13: 2623-2653.
  43. Peng, B., Qin, J., Li, Y., Wu, K., Kuang, Y., and Jiang, F. 2024. Recent advances in nanomaterials-enabled active food packaging: Nanomaterials synthesis, applications, and future prospects. *Food Control* 163: 110542.
  44. Packialakshmi, J.S., Kang, J., Jayakumar, A., Park, S., Chang, Y., and Kim, J.T. 2023. Insights into the antibacterial and antiviral mechanisms of metal oxide nanoparticles used in food packaging. *Food Packag. Shelf Life* 40: 101213.
  45. Bangar, S.P., Whiteside, W.S., Chaudhary, V., Akhila, P.P., and Sunooj, K.V. 2023. Recent functionality developments in Montmorillonite as a nanofiller in food packaging. *Trends Food Sci. Technol.* 140: 104148.
  46. Saedi, S., Shokri, M., and Rhim, J-W. 2020. Preparation of carrageenan-based antimicrobial films incorporated with sulfur nanoparticles. *Korean J. Packag. Sci. Technol.* 26(3): 125-131.
  47. Chung, K. Park, H. J., and Shin, Y. J. 2021. Effect of inorganic nanocomposite based liners on deodorization of kimchi. *Korean J. Packag. Sci. Technol.* 27(2): 55-62.
  48. Patil, S., Bharimalla, A.K., Nadanathangam, V., Dhakane-Lad, J., Mahapatra, A., Jagajanthana, P., and Saxena, S. 2022. Nanocellulose reinforced corn starch-based biocomposite films: Composite optimization, characterization, and storage studies. *Food Packag. Shelf Life* 33: 100860.
  49. Sharma, A., Ranjit, R., Pratibha, Kumar, N., Kumar, M., and Giri, B. S. 2023. Nanoparticles based nanosensors: Principles and their applications in active packaging for food quality and safety detection. *J. Food Sci. Technol.* 193: 10886.
  50. Onyeaka, H., Passaretti, P., Miri, T., & Al-Sharify, Z. T. 2022. The safety of nanomaterials in food production and packaging. *Curr. Res. Food Sci.*, 5: 763-774.
  51. Forest, V., Pourchez, J., Pélissier, C., Audignon Durand, S., Vergnon, J-M., and Fontana, L. 2021. Relationship between occupational exposure to airborne nanoparticles, nanoparticle lung burden, and lung diseases. *Toxics* 9(9): 204.
  52. Selck, H., Handy, R. D., Fernandez, T. F., Klaine, S. J., and Petersen, E. J. 2016. Nanomaterials in the aquatic environment: A European Union–United States perspective on the status of ecotoxicity testing, research priorities, and challenges ahead. *Environ. Toxicol. Chem.* 35: 1055-1067.
  53. Carlander, D., and Skentelbery, C. 2021. Nanotoxicology in humans and the environment: EU regulations and nanotechnology innovation. pp. 229-248. In: *Nanotoxicology in Humans and the Environment*.
  54. ANSES - French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety, France, Anastasi, E., Riviere, G., and Teste, B. 2019. Nanomaterials in food - prioritisation & assessment. *EFSA Journal*, 17(S2): e170909. First published: 17 September 2019. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.e170909>.
  55. More, S., et al. 2021. Guidance on risk assessment of nanomaterials to be applied in the food and feed chain: human and animal health. *EFSA Journal* 19: 6768. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6768>.
  56. U.S. Food and Drug Administration (FDA). 2014. Guidance for Industry: Assessing the Effects of Significant Manufacturing Process Changes, Including Emerging Technologies, on the Safety and Regulatory Status of Food Ingredients and Food Contact Substances, Including Food Ingredients that Are Color Additives. Office of Food Additive Safety, HFS-205, Center for Food Safety and Applied Nutrition. <https://www.fda.gov/FoodGuidances>.
  57. Lee, J. Y., Jo, Y., Choi, J. C., Park, S. J., and Kim, J. T. 2017. Status of nano-packaging and safety management of nanomaterials by migration. *Food Sci. Ind.* 50(2): 52–59.
  58. Geueke, B., Phelps, D. W., Parkinson, L. V., and Muncke, J. 2023. Hazardous chemicals in recycled and reusable plastic food packaging. *Cambridge Prisms: Plastics* 1: e7, 1-18. <https://doi.org/10.1017/plc.2023.7>.
  59. Whitt, M., Vorst, K., Brown, W., Baker, S., and Gorman, L. 2012. Survey of heavy metal contamination in recycled polyethylene terephthalate used for food packaging. *J. Plast. Film Sheeting* 29(2): 1-10. <https://doi.org/10.1177/8756087912467>.
  60. Geueke, B., Groh, K., and Muncke, J. 2018. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *J. Clean. Prod.* 193: 491-505.
  61. Franz, R., and Welle, F. 2020. Contamination levels in recollected PET bottles from non-food applications and their impact on the safety of recycled PET for food contact. *Molecules* 25(21): 4998.
  62. Tsochatzis, E. D., Lopes, J. A., and Corredig, M. 2022. Chemical testing of mechanically recycled polyethylene terephthalate for food packaging in the European Union. *Resources, Conserv. Recycl.* 179: 106096.
  63. Franz, R., and Welle, F. 2022. Recycling of post-consumer packaging materials into new food packaging applications—Critical review of the European approach and future perspectives. *Sustainability* 14(2): 824.
  64. Mofokeng, N. N., Madikizela, L. M., Tiggelman, I., and Chimuka, L. 2024. Chemical profiling of paper recycling grades using GC-MS and LC-MS: An exploration of contaminants and their possible sources. *Waste Manag.* 189: 148-158.
  65. Guazzotti, V., Marti, A., Piergiovanni, L., and Limbo, S. 2014. Bio-based coatings as potential barriers to chemical contaminants from recycled paper and board for food packaging. *Food Addit. Contam. Part A* 31(3): 431-438.
  66. Kasza, G., Veflen, N., Scholderer, J., Münter, L., Fekete, L., Csenki, E. Z., and Dorkó, A. 2022. Conflicting issues of sustainable consumption and food safety: Risky consumer behaviors in reducing food waste and plastic packaging. *Foods* 11(21): 3520.

67. Norton, V., Waters, C., Oloyede, O. O., and Lignou, S. 2022. Exploring consumers' understanding and perception of sustainable food packaging in the UK. *Foods* 11(21): 3424.
68. Manea, L., and Epuran, G. 2016. The packaging and labelling of food products in the European regulatory requirements. *Bull. Transilv. Univ. Braşov, Ser. VII: Soc. Sci. Law* 9(1): 175-184.
69. Kapp, R. W. Jr. 2024. Food, Drug, and Cosmetic Act, US. In *Encyclopedia of Toxicology* (4th ed.), vol. 4, pp. 801-812.
70. Heckman, J. H., and Ziffer, D. W. 2001. Fathoming food packaging regulation revisited. *Food Drug Law J.* 179: 1-10.
71. 식품등의 표시기준. 국가법령정보센터, <https://www.law.go.kr> > 행정규칙 > 식품등의 표시기준. [식품의약품안전처고시 제 2024-41호, 2024. 7. 24., 일부개정]
72. Lee, B.-M., Choi, M., Shin, I., Kim, J., Choi, Z., Kim, K., et al. 2020. Risk communication for labeling all ingredients in consumer products. *J. Toxicol. Environ. Health, Part A* 83(13-14): 509-524.
73. Dreist, D., Zühlsdorf, A., Spiller, A., and Kühn, S. 2025. Greenwashing in food labelling: Consumer deception by claims of climate neutrality and the importance of an interpretative labelling approach. *Food Qual. Prefer.* 122: 105294.
74. Lestido-Cardama, A., Paseiro-Cerrato, R., Ackerman, L. K., Sendón, R., and Rodríguez-Bernaldo de Quirós, A. 2022. Determination of BFRs in food contact articles: An analytical approach using DART-HRMS, XFR, and HPLC-MS/MS. *Food Packag. Shelf Life* 33: 100883.
75. Chen, Y., Li, H., Huang, H., Zhang, B., Ye, Z., Yu, X., and Shentu, X. 2023. Recent advances in non-targeted screening of compounds in plastic-based/paper-based food contact materials. *Foods* 12(22): 4135.
76. Paseiro-Cerrato, R., DeJager, L., and Begley, T. H. 2019. Assessment of the impact of accelerated migration testing for coated food cans using food simulants. *Molecules* 24(17): 3123.
77. Li, Y. 2020. Migration of metals from ceramic food contact materials. 1: Effects of pH, temperature, food simulant, contact duration, and repeated-use. *Food Packag. Shelf Life* 24: 100493.
78. Zhao, C.-C., Lin, Q.-B., Xie, C.-H., Liu, Y.-Q., Zhong, H.-N., Gu, W.-Y., McClements, D. J., and Ma, D. 2024. Screening and safety assessment of migrating substances released from biodegradable packaging materials into milk. *Food Control* 166: 110755.
79. Ernstoff, A. S., Fantke, P., Huang, L., and Jolliet, O. 2017. High-throughput migration modelling for estimating exposure to chemicals in food packaging in screening and prioritization tools. *Food Chem. Toxicol.* 109(1): 428-438.
80. Douziech, M., Benítez-López, A., Ernstoff, A., Askham, C., Hendriks, A. J., King, H., and Huijbregts, M. A. J. 2020. A regression-based model to predict chemical migration from packaging to food. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 30: 469-477.
81. Yin, Y., and Woo, M. W. 2024. Transitioning of petroleum-based plastic food packaging to sustainable bio-based alternatives. *Sustainable Food Technol.* 2: 548-566.
82. Sun, R., Song, G., Zhang, H., Zhang, H., Chi, Y., Ma, Y., et al. 2021. Effect of basil essential oil and beeswax incorporation on the physical, structural, and antibacterial properties of chitosan emulsion-based coating for eggs preservation. *LWT Food Sci. Technol.* 150: 112020.
83. Jamwal, V., and Mittal, A. 2024. Recent progresses in nanocomposite films for food-packaging applications: Synthesis strategies, technological advancements, potential risks, and challenges. *Food Rev. Int.* 40(10): 3634-3665.
84. Getor, R. Y., Mishra, N., and Ramudhin, A. 2020. The role of technological innovation in plastic production within a circular economy framework. *Resour. Conserv. Recycl.* 163: 105094.

투고: 2024.11.29 / 심사완료: 2024.12.13 / 게재확정: 2024.12.21



## 포장된 유기농 깻잎의 유통기한 연장을 위한 전처리 방법의 개발

김효진 · 정문철 · 조영진\*

한국식품연구원 안전유통연구단

## Development of Pre-treatment Methods to Extend the Shelf life of Packaged Organic Perilla Leaves

Hyo-Jin Kim, Moon-Cheol Jeong, and Youngjin Cho\*

Food Safety and Distribution Research Group, Korea Food Research Institute, Wanju 55365, Jeonbuk-do, Republic of Korea

**Abstract** Recently, packaged leafy vegetables, including perilla leaves, whose consumption has been rapidly increasing, are easily spoiled and have a short shelf life. Currently, various methods such as pre-cooling, washing, and packaging are used to maintain the quality of leafy vegetables. Among these, the pre-treatment washing method effectively reduces the spoilage rate of leafy vegetables and helps maintain freshness by removing contaminants on their surfaces. However, the research related to maintaining the quality of perilla leaves remains limited. Therefore, this study aims to establish optimal eco-friendly pre-treatment conditions that can maintain the freshness of perilla leaves and extend their shelf life. The perilla leaves were washed under various pre-treatment conditions and packaged with commercially available OPP film. Then, quality changes in the perilla leaves during storage were evaluated by analyzing factors such as microbial counts, electrolyte leakage amounts, surface color, hardness, and spoilage rate under different pre-washing conditions. As a result, it was confirmed that pre-treatment washing using medium-temperature microbubble water is effective in maintaining the freshness and extending the shelf life of perilla leaves. In addition, the effects were further enhanced when sequential combined washing methods were applied. In the future, the research will focus on developing packaging methods that enhance the washing effects of medium-temperature microbubble water and exploring combined treatments with other washing solutions to further improve the freshness preservation and shelf life extension of perilla leaves.

**Keywords** Organic perilla leaves, Pre-treatment washing, Packaging, Freshness, Shelf life

### 서론

깻잎은 들깨(*Perilla frutescens* var. *japonica*)의 잎으로써, 동남아시아와 인도 고지대에서 생산되기 시작하였고, 현재는 한국, 중국, 인도, 동남아시아 등에서 널리 재배되고 있다. 독특한 향미와 높은 영양가를 갖고 있는 깻잎은 주로 쌈 채소로 소비되고 있고, 육류 소비 증가와 더불어 그 소비량은 지속적으로 증가하고 있는 추세이며, 2022년에는 깻잎의 생산량이 20,958 톤에 이르고 있다<sup>1)</sup>.

최근 소비자들의 깻잎의 선호도와 소비량은 증가하고 있

지만, 깻잎과 같은 엽채류는 품질이 빠르게 저하되고, 유통기한이 짧은 특성으로 인해 소비자들의 수요 및 만족을 충족시키기는 어려운 실정이다. 이에 따라 깻잎의 품질 유지 및 유통기한 연장을 위한 연구의 필요성이 크게 대두되고 있다. 소비자들에게 좋은 품질의 깻잎을 안정적으로 제공하고, 안전성과 경제적인 효율성을 확보하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있다. 엽채류의 품질 유지 방법으로는 포장, 저온 유통, 예냉 처리, 세척 처리 등이 알려져 있다. 이와 관련된 기존의 연구로는 엽채류의 선도유지를 위한 포장 방법<sup>2,4)</sup>, 신선 농산물의 예냉 처리 효과<sup>5-6)</sup>, 깻잎의 세척 처리를 통한 품질 향상<sup>7-8)</sup> 등이 있다.

그중에서 신선 농산물의 전처리 세척 방법에는 수돗물, 마이크로버블수, 탄산수, 오존수, 전해질수, 초음파 세척수, 염소수 등이 사용되고 있다. 이러한 세척 과정은 농약 잔여물과 오염물질을 제거하여 부패 속도를 늦추고, 신선도를

\*Corresponding Author: Youngjin Cho  
Korea Food Research Institute, Wanju 55365, Jeonbuk-do, Republic of Korea  
Tel: +82-63-219-9428, +82-63-219-9254  
E-mail: yjcho74@kfri.re.kr

유지하기 위한 것이다. 특히, 염소수는 세척효과가 매우 우수하지만, 염소 부산물의 잔여 위험성이 존재하고 있다<sup>9)</sup>. 따라서, 친환경적인 대체 세척수로서, 마이크로버블수 및 탄산수 등이 주목받고 있다. 마이크로버블수는 직경이 10-50  $\mu\text{m}$  인 마이크로버블이 물속에서 생성하는 OH 라디칼에 의해 세척 효과를 나타낸다<sup>10)</sup>. 탄산수는 내부의 기포 파열을 통해 오염물질을 분리 및 제거한다<sup>11)</sup>. 이와 같은 친환경적인 세척수를 이용한 농산물의 신선도 유지 연구는 마이크로버블수를 이용한 다양한 채소의 세척 효과<sup>12)</sup>, 오존 마이크로버블수를 이용한 잎채소의 세척 효과<sup>13)</sup>, 세척 유무를 통한 잎채소의 품질 변화<sup>14)</sup>, 산성 전기분해수로 세척한 상추의 품질 변화<sup>15)</sup> 등으로 다양하게 연구되고 있다. 그러나, 깻잎의 품질 유지를 위한 관련 연구들은 아직 미비한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 최근 소비량이 급격히 증가하고 있는 깻잎을 대상으로 마이크로버블수, 탄산수, 탄산 마이크로버블수로 세척한 후, 상업적으로 사용되는 OPP 필름으로 포장하여 저장하면서 깻잎의 품질변화를 비교 분석함으로써, 깻잎의 신선도를 유지하고, 유통기한을 연장시킬 수 있는 최적의 친환경적인 전처리 조건을 확립하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

본 연구에 사용한 깻잎은 경기도 광주 소재의 시설 재배 농가에서 실험 시작 당일에 수확한 것을 구입하였다. 외관 상태가 양호하고, 균일한 것을 선별하여 실험실로 운반한 후, 최적 상태의 깻잎을 재선별하여 실험에 사용하였다.

### 2. 시료의 전처리, 포장 및 저장

선별한 깻잎은 일반 수도수로 형성된 와류로 2 분간 세척한 와류 세척 처리구 (Turbulence water, TW), 40°C의 중온 마이크로버블수로 2 분간 세척한 중온 마이크로버블수 세척 처리구 (Microbubble heated water, MH), pH 4.8의 탄산수로 2 분간 세척 후, 40°C의 중온 마이크로버블수로 2 분간 세척한 탄산-중온 마이크로버블수 세척 처리구 (Carbonated microbubble heated water, C-MH), 탄산수와 중온 마이크로버블수로 2 분간 동시 세척한 중온 마이크로버블 탄산수 세척 처리구 (Microbubble heat carbonated water, MHC)로 전처리 세척하였다(Table 1). 탄산수는 CO<sub>2</sub> 가스를 물에 직접 용존 시켜 사용하였다. 전처리 세척에 이용한 마이크로버블 세척 장치는 자체 제작한 시스템을 이용하였다(Fig. 1). 이 시스템은 세척과 탈수가 순차적으로 진행되며, 세척은 와류, 열수, 마이크로버블수 등을 이용한 세척이 가능하다. 이에 따라 해당 세척수로 세척 후, 버린 다음 새로운 세척수로 교환하여 사용하였다. Fig. 2는 중온 마이크로버블수로 깻잎을 세척하는 과정을 보여준다.

세척한 깻잎은 야채 탈수기로 약 30 초간 탈수한 후, 멸균거즈를 이용하여 자연탈수를 통해 표면의 물기를 충분히 제거하였다. 탈수된 깻잎은 현 시중 포장 방법에 따라 두께가 30.1±0.7  $\mu\text{m}$ 의 OPP 필름으로 포장하여 5±1°C의 항온 저장고에 저장하였다.

### 3. 미생물학적 품질평가

총균수는 시료를 멸균한 가위로 세절한 후, 10 배수의 멸균 생리 식염수[0.85% (w/v) NaCl]를 가하고, stomacher (Stomacher 400 circulator, Seward, Essex, UK)로 260 rpm

Table 1. Pre-treatment washing method of perilla leaf

처리구		전처리 세척 방법
Turbulence water	TW	와류 수도수(2분)로 세척
Microbubble heated water	MH	중온 마이크로버블수(40°C, 2분)로 세척
Carbonated microbubble Heated water	C-MH	탄산수(pH 4.8, 2분) 세척 후, 중온 마이크로버블수(40°C, 2분)로 세척
Microbubble heat carbonated water	MHC	중온 마이크로버블 탄산수(pH 4.8, 40°C, 2분)로 세척



Microbubble cleaning system



Microbubble generator

Fig. 1. Microbubble cleaning system and microbubble generator used in the experiment.

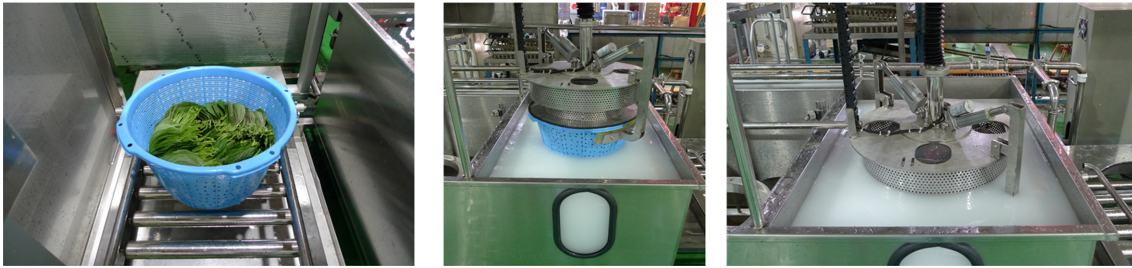


Fig. 2. Perilla leaves being washed with medium-temperature microbubble water.

에서 2 분간 균질화한 다음에 10배 희석하여 희석 시료를 aerobic count plate (3M petrifilm AC, USA)에 분주하고, 효모 및 곰팡이는 yeast & mold count plate (3M petrifilm YM, USA)에 분주한 다음에 35±1°C 배양기에서 48시간 동안 배양한 후, 나타난 집락수를 log CFU/g으로 환산하여 나타내었다.

#### 4. 전해질 이온 유출량 측정

전해질 이온 유출량은 electrical conductivity meter (EC meter, MODEL H8633, HANNA Instrument, Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였다. 깻잎 약 1g에 0.4 M mannitol (Sigma-aldrich, USA) 용액 40 ml를 넣고, 37°C에서 3 시간 배양하여 초기 이온 유출량을 측정하였으며, 그 후 -80°C에서 24 시간 동결한 다음에 37°C에서 해동한 후, 후기 이온 유출량을 측정하였다. 전해질 이온 유출량은 아래와 같이 계산하여 %로 나타내었다.

$$\text{전해질 이온 유출량(\%)} = \frac{\text{초기 이온 유출량/후기 이온 유출량}}{\text{초기 이온 유출량}} \times 100$$

#### 5. 표면 색도

표면 색도는 깻잎의 우측 중심부를 Chroma meter (CR-200, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였으며,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , chroma value ( $\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ )값으로 나타내었다.

#### 6. 경도

경도는 Texture Analyzer (TA-ST2, Stable Micro System, UK)를 이용하여 Table 2의 조건으로 측정하였다. 시료는 모두 일정한 크기로 하였고, 시료의 우측 중앙지점을 측정

하였다. 시료 당 40 회 반복 측정하여, 그 평균값으로 나타내었으며, 최대 피크에 도달할 때까지의 시간을 firmness (sec)로 나타내었다.

#### 7. 부패율

부패율은 육안 검사에 의하여 곰팡이 발현 및 짓무름 발생 개체수를 시료 전체 개수에 대한 백분율로 나타내었다.

#### 8. 통계 처리

시료에 대한 실험 결과 데이터는 SPSS Statistics 17 (IBM Co., Armonk, NY, USA)를 이용하여 통계 처리하였다. Duncan's multiple range test를 실시하여 평균값 간의 유의성 검정을 하였다( $p < 0.05$ ). 모든 실험은 3 반복 이상 수행하였고, 평균±표준오차로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

#### 1. 깻잎의 미생물학적 품질특성

일반적으로 신선 채소와 과일류에서의 총균수는 약 4~7 log CFU/g, 대장균군은 2~4 log CFU/g이 검출된다고 알려져 있다<sup>16)</sup>. 총균수는 무세척 처리구 (Control, C)에서 5.2±0.0 log CFU/g이 검출되었으며, 전처리 세척 방법에 따라서는 TW, MH, MHC, C-MH가 각각 4.8±0.2, 4.2±0.1, 3.8±0.0, 3.6±0.1 log CFU/g이었다 (Table 3). Kim 등<sup>17)</sup>의 연구 결과와 동일하게 전처리 세척에 의한 효과로 무세척 처리구에 비해 전처리 세척 처리구에서 초기 총균수가 억제되었으며, 세척 방법에 따라서는 와류 세척에 비해 마이 크로버블과 탄산수 세척이 초기 총균수 제거의 효과를 나타내었다. 곰팡이의 경우, 무세척 처리구에서 3.5±0.0 log CFU/g, TW에서 3.2±0.0, MH에서 2.7±0.1, MHC에서 2.8±0.3, C-MH에서 2.8±0.0 log CFU/g으로 검출되었다 (Table 3). 따라서, 전처리 세척만으로도 초기 곰팡이가 억제되었으며, 무세척 처리구에 비해 세척 처리구에서 약 20% 정도 곰팡이 살균효과가 나타났다. 저장기간이 증가함에 따라 곰팡이수는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 저장 15 일 차부터 MH와 C-MH의 세척 효과가 두드러지게 나타났다. 저장 20 일차에는 C-MH가 4.3±0.2 log CFU/g으로 곰팡

Table 2. Conditions for texture analysis

Parameter	Condition
Probe	2 mm
Pre-test speed	0.5 mm/sec
Trigger force	0.002 kg
Test speed	0.5 mm/sec
Return-speed	10 mm/sec
Test distance	10 mm

**Table 3.** Change in microbial counts of perilla leaf by pre-treatment washing method during storage (단위: log CFU/g)

	Treatment	Storage (day)				
		0	4	10	15	20
Total viable counts	C	5.2±0.0 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	TW	4.8±0.2 <sup>a</sup>	5.2±0.0 <sup>a</sup>	5.3±0.0 <sup>a</sup>	5.4±0.1 <sup>a</sup>	5.6±0.1 <sup>a</sup>
	MH	4.2±0.1 <sup>b</sup>	4.5±0.0 <sup>ab</sup>	4.8±0.1 <sup>ab</sup>	5.2±0.0 <sup>b</sup>	5.2±0.1 <sup>b</sup>
	MHC	3.8±0.0 <sup>b</sup>	4.6±0.1 <sup>b</sup>	4.8±0.3 <sup>ab</sup>	5.2±0.1 <sup>b</sup>	5.5±0.0 <sup>ab</sup>
	C-MH	3.6±0.1 <sup>b</sup>	4.4±0.0 <sup>b</sup>	4.7±0.3 <sup>b</sup>	5.2±0.2 <sup>b</sup>	5.2±0.1 <sup>b</sup>
Mold	C	3.5±0.0 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	TW	3.2±0.0 <sup>b</sup>	3.8±0.1 <sup>a</sup>	4.0±0.1 <sup>a</sup>	4.6±0.2 <sup>a</sup>	5.0±0.1 <sup>a</sup>
	MH	2.7±0.1 <sup>c</sup>	3.2±0.5 <sup>b</sup>	3.5±0.5 <sup>a</sup>	3.3±0.2 <sup>a</sup>	4.7±0.2 <sup>b</sup>
	MHC	2.8±0.3 <sup>c</sup>	3.1±0.0 <sup>b</sup>	3.4±0.2 <sup>a</sup>	3.7±0.1 <sup>a</sup>	4.8±0.3 <sup>a</sup>
	C-MH	2.8±0.0 <sup>d</sup>	3.0±0.5 <sup>c</sup>	3.7±0.1 <sup>a</sup>	3.4±0.2 <sup>a</sup>	4.3±0.2 <sup>b</sup>

Each value represents mean±SD.

Means with the different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

이수가 가장 적게 나타났으며, MHC에서는  $4.8 \pm 0.3$  log CFU/g으로 나타나, 탄산수와 중온 마이크로버블수 병용 세척보다는 순차적 세척이 곰팡이 살균효과에 더 큰 효과를 보여주고 있다. Lee 등<sup>18)</sup>의 연구에서는 다양한 세척 방법으로 상추를 세척한 결과, 마이크로버블수로 세척한 처리구가 초기 미생물 억제에 효과적이었으며, 저장기간이 길어짐에 따라서도 마이크로버블수 세척 처리구가 미생물 억제에 가장 효과적으로 나타났다. 이에 따라 본 실험에서 사용된 전처리 세척 방법은 기존의 다른 세척 방법보다 미생물 억제에 효과가 높은 것으로 보여주었다.

## 2. 깻잎의 전해질 이온 유출량 변화

식물세포의 전해질 이온 유출량 변화에 대한 정확한 기작은 밝혀지지 않았으나, 일반적으로 식물의 손상 및 부패의 간접 지표로 활용되고 있으며<sup>19)</sup>, 전해질 이온의 정도에 따라 전기전도의 정도 변화가 나타나 전기전도도로 전해질 이온 유출량을 측정한다. 전해질 이온 유출량은 식물 조직의 손상 및 부패로 인해 식물 조직에 상처가 생성되어 증가하고, 이후 세포벽의 유동적인 회복으로 인하여 완만하게

감소하며, 식물의 부패로 인하여 다시 증가하는 패턴을 가지고 있다<sup>20-21)</sup>. 세척 방법에 따른 유기농 깻잎의 전해질 이온 유출량을 측정하기 위하여 세척하지 않은 C는 초기값만 측정하여 세척 유무에 따른 변화를 살펴보았으며, 저장기간에 따른 세척 방법별 전해질 이온 유출량은 Ferrante 등<sup>22)</sup>의 연구 결과와 유사하게 나타났다(Table 4). C-MH의 경우, 탄산수와 중온 마이크로버블의 순차적인 세척으로 다른 처리구에 비해 긴 세척 과정을 거침으로써, 조직에 손상을 강하게 받아 세척 직후  $5.9 \pm 0.3\%$ 의 높은 전해질 이온 유출량을 나타내었다. Das 등<sup>23)</sup>의 연구에서도 일반 세척에 비해 열화칼슘, 아스코빈산 칼슘을 함유한 세척 처리구의 경우에 전해질 이온 유출량이 1.5~2 배 가량 높게 나타난 결과를 보고하였다. TW의 경우, 와류 세척으로 다른 세척 처리구에 비해 조직 손상도가 낮아 전해질 이온 유출량이  $2.9 \pm 0.2\%$ 로 낮게 나타났다. 저장 15 일차 이후부터는 TW의 전해질 이온 유출량이 급격하게 증가하여 저장 15 일, 저장 20 일차에 각각  $11.6 \pm 0.7\%$ ,  $15.7 \pm 0.9\%$ 이었다. 저장 20 일차에 MH, MHC, C-MH는  $10.4 \pm 0.3\%$ ,  $12.5 \pm 1.0\%$ ,  $10.5 \pm 0.3\%$ 로, 전해질 이온 유출량 측면에서 탄산수와 중온

**Table 4.** Change in electrolyte conductivity of perilla leaf by pre-treatment washing method during storage (unit : %)

Treatment	Storage day				
	0	4	10	15	20
C	5.2±0.9 <sup>ab</sup>	-	-	-	-
TW	2.9±0.2 <sup>c</sup>	4.3±0.3 <sup>b</sup>	7.2±0.8 <sup>a</sup>	11.6±0.7 <sup>a</sup>	15.7±0.9 <sup>a</sup>
MH	5.6±0.1 <sup>a</sup>	4.4±0.4 <sup>b</sup>	5.4±0.4 <sup>bc</sup>	7.4±0.5 <sup>b</sup>	10.4±0.3 <sup>b</sup>
MHC	3.9±0.4 <sup>bc</sup>	6.1±0.3 <sup>a</sup>	4.8±0.3 <sup>c</sup>	8.5±0.9 <sup>b</sup>	12.5±1.0 <sup>b</sup>
C-MH	5.9±0.3 <sup>a</sup>	3.9±0.4 <sup>b</sup>	6.8±0.5 <sup>ab</sup>	7.0±0.6 <sup>b</sup>	10.5±0.3 <sup>b</sup>

Each value represents mean±SD.

Means with the different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

마이크로버블수 병용 세척보다는 순차적 세척 또는 단일 세척이 더 효과적으로 나타났다.

### 3. 깻잎의 표면색 변화

엽채류의 경우, 호흡 과정 중에 발생한 수분이 기공을 통해 방출됨으로써, 포장지 내부가 과습하게 되며<sup>24)</sup>, 이로 인해 깻잎의 장기 유통 시에 잎 주변부에 흑변 및 짓무름 현상이 발생하게 된다. 전처리 세척 방법별 깻잎의 저장 중 표면색 변화를 측정된 결과, 저장기간의 경과에 따라 L\* 및 b\* value는 감소하고, a\* value는 증가하는 경향을 나타내었다 (Fig. 3). a\* 및 b\* value를 기반으로 계산된 chroma value에서는 저장기간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냄으로써, a\* value 보다 b\* value의 변화폭이 더 넓게 나타났다. Kim 등<sup>25)</sup>의 연구에 따르면, 6 일간 저장한 깻잎에서 a\* value는 증가하고, b\* value는 감소하는 경향을 나타내었다. Yoo 등<sup>26)</sup>의 연구에서는 세척 방법이 다른 콩나물을 저장한 결과로써, 저장기간이 증가함에 따라 L\* value가 감소한다고 보고하였다. 이는 본 연구 결과와 같은 경향을 보여주고 있다. L\* value의 경우, C-MH와 MH가 저장 기간 중 약 5~7% 정도 변화하여 가장 변화폭이 적게 나타났다. L\* value와 같은 양상으로, a\* 및 b\* value는 C-MH와 MH에서 각각 약 5~8%, 20% 정도 변

화하여 변화폭이 적게 나타났다. 반면, TW는 L\*, a\*, b\* value에서 각각 43.5에서 38.7로, -10.7에서 -5.3으로, 27.7에서 15.6으로 가장 크게 변화하였다. Chroma value는 a\* 및 b\* value가 가장 적게 변화한 C-MH와 MH에서 각각 29.7에서 24.7, 24.5로 적게 변화하였다. 따라서, 본 실험의 결과로써, 탄산수 세척 후, 중온 마이크로버블수로 순차적으로 세척한 방법과 중온 마이크로버블수로 세척한 깻잎이 저장 중에 표면색을 유지하는데, 가장 우수한 효과를 보여 주었다.

### 4. 깻잎의 경도 변화

Fig. 4는 전처리 세척 방법별 깻잎의 저장 중 경도 변화를 나타낸 결과를 보여준다. 깻잎의 경도는 초기치 4.74±0.11 sec에서 증가하는 경향으로 나타난다. 저장 20 일 후에는 TW에서 6.20±0.14 sec로 가장 높이 증가한 경향을 나타내었고, 그 다음으로는 MHC가 6.06±0.13 sec로 나타내었다. 전기전도도와 표면색의 변화에서 가장 안정적인 결과를 나타낸 MH와 C-MH는 각각 5.59±0.37 sec, 5.47±0.12 sec로 상대적으로 가장 낮은 증가 경향을 나타내어, 저장 기간 동안 가장 낮은 변화를 보여주었다. Hou 등<sup>27)</sup>의 연구 결과에 의하면, 오존 마이크로버블수로 세척한 토마토는 유의적이지는 않지만, 대조구에 비해 경도가 낮은 경향

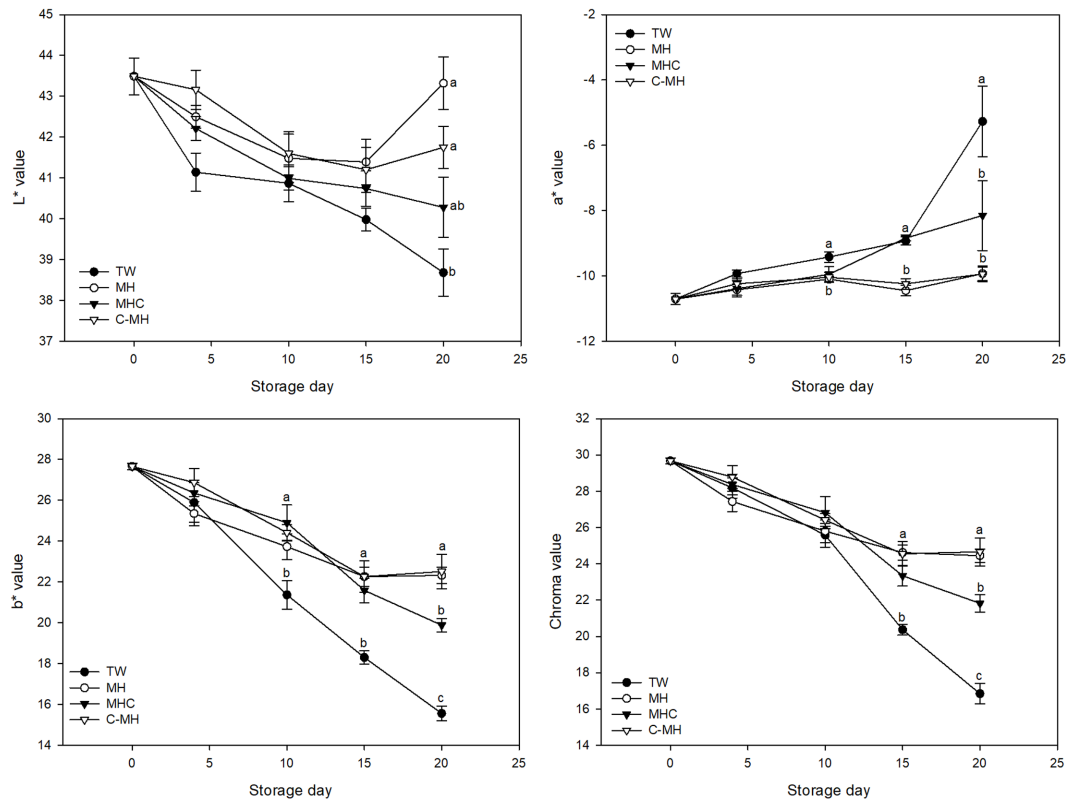
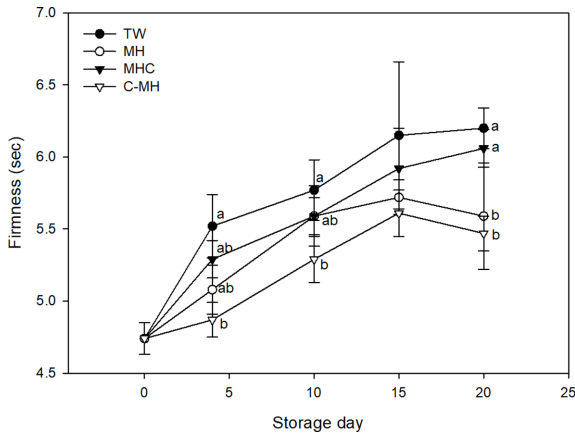


Fig. 3. Changes in surface color of perilla leaf during storage. Means with the different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 4.** Change of firmness of perilla leaf during storage. Means with the different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

을 보였다. 또한, Ikeura 등<sup>28)</sup>은 오존 마이크로버블수 처리가 감잎의 물리적인 특성에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서도 전처리 세척 방법에 따른 깻잎의 경도 변화는 초기에는 유의미한 차이를 보이지 않았으나, 저장기간이 증가함에 따라 차이를 나타내었다. 특히, 저장 종료 시점인 20 일차에는 MHC보다 MH 또는 C-MH에서 깻잎의 조직감 변화 억제 효과가 더 크게 나타내었다.

**5. 깻잎의 부패율**

일반적으로 농작물은 포장 유무 및 방법에 따라 품질 유지 및 유통기한에서 많은 차이를 나타낸다. 오이는 LDPE로 포장된 경우, 무포장에 비해 높은 품질 유지 효과를 나타내었으며<sup>29)</sup>, 배추는 유공 PP film으로 포장한 경우, 무포장에 비해 선도 유지 효과가 우수하게 나타났<sup>30)</sup>. 파프리카는 PP film으로 포장하여 10°C에서 저장한 경우, 상품성 보존에 효과적으로 나타났<sup>31)</sup>. 본 연구에서는 깻잎의 품질

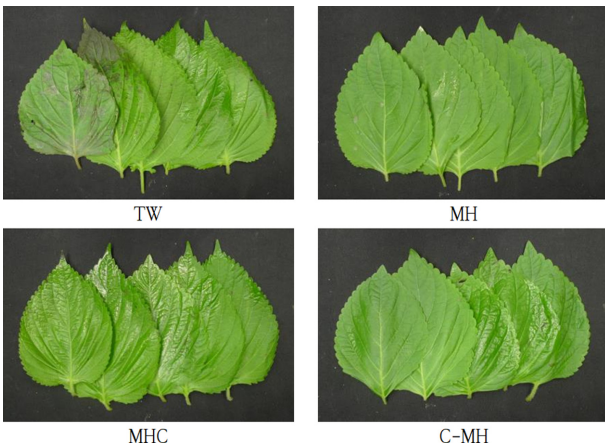
**Table 5.** Deteriorative rate of perilla leaf by pre-treatment washing method during storage (unit: %)

Treatment	Storage day				
	0	4	10	15	20
TW	0.0	0.0	5.5	16.4	38.2
MH	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7
MHC	0.0	0.0	0.0	9.1	21.8
C-MH	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9

유지 및 유통기한 연장을 위하여 전처리 세척 후, OPP 필름으로 포장하여 품질변화를 살펴보았으며, 부패율에서 품질 차이가 가장 두드러지게 나타났<sup>다</sup> (Fig. 5 및 Table 5). TW는 저장 10 일 후, 흑변 현상이 약 5.5% 정도 발생하고, 부패하기 시작하여, 저장 20 일차에 38.2% 정도의 부패율을 나타내었다. MHC는 저장 15 일차에 9.1%, 저장 20 일차에 21.8%의 부패율을 보여, 다소 높은 부패 현상을 나타내었다. 반면, C-MH는 저장 종료 시점인 20 일차에 10.9%로 가장 낮은 부패율을 보여주었다. 전기전도도, 표면색, 경도에서 C-MH와 유사한 경향을 나타낸 MH는 부패율에서도 유사한 결과를 나타내어, 저장 20 일차에 12.7%로 낮게 나타났<sup>다</sup>. 세척한 깻잎을 10°C에서 보관할 경우, 세척 온도에 관계없이 상품성을 3 일 이상 유지하지 어렵다고 보고되어 있지만<sup>32)</sup>, 본 연구에서는 전처리 세척 처리의 효과로 인하여 C-MH는 TW에 비해 부패율을 약 3.8 배 정도 억제하였고, 품질 유지 기한을 약 2 배 연장하는 효과를 나타내었다. 또한, 탄산수 세척 후, 열수 마이크로버블수의 2 단계 연속 세척 방법은 마이크로버블 탄산수의 단독 세척보다 신선도 유지에 우수한 효과를 나타내었다.

**요 약**

본 연구에서는 포장 유통되는 유기농 깻잎의 신선도 유지 및 유통기한 연장을 위한 방법을 개발하기 위하여 친환경적인 마이크로버블수를 활용하여 깻잎을 전처리 세척하고, OPP 필름으로 포장한 후, 저장하면서 품질변화를 평가하였다. 전처리 세척 조건에 따른 깻잎의 미생물 변화는 무세척 처리구에 비해 세척 처리구에서 감균 효과 크게 나타났다. 특히, C-MH는 초기 일반 세균수 감소에 효과가 두드러졌으며, 저장기간에 따른 곰팡이수 감소에도 효과적으로 나타났다. 전해질 이온 유출량의 경우, 초기에는 미세한 기포들의 영향을 많이 받는 마이크로버블수 세척구에서 높게 나타났으나, 저장기간이 증가함에 따라 TW에 비해 MH, MHC, C-MH에서 낮게 나타났다. 그중에서도 MH와 C-MH는 병용 세척 처리구인 MHC에 비해서 저장기간 동안 전해질 이온 유출량이 낮게 나타났다. 깻잎의 표면색을 표현하는 L\*, a\*, b\* value는 저장기간 동안 C-MH와 MH



**Fig. 5.** Comparison of Perilla leaf by pre-treatment washing method at 5°C for 20 days.

에서 가장 낮은 변화율을 보여주었고, MHC, TW 순으로 변화율이 크게 나타났다. 조직감을 나타내는 경도 역시 전 해질 이온 유출량과 표면색 변화와 유사한 결과를 보여주었다. 소비자의 상품 구매에 가장 영향을 끼치는 외관의 품질은 부패율로 확인할 수 있는데, C-MH가 저장기간 동안 가장 낮은 부패율을 나타내었다. 마이크로버블수를 활용한 세척 방법으로는 탄산-중온 마이크로버블수를 병용 처리한 것보다 중온 마이크로버블수를 단독으로 사용하거나 탄산수로 세척한 후, 중온 마이크로버블수로 순차적으로 세척한 경우가 신선도 유지에 효과적이었다. 특히, 외관적인 품질 면에서 탄산수로 세척한 후, 중온 마이크로버블수로 순차적으로 세척한 경우가 가장 우수한 결과를 보여주었다. 결과적으로, 깻잎의 신선도 유지 및 유통기한 연장에 중온 마이크로버블수 세척이 효과적임을 확인하였습니다. 또한, 순차적으로 병용 세척한 경우, 그 효과는 더 커짐을 확인하였다. 전처리 세척 후, 깻잎은 OPP film으로 포장되어 외부의 오염으로부터 차단되었고, 그로 인해 세척 효과가 유지될 수 있었다. 향후, 중온 마이크로버블수의 세척 효과를 증대시킬 수 있는 포장방법과 다른 세척수와의 병용 처리 연구를 동반 수행하여 깻잎의 신선도 유지 및 유통기한 연장 효과를 더욱 향상시킬 예정입니다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 지원에 의한 농림기술개발사업(GA141400-03) 및 과학기술정보통신부 지원에 의한 한국식품연구원의 기본연구사업(E0211002-05)으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Kim, H.Y., Lee, H.G., Seo, H.Y., Seo, W.D., Lee, M.J., Song, S.Y., Kim, J.I., Choi, J.Y. 2022. Antioxidant activities of korean perilla leaves (*Perilla frutescens*) by various cultivars. Korean J. Food Nutr. 35(6): 453-463.
- Lee, J.S., Lee, H.E., Lee, Y.S., Chun, C.H. 2008. Effect of packaging methods on the quality of leaf lettuce. Korean J. Food Presrv. 15(5): 630-634.
- Lee, J.S., Chung, D.S., Choi, J.W., Jo, M.A., Lee, Y.S., Chun, C.H. 2006. Effect of storage temperature and packaging treatment on the quality of leaf lettuce. Korean J. Food Presrv. 13(1): 8-12.
- Jeong, C.H., Um, G.J., Park, J.N. 2010. Effect of active MA mini-packaging on shelf-life maintenance during marketing of perilla leaves. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(6): 980-984.
- Wanakamol, W., Kongwong, P., Chuamuanphan, C., Bundhurat, D., Boonyakiat, D., Poonlarp, P. 2022. Hurdle approach for control of enzymatic browning and extension of shelf life of fresh-cut leafy vegetables using vacuum precooling and modified atmosphere packaging: commercial application. Horticulturae. 8(745): 1-17.
- Tao, S., Wang, J., Xie, J. 2024. Influence of different pre-cooling methods on the freshness preservation of bok choy (*Brassica rapa var. chinensis*). Food chemistry: X. 23(30): 101599.
- Jeong, J.W., Kim, J.H., Kwon, K.H. 2005. Comparison of quality characteristics of sesame leaf cleaned with various electrolyzed water during storage. Korean J. Food Presrv. 12(6): 558-564.
- Seo, J.M., Kim, J.P., Yang, Y.S., Oh, M.S., Chung, J.K., Shin, H.W., Kim, S.J., Kim, E.S. 2007. The degradation patterns of three pesticides in perilla leaf by cultivation, storage and washing. J. Fd. Hyg. Safety. 22: 199-208.
- Li, Y., Robert, E.B., Chen, J., Larry, R.B. 2001. Survival and growth of *Escherichia coli* O157:H7 inoculated onto cut lettuce before or after heating in chlorinated water, followed by storage at 5 °C or 15 °C. J. Food Prot. 64: 305-309.
- Liu, S., Oshita, S., Kawabata, S., Makino, Y., Yoshimoto, T. 2016. Identification of ROS produced by nanobubbles and their positive and negative effects on vegetable seed germination. Langmuir. 32: 11295-11302.
- Zhang, H., Tsai, S., Tikekar, R.V. 2021. Inactivation of listeria innocua on blueberries by novel ultrasound washing processes and their impact on quality during storage. Food control. 121: 107580.
- Lee, W.J., Lee, C.H., Yoo, J.Y., Kim, K.Y., Jang, K.I. 2011. Sterilization efficacy of washing method using based on microbubbles and electrolyzed water on various vegetables. J Korean Soc Food Sci Nutr. 40: 912-917.
- Inatsu, Y., Kitagawa, T., Nakamura, N., Kawasaki, S., Nei, D., Bari, Md.L., Kawamoto, S. 2011. Effectiveness of stable ozone microbubble water on reducing bacteria on the surface of selected leafy vegetables. Food Sci Technol Res. 17: 479-485.
- Saba, M.K., Moradi, S., Gouran, A. 2014. The effect of postharvest treatments and storage methods on leafy vegetable decay. J Middle East App Sc Tech. 6(4): 153-156.
- Koseki, S., Yoshida, K., Isobe, S., Itoh, K. 2001. Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water. J. Food Prot. 64: 652-658.
- Lamikanra O. 1981. Fresh-cut fruits and vegetables. CRC Press, New York, USA, pp. 187-222.
- Kim, B.S., Chang, M.S., Park, S.Y., Cha, H.S., Kwon, K.H. 2008. Effect of water temperature and packing type on quality of fresh-cut sesame leaf. J Korean Soc Food Sci Nutr. 97(2): 231-238.
- Lee, S.A., Youn, A.R., Kwon, K.H., Kim, B.S., Cha, H.S. 2009. Washing effect of micro-bubbles and changes in quality of lettuce (*Lactuca sativa L.*) during storage. Korean J. Food Presrv. 16(3): 321-326.
- Jiang, Y., T. Shina, N. Nakamura, and A. Nakahara. 2001. Electrical conductivity evaluation of postharvest strawberry damage. J. Food Sci. 66: 1392-1395.
- Kim, J.G., Y. Luo, R.A. Saffner, and K.C. Gross. 2005. Delayed modified atmosphere packaging of fresh-cut

- Romaine lettuce: effects on quality maintenance and shelf-life. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130: 116-123.
21. Luo, Y., J.L. McEvoy, M.R. Wachtel, J.G. Kim, and Y. Huang. 2004. Package atmosphere affects postharvest biology and quality of fresh-cut cilantro leaves. *Hort-Science*. 39: 567-570.
  22. A, Ferrante, L, Incrocci, G, Serra. 2008. Quality changes during storage of fresh-cut or intact swiss chard leafy vegetables. *J Food Agric Environ*. 6(3): 132-134.
  23. B.K., Das, Kim, JG. 2010. Combined effect of heat treatment and washing solutions on the quality and microbial reduction of fresh-cut paprika. *Hort. Environ. Biotechnol*. 51(4): 257-261.
  24. Lee, JS., Lee, HE., Lee, YS., Chun, CH. 2008. Effect of packaging methods on the quality of leaf lettuce. *Korean J. Food Preserv*. 15(5): 630-634.
  25. Kim, SJ., Sun, SH., Kim, GC., Kim, HR., Yoon, KS. 2011. Quality changes of fresh-cut leafy and condiment vegetables during refrigerated storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 40(8): 1141-1149.
  26. Yoo, JY., Jang, KI. 2011. Changes in quality of soybean sprouts washed with electrilyzed water during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 40(4): 586-592.
  27. Hou, C.Y., Chen, Y.R., Wu, J.S., Chen, H.L., Hsiao, C.P., Liu, C.T., Lin, C.M. 2022. Antibacterial efficacy and physiochemical effects of ozone microbubble water on tomato. *Sustainability*. 14(11): 6549.
  28. Ikeura, H., Hamasaki, S., Tamaki, M. 2013. Effects of ozone microbubble treatment on removal of residual pesticides and quality of persimmon leaves. *Food chemistry*. 138(1): 366-371.
  29. Lee, JS., Kim, GB., Kim HY., Jeong DH., Chei, DK., Chea YR., Park, MH., Jang MS., Hong, YP. 2021. The effect of packaging and storage temperature on quality changes of ‘White Dadagi’ cucumber. *Korean J. Packag. Sci. Tech*. 27(2): 115-121.
  30. Lee, JS. 2019. Comparison of packaging methods to prolong the freshness and quality of korean head cabbage (*Brassica rapa*). *Korean J. Packag. Sci. Tech*. 25(3): 101-109.
  31. Lee, JS. 2023. Quality changes as affected by storage temperature and PP film packaging on ‘Sirocco’ paprika on hydroponic. *Korean J. Packag. Sci. Tech*. 29(1): 59-65.
  32. Kim, B.S., Chang, M.S., Park, S.Y., Cha, H.W. and Kwon, K.H. 2008. Effect of water temperature and packing type on quality of fresh-cur sesame leaf. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr*. 37(2): 231-238.
- 투고: 2024.12.06 / 심사완료: 2024.12.21 / 게재확정: 2025.01.06

## 재생 종이펄프를 이용한 물의 상변화 지속시간 증가에 관한 연구

박주영<sup>1</sup> · 박기태<sup>1</sup> · 서종철<sup>1\*</sup> · 최석<sup>2</sup> · 이창형<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 패키징 및 물류학과

<sup>2</sup>Thermolab Korea

### Study on Increasing Phase Change Duration of Water Using recycled Paper Pulp

Jooyoung Park<sup>1</sup>, Kitae Park<sup>1</sup>, Jongchul Seo<sup>1\*</sup>, Seok Choi<sup>2</sup>, and Changhyeong Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Packaging & Logistics, Yonsei University, 1 Yonseidae-gil, Wonju, Gangwon-do, 26493, South Korea

<sup>2</sup>Thermolab Korea, Dongtansunhwan-daero, Hwaseong, Gyeonggi-do, 18471, South Korea

**Abstract** Conventional phase change materials (PCMs) are typically composed of pure water combined with super-absorbent polymers (SAPs), raising concerns regarding environmental sustainability, complex synthesis processes, and high material costs. In this study, we propose a pulp-water composite as an eco-friendly and cost-effective alternative to traditional PCMs. Recycled paper pulp (1-5 wt%) was incorporated into water-based PCMs to investigate its effects on thermal retention and phase transition behavior. The use of pulp offers advantages over SAP-based PCMs, including simpler synthesis, lower production costs, and easier material availability. Thermal and chemical properties were analyzed using differential scanning calorimetry (DSC), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), and data loggers. The results indicate that a 3 wt% pulp-water mixture extends temperature retention by 70 minutes compared to pure water. These findings suggest that pulp-enhanced water-based PCMs can serve as a sustainable, biodegradable, and economically viable alternative to conventional SAP-based PCMs, providing improved thermal performance while minimizing environmental impact.

**Keywords:** Thermal energy storage, Phase change materials, Recycled paper pulp, Cold chain system, Eco friendly

## 서론

최근 기후 변화 및 에너지 절감에 대한 관심이 증대됨에 따라, 지속 가능한 자원 사용과 에너지 효율 증대 방안이 중요시되고 있다. 그 중에서도 상변화 물질(Phase change material, PCM)은 에너지 저장 시스템의 열 저장 및 방출 과정에서의 높은 잠열 특성으로 인해 주목받고 있다. 특히, 0°C 부근에서의 냉열 저장을 위한 PCM은 냉장, 냉동 시스템 등 다양한 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 현재 0°C의 상변화온도를 가지는 PCM으로 주로 순수 물, 고흡수성 수지(Super absorbent polymer, SAP)를 포함하는 물 등이

주로 사용되고 있다. 이러한 PCM은 높은 잠열을 가지고 있으며, 비교적 쉽게 구할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, SAP의 경우 재사용성, 난분해 등으로 인해 문제점이 제기되고 있다. 현재 사용되고 있는 0°C 유지 PCM으로 사용되는 주요 물질의 특징은 다음과 같다.

첫번째, 물은 가장 널리 사용되는 PCM으로, 0°C에서 상변화 하며, 약 300 J/g의 높은 잠열을 가지고 있다. 물은 친환경적이며 쉽게 구할 수 있어 냉열 저장에 매우 유리하지만, 상변화 시 부피의 변화가 커서 장기 사용 시 용기의 내구성 문제가 발생할 수 있다.

두번째, SAP는 물을 흡수하여 하이드로겔화 하는 특성을 가지며, 이로 인해 PCM으로 사용될 때 부피 변화 문제를 해소할 수 있다. SAP 기반 PCM은 약 200-250 J/g의 잠열을 가지며, 장기간 사용 시에도 높은 안정성을 유지할 수 있는 장점이 있다. 그러나, SAP는 합성 고분자 물질로, 제조와 폐기 과정에서의 탄소 배출 및 난분해로 인해 환경

\*Corresponding Author: Jongchul Seo, Ph.D.  
Yonsei University, Department of Packaging & Logistics, 1 Yonseidae-gil, Gangwon-do 26493, South Korea  
Tel: +82-33-760-2697, Fax: +82-33-760-2954  
E-mail: jkseoo@yonsei.ac.kr

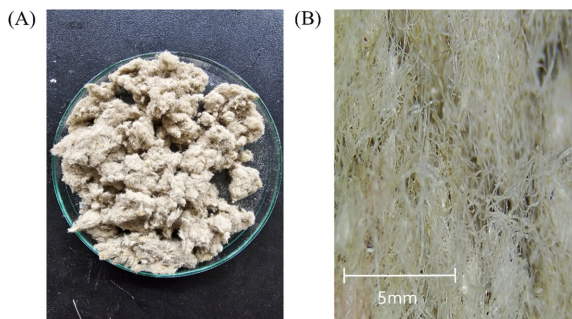
오염을 유발하는 문제점을 가지고 있다.<sup>1)</sup> 이로 인해 SAP를 대체하며 보다 지속 가능하고, 환경 친화적인 PCM 소재의 필요성이 대두되고 있다.<sup>2-4)</sup>

이에 따라 재활용 종이펄프의 활용 가능성에 대한 연구를 진행하였다. 재활용 종이펄프는 저비용의 친환경 소재로, 물 등의 PCM과 상호작용하여 상변화 과정에서의 열 저장 성능을 향상시킬 수 있다.<sup>5,6)</sup> 본 연구에서는 재생 종이펄프를 사용하여 물 기반의 PCM의 상변화 지속시간을 증가시키는 방안을 모색하고자 한다. 이는 기존 PCM과 비교했을 때, 자원의 효율적인 재활용 및 폐기물 감소를 통한 환경적 이점을 제공할 수 있을 뿐만 아니라, PCM의 열적 특성을 개선함으로써 효율적인 냉열 저장이 가능하도록 하는 데 기여할 수 있다. 따라서 본 연구는 재생 종이펄프를 활용한 PCM의 열적 특성과 상변화 지속시간을 분석하고, 기존의 0°C PCM과 비교하여 차별점을 도출하는 것을 목적으로 한다. 이러한 접근은 지속 가능한 소재 활용을 통한 PCM 성능 향상에 대한 새로운 가능성을 제시하며, 다양한 응용 분야에서의 활용성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구에서 사용된 재생 종이펄프는 Thermolab Korea



**Fig. 1.** (A) Recycled paper pulp and (B) microscopically magnified recycled paper pulp.

(Hwaseong, South Korea)에서 제공받았으며, 물은 증류수를 사용하였다. 제공받은 재생 종이펄프는 폐박스를 사용하여 물을 첨가해 초지기에 1시간동안 분쇄한 후, 100 °C 오븐에서 2시간 동안 건조시켜 펄프 형태로 제조하였으며, 제조된 재생 종이펄프는 Fig. 1에 나타내었다.











### 2. 물-재생 종이펄프 혼합물 제조

정밀 전자 저울 (AL204, Mettler Toledo, USA)을 사용하여 1~5 wt% 재생 종이펄프를 증류수에 넣어 혼합액 100 g을 제조하였다. 물-재생 종이펄프의 균일한 혼합을 위해 시료가 들어 있는 비커를 자기 교반기를 이용하여 상온에서 2시간 동안 교반 하였다. 본 실험에서 제조한 물-재생 종이펄프 혼합물의 조성과 혼합액 외관은 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서는 물의 질량 대비 재생 종이펄프의 질량을 1~5 wt%로 설정하여 연구를 진행하였으며, 샘플명은 재생 종이펄프 질량에 따라 각각 S1~S5로 명명하였다. S1과 S2에서, 교반 첫날의 샘플과 비교하였을 때, 3일 후의 샘플은 재생 종이펄프가 침전되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 펄프의 분산효과를 하락시켜 물성의 변화가 나타날 것으로 판단된다. S3~S5의 경우 물 대비 펄프의 양이 많아 침전이 이루어지지 않는 것으로 확인되었다.

### 3. 특성분석

제조된 물-재생 종이펄프 혼합물의 화학적 결합 또는 상호작용 특성은 푸리에변환 적외선분광법 (FT-IR, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)을 사용하여 측정하였다. 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ 에서 Attenuated total reflection(ATR) 방식으로 측정하였으며, 이때 FT-IR은 4  $\text{cm}^{-1}$ 로 분해되어 32 scan으로 기록하였다. 물-재생 종이펄프 혼합물의 열적 특성은 혼합물의 녹는점, 용융 엔탈피, 재사용성 및 녹는점 유지 시간을 측정하였다. 혼합물의 녹는점 및 용융 엔탈피는 시차주사 열량계 (DSC, TA Instrument Q10, New Castle, USA)를 이용하여 측정하였다. 측정 온도 범위는 -50에서 50°C, 승온속도 10°C/min 로 질소분위기 하에서 진행하였다. 혼합

**Table 1.** Solution stability of water-pulp mixtures with different composition of 1-5 wt%

Sample	S1	S2	S3	S4	S5
First day					
After 3 days					

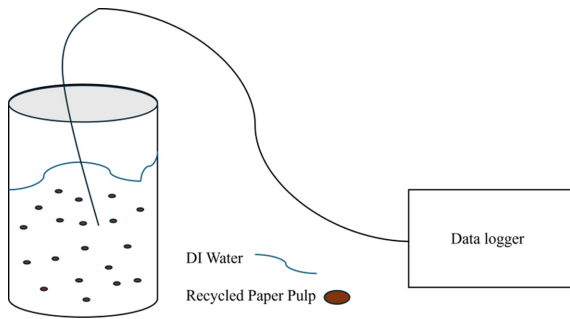


Fig. 2. Temperature measurement using a Data logger.

물의 재사용성은 1~100회까지 반복 3회 측정하였다. 측정 온도 범위는  $-50^{\circ}\text{C}$ 에서  $50^{\circ}\text{C}$ , 승온속도  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 질소분위기 하에서 측정하여 결정되었다. 제조된 혼합물의 온도 지속시간을 나타내는 온도-시간 그래프는 온도계(Data logger, 176T4, Testo, Japan)를 사용하였으며, 24시간 냉각 후 외부 온도를  $25^{\circ}\text{C}$ 로 유지하며 혼합물을 용해시켜 온도 지속시간을 측정하였고 이는 Fig. 2에 나타내었다.

## 결과 및 고찰

물-재생 종이펄프를 혼합하여 PCM을 제조할 때 펄프의 비율은 매우 중요한 요소이다. 펄프는 셀룰로오스가 주성분으로 이루어져 있어, 셀룰로오스가 가지고 있는 하이드록실 그룹(-OH)이 물과 상호작용하여 수소 결합을 형성한다. 이러한 상호작용은 PCM의 상변화 특성을 조절하며, 에너지 저장 및 방출 과정을 느리게 만들어 온도 지속 시간을 늘리게 된다.<sup>7)</sup> 하지만 펄프의 비율이 적절하지 않을 경우, 물과의 수소 결합이 균일하게 이루어지지 않아 열 저장 및 방출 성능이 저하될 수 있다. 펄프의 비율이 너무 낮으면, 물의 결정화에 미치는 펄프의 역할이 충분하지 않아 PCM의 전체적인 성능 향상을 기대하기 어렵다. 반면, 펄프의 비율이 너무 높으면 물의 잠열 기여도가 감소하여 전체 PCM의 잠열이 낮아질 수 있다. 따라서, 적절한 펄프 비율을 설정함으로써 물의 높은 잠열 특성과 펄프로 인한 물의 결정화도를 최적화하여 PCM의 성능을 극대화하는 것이 중요하다. 물과 펄프 간의 비율을 맞추는 것은 PCM의 장기적인 안정성과 재사용성을 확보하는 데 중요한 역할을 한다.

물-재생 종이펄프 혼합물에서의 분자 간 상호작용을 조사하기 위해 FT-IR 분석을 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 물은 O-H bond ( $3300\text{ cm}^{-1}$ ), H-O-H bond ( $1600\text{ cm}^{-1}$ ), 재생 종이펄프는 O-H bond ( $3300\text{ cm}^{-1}$ ), C=O bond ( $1730\text{ cm}^{-1}$ ), C-O-C 및 C-O bond( $1100\text{ cm}^{-1}$ ) 피크가 확인되었다. 물-재생 종이펄프에서는 물과 재생 종이펄프에서 기인한 O-H bond ( $3300\text{ cm}^{-1}$ ), C=O bond, H-O-H bond ( $1600\text{--}1730\text{ cm}^{-1}$ ), C-O-C 및 C-O bond( $1100\text{ cm}^{-1}$ ) 피

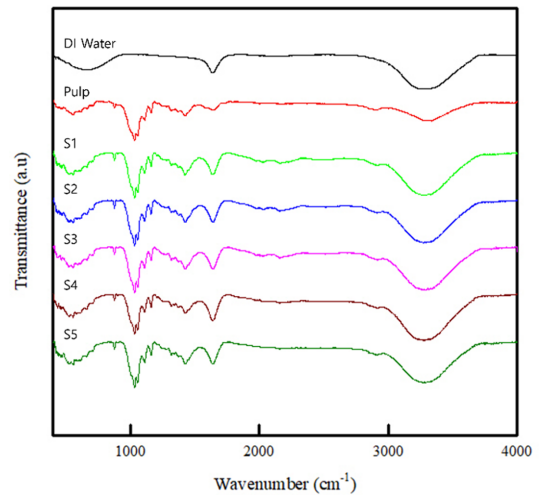


Fig. 3. FT-IR spectra of water-pulp mixtures.

크가 확인되었다.

S3에서 셀룰로오스와 결합 되지 않은 물과 결합된 물의 비율은 균형을 이루며, 이는 펄프의 셀룰로오스와 물 분자 간의 상호작용을 최적화하는 데 기여한다. 결합된 물은 펄프 표면에 고정되어 강한 수소 결합을 형성하며, O-H 피크의 강도를 증가시킨다.<sup>8)</sup> 동시에, 결합되지 않은 물은 펄프 주변에서 높은 이동성을 가지며 O-H 피크의 분포를 넓히는데 기여한다. 이러한 균형 상태는  $3300\text{ cm}^{-1}$  대역에서 강하면서도 넓은 피크를 형성하는 주요 원인으로 판단된다.<sup>9-11)</sup> 펄프의 혼합 비율에 따른 피크의 변화는 크게 관찰 되지 않는데, 이는 물과 혼합 된 펄프 비율에 따른 혼합물의 화학적 구조 변화가 이루어지지 않아 나타나는 현상으로 보여진다.

물-재생 종이펄프 혼합물의 비율에 따른 용융온도와 잠열값을 구하기 위해 DSC분석을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다. 모든 샘플에서  $0^{\circ}\text{C}$  근처에서 열 흡수 피크가 관찰되며, 이는 물의 용해와 관련된 상변화를 나타낸다. 펄프의 농도가 증가함에 따라 열 흡수 피크의 크기가 변하는 것을 확인할 수 있다. S3에서는 다른 샘플에 비해 피크가 넓게 퍼지는 현상을 확인할 수 있다. 이는 펄프의 존재가 물의 상변화 과정에 영향을 미치며, 특히 펄프가 물의 결정화 과정에 물리적 방해로 일으켜 상변화 온도와 잠열에 영향을 줄 수 있음을 시사한다.<sup>12)</sup>

셀룰로오스는 본질적으로 결정성과 비결정성 영역을 모두 가지는 구조이지만 물을 첨가하였을 때, 셀룰로오스 내부의 비결정성 영역에서 더 많은 상호작용이 발생하게 된다. 이는 셀룰로오스가 결정성 영역에서 -OH기의 강한 결합을 가지고 있기 때문에 셀룰로오스 분자들이 불규칙하게 배열되어 있는 비결정성 영역보다 셀룰로오스와 물 분자의 상호작용이 이루어 지지 않기 때문이다. 따라서 전체적인

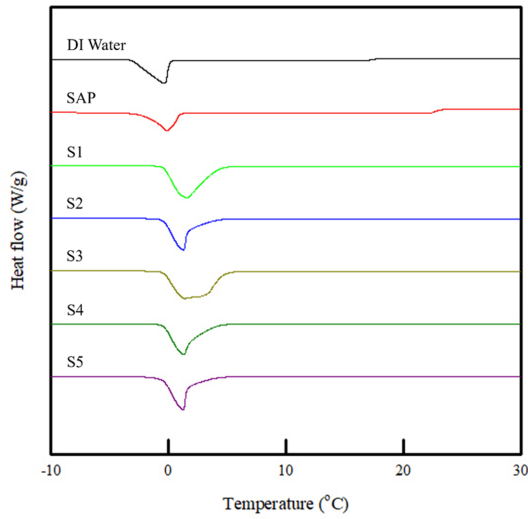


Fig. 4. DSC of water-pulp mixtures.

구조에서 비결정성 영역의 비율이 상대적으로 증가하게 된다. 이는 물 분자가 주로 셀룰로오스의 비결정성 영역에서 상호작용하여 비결정성 영역의 비율이 증가하는 현상이다. 비결정성 영역에서는 수소 결합이 형성되지만, 이 영역은 결정성 영역에 비해 열 안정성과 에너지 저장 능력이 낮아 잠열 감소로 이어진다.<sup>13-14)</sup> 이는 셀룰로오스로 이루어진 펄프의 비율이 많아질 수록 물-재생 종이펄프 PCM의 성능이 떨어짐을 의미한다.

펄프가 물 내에 분산됨에 따라, 큰 결정보다 작은 결정의 형성이 증가한다. 펄프 섬유는 물 속에서 이물질로 작용하여 결정화 과정을 방해하고, 이는 물 분자의 이동을 제한하여 작은 결정의 형성을 촉진한다.<sup>15)</sup> 물의 양이 동일하다면, 혼합물이 가지는 잠열의 총량은 같지만, 펄프가 혼합될 경우 얼음 결정의 크기가 작아지고 결정화가 불균일하게 진행되어 상변화가 한 번에 일어나지 않고, 점진적으로 진행될 가능성이 증가한다. 이는 열 전달 성능에 일부 긍정적인 영향을 미칠 수 있으나, 펄프의 총량이 증가하면서 물 분자 일부가 펄프 섬유 사이에 갇혀 고체 상태의 PCM을 형성하지 못하고, 상변화에 영향을 끼치지 못할 가능성이 있다. 따라서 물의 부피 농도가 저하됨에 따라 전체적인 잠열 용량은 감소하는 경향을 보인다. 따라서 펄프의 농도를 조절하여 물의 잠열 기여도와 열 전달 성능 간의 균형을 최적

화하는 것이 PCM 설계에 중요하다.

본 연구는 PCM 시스템에서 펄프 함량 최적화의 중요성을 강조한다. S3가 가장 높은 잠열 용량을 나타내는 최적의 비율로 확인되었으며, 이는 물 내 펄프의 분산이 가장 효과적으로 이루어졌기 때문이다. 이 결과는 PCM 설계에서 물-재생 종이펄프 비율을 신중하게 고려해야 함을 시사한다. S3에서 열전이 피크가 넓어진 현상은 농도 특이적 상호작용, 그리고 물 분자와의 복합적 상호작용에 기인한 것으로 분석된다. 농도 특이적 상호작용으로 인해 셀룰로오스 섬유와 물 간의 수소 결합이 강화되며, 열전이가 단계별로 발생하여 넓은 피크를 형성하는 것으로 판단된다. 또한, 물 분자의 결합 및 분포가 셀룰로오스와 물리적으로 결합된 물과 결합되지 않은 물 사이의 균형을 이루면서 복합적 상호작용을 하며, 이는 피크의 넓어짐 현상을 더욱 촉진하는 것으로 사료된다.<sup>16-17)</sup>

기존 0°C PCM과 비교 평가를 위해 물(DI Water), 물-SAP(SAP), 물-재생 종이펄프 혼합물(S1~S5)의 온도 지속 시간을 측정하였다. 물질은 24시간 동결 후, 해동하며 온도 지속 시간을 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 5와 Table 3에 나타내었다. DI Water의 경우 약 225분의 온도 지속시간을 보였고, SAP의 경우 물보다 약 30분이 길어진 온도 지속 시간을 보였다. 물-재생 종이펄프의 S3이 약 306분으로 가

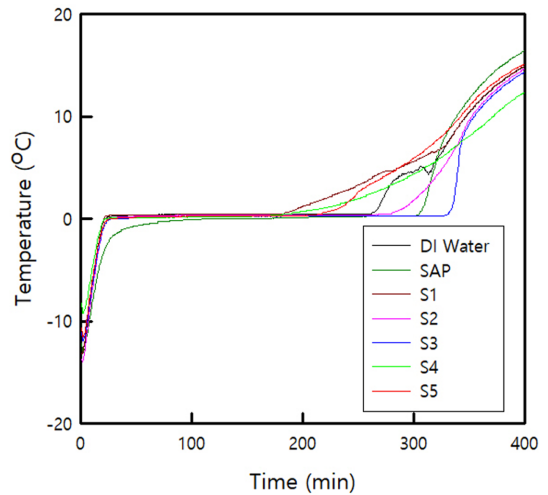


Fig. 5. Temperature-time curves for water, SAP and water-pulp mixtures.

Table 2. Latent heat depends on the concentration of recycled paper pulp in water-pulp mixtures

Sample	DI Water	SAP	S1	S2	S3	S4	S5
$\Delta H_m$ (J/g)	291.9±1.25	256.3±1.06	321.2±1.4	293.0±1.46	327.6±0.95	302.8±1.32	313.4±1.42
$T_m$ (°C)	0	1.04	1.3	1.03	1.17	1.07	1.07

Table 3. Temperature-time for water, SAP and water-pulp mixtures.

Sample	DI Water	SAP	S1	S2	S3	S4	S5
Time (min)	224.9±2.3	258.8±2.4	155.4±2.5	255.5±2.5	305.9±2.9	162.9±2.6	187.7±2.6

장 긴 온도 지속시간을 보였다. 이는 DSC 결과와 비교해 봤을 때, S3이 높은 잠열을 가지게 되어 온도 지속시간이 늘어난 것으로 사료된다.

하지만 3% 펄프를 함유한 물 보다, 낮거나 높은 펄프의 비율을 가진 물은 온도 지속시간이 줄어들었는데, 이는 물과 펄프 혼합 시 펄프는 물의 결정화 속도를 늦추어 PCM으로써의 온도지속시간을 늘릴 수 있게 하지만 펄프의 비율이 낮을 경우, 결정화 속도를 늦추는 현상이 충분히 형성되지 않아 PCM의 상변화 과정에서 온도지속시간 증가의 성능이 저하되기 때문이다. 또한, 펄프의 비율이 높을 경우, 잠열에 기여하는 물의 부피가 줄어들므로 상변화에 기여할 수 있는 열용량이 줄어들게 된다.<sup>18)</sup> 이는 결과적으로 PCM의 잠열 감소를 초래하며, 상변화 과정에서 저장할 수 있는 에너지가 줄어드는 결과를 낳게 된다. 물은 높은 잠열을 가지므로 상변화 시 에너지 저장에 중요한 역할을 하지만, 펄프의 비율이 높아지면 물의 기여도가 감소하게 되어 PCM의 총열 저장 용량이 저하하는 것으로 사료된다.<sup>19)</sup>

재사용 테스트를 위해 DSC 분석을 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 6과 Table 4에 나타내었다. 녹는점은 0°C 보다 높게 나타났는데, 이는 시료의 농도, 혼합 균질성, 열 용량의 차이 등이 물의 상변화 온도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 물-재생 종이펄프 혼합물이 완전히 균질하지 않을 경우, 일부 물 분자는 상변화를 일으키지 못할 수 있다.<sup>20)</sup>

첫 번째 사이클과 50번째 사이클, 100번째 사이클의 DSC 그래프를 비교했을 때, 재사용 횟수가 증가하면서 열 용량이 미세하게 감소하는 것이 확인되었다. 이러한 열용량의 감소는 재사용 횟수가 증가하며 펄프의 물에 대한 분산이 줄어드는 것이 원인인 것으로 판단된다.<sup>21)</sup> 하지만 PCM으로 사용됨에 있어서 큰 차이를 보이지 않는다.<sup>22)</sup> 이는 펄프와 물로 이루어진 PCM이 반복적인 상변화 과정에서도

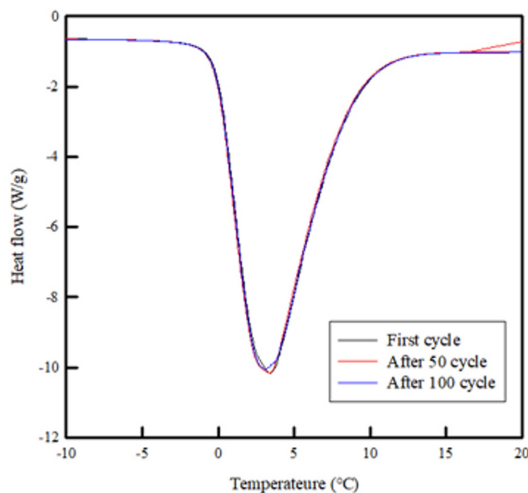


Fig. 6. Thermal cycling test of water-pulp mixtures.

Table 4. The latent heat of water-pulp mixtures during thermal cycling

Cycle	1	50	100
$\Delta H_m$ (J/g)	327.6	326.6	325.8

안정적인 열 저장 및 방출 성능을 유지하고 있음을 의미한다. 즉, PCM이 여러 번의 재사용 과정에서도 초기의 잠열 특성을 유지하고 있음을 보여준다. 이러한 결과는 물-재사용 종이펄프 혼합물 PCM이 높은 재사용성을 가지며, 열적 안정성이 우수하다는 것을 의미한다. 물과 재사용 종이펄프를 혼합한 PCM이 자연 친화적이고, 재사용성에서 현재 사용되고 있는 PCM보다 효과적으로 사용될 수 있음을 보여준다. 하지만 Fig. 4와 Fig. 6의 S3 데이터에서 상이한 그래프의 모습을 보였는데, 이는 DSC 데이터 측정 시, 단일 사이클과 연속적인 사이클 차이에 따른 변화와, 동일한 시기에 샘플측정이 이루어지지 않아 펄프의 분산 효과가 상대적으로 낮아져 열적 특성의 변화가 나타난 것으로 판단된다. 이에 따라 같은 조건에서 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.<sup>20)</sup>

## 요 약

본 연구에서는 물과 재생 종이펄프를 혼합하여 PCM을 제조하고, FT-IR, DSC, Data logger, 재사용 테스트를 통해 물질의 열적 특성과 재사용성을 분석하였다. 이 연구는 물-재생 종이펄프의 혼합물을 통해 상변화 지속시간을 증가시키는 방안을 모색하며, PCM의 환경적 이점과 열적 성능을 개선하는 것을 목표로 하였다. FT-IR분석을 통해 물-재생 종이펄프 혼합물에서의 주요 작용기 진동을 확인하였다. 다양한 농도의 펄프 혼합물에 대한 FT-IR 스펙트럼에서, 물-재생 종이펄프 간의 명확한 화학적 상호작용이 관찰되지 않았다. 이는 물과 재생 종이펄프가 단순히 물리적으로 혼합된 상태로 존재하며, 화학적 결합 없이 물리적 혼합만 이루어졌음을 시사한다. DSC 분석에서는 물-재생 종이펄프의 상변화 특성을 평가하였다. 모든 샘플에서 약 0°C 근처에서 열 흡수 피크가 확인되었으며, 이는 물의 용해와 관련된 상변화를 나타낸다. 일정 비율의 펄프가 물 분자의 이동을 방해하여 상변화 온도에서 잠열값이 높아지고 지속 시간이 길어지는 특성이 확인되었다. Data logger를 사용하여 PCM의 열적 특성을 측정하였는데, 펄프를 혼합한 PCM은 상변화 과정에서 보다 오랜 시간 동안 일정한 온도를 유지할 수 있음을 보여주었다. 이는 물과 펄프의 수소결합을 통해 열을 저장하고 서서히 방출하는 역할을 하여, PCM의 상변화 지속 시간을 증가시키는 데 기여함을 의미한다. 이러한 특성은 냉열 저장 시스템에서 온도 변동을 최소화하고, 효율적인 에너지 관리를 가능하게 한다. 마지막

으로 물-재생 종이펄프 PCM의 재사용성을 평가하기 위해 100회 반복하여 열적 특성을 분석하였다. 잠열값과 온도지속시간이 가장 우수했던 S3을 이용해 평가하였으며, DSC 결과에서 첫 번째 사이클과 100번째 사이클의 열 흐름 곡선이 유사하게 나타났다. 이는 물-재생 종이펄프 PCM이 높은 재사용성을 가지고 있음을 시사한다. 이는 PCM의 열적 안정성이 우수하다는 것을 의미하며, 재사용이 가능하여 환경적 이점을 제공할 수 있다. 본 연구에서 개발한 PCM은 현재 사용되고 있는 폴리머 기반의 PCM을 대체할 수 있을 것으로 판단되지만, 이를 위해 펄프 생산의 표준화, 펄프 처리 공정의 최적화 등의 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 감사의 글

이 논문은 2023년 정부 (과학기술통신부)의 재원으로 한국연구재단(RS202300208596), 2021년 정부 (국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원(RS2021KA163041)의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업 연구임.

## 참고문헌

- Arunraj, A., Ariharasudhan, R., Ramesh Babus, V., Sundaresan, S. 2024. Environmental impact of superabsorbent polymers - a comprehensive review. *Man-Made Fibers International*. 74(1): 24-26.
- Zhang, X., Shi, Q., Luo, L., Fan, Y., Wang, Q., Jia, G. 2021. Research progress on the phase change materials for cold thermal energy storage. *Energies*. 14(24):8233.
- Raut, D., Tiwari, A.K., Kalamkar, V.R. 2022. A comprehensive review of latent heat energy storage for various applications: an alternate to store solar thermal energy. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 44:446.
- Enkateswarlu, K., Ramakrishna, K. 2022. Recent advances in phase change materials for thermal energy storage-a review. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 44:6.
- Amberkar, T.; Mahanwar, P. 2021. Study and characterization of phase change material-recycled paperboard composite for thermoregulated packaging applications. *Materials Proceedings*. 7(1):17.
- Park, J., Park, K., Seo, J., 2024. A Study on the thermal properties of binary eutectic mixed PCM using polyethylene glycol and 1,4-butanediol. *Korean Journal of Packaging Science and Technology*. 30(2):101-106.
- Jarvis, M.C. 2023. Hydrogen bonding and other non-covalent interactions at the surfaces of cellulose microfibrils. *Cellulose* 30:667-687.
- Lommerse, J.P., Price, S.L., Taylor, R. 1998. Hydrogen bonding of carbonyl, ether, and ester oxygen atoms with alkanol hydroxyl groups. *Journal of Computational Chemistry*. 18(6):757-774.
- Lee, Y. 2017. Studies on phase transition behavior of cellulose/ionic liquid/cosolvent system and their applications. Ph.D. Dissertation, Yeungman University, Gyeongsan, South Korea.
- Lee, S., Jeon, S., Do, G., Lee, S., Kim, B., Min, K., Kim, S., Heo, Y. 2011. Preparation of cellulose nanofibrils and their applications: High strength nanopapers and polymer composite films. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 39(3):197-205.
- Leskinen, M., Kilpeläinen, I., Hietala, S. 2024. Interaction of cellulose and water upon drying and swelling by <sup>13</sup>C CP/MAS NMR. *Cellulose*. 31:10745-10769.
- Parandi, E., Pero, M., Kiani, H. 2022. Phase change and crystallization behavior of water in biological systems and innovative freezing processes and methods for evaluating crystallization. *Discover Food*. 2:6.
- Son, Y. 2020. Structural control and properties of cellulose-based nanoparticles, flexible/transparent films, and 3-D interlinked fibrous membrane. Ph.D. Dissertation, Konkuk University, Seoul, South Korea.
- O'Neill, H., Pingali, S.V., Petridis, L., He, J., Mamontove E., Hong, L., Urban, V., Evans, B., Langan, P., Smith, J.C., Dvison, B.H. 2017. Dynamics of water bound to crystalline cellulose. *Scientific Reports*7. 11840.
- Kwon, J., Yoon, B., Cho, S., Lee, S.K., Kim, H., Kim, D., Suhr, J. 2017. A Study on Heat Dissipation characteristics of PMMA composite films with phase change material. *Composites Research*. 30(5):288-296.
- Kim, D. Physicochemical surface modification of cellulose nanofibril and its application study. 2020. Master's Dissertation. Sejong University. Seoul, South Korea.
- An, J., Youn, H., Joung, Y., Kim, T. 2012. Determination of crystallinity index of cellulose depending on sample preparation and analysis instruments. *Journal of Korea TAPPI*. 44(4): 43-50.
- Eletsii, A.V. 2022. Phase change materials with enhanced thermal conductivity and heat propagation. *Materials Chemistry and Physics*. 2(1):18-42.
- Han, D., Yang, L., Wang, S., Zeng, X., Tang, L., Liu, K., Liang, K., Shen-Tu, H., Guo, L., Bai, L., Huang, Y. 2022. Thermally conductive composite phase change materials with excellent thermal management capability for electronic devices. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 33(2): 1008-1020.
- Choi, S. 2021. Analysis of rubber material using differential scanning calorimetry (DSC). *Rubber technology*. 22(1):15-18.
- Anant Shukla, Buddhi, D., Sawhney, R.L. 2008. Thermal cycling test of few selected inorganic and organic phase change materials. *Renewable Energy*. 33(12):2606-2614.
- Chami Khazraji, A., Robert, S. 2013. Interaction effects between cellulose and water in nanocrystalline and amorphous regions: A novel approach using molecular modeling. *Journal of Nanomaterials*. 2013(1):409675.

# A Short Review on Greenwashing: General Terms, Certifying Organizations and Emerging Technologies

Aswathy Jayakumar<sup>1,†</sup>, Jihyo Hwang<sup>1,†</sup>, Sabarish Radoor<sup>2</sup>, Gye Hwa Shin<sup>3</sup>, and Jun Tae Kim<sup>1,4\*</sup>

<sup>1</sup>*Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea*

<sup>2</sup>*Department of Polymer-Nano Science and Technology, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si 54896, Republic of Korea*

<sup>3</sup>*Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Gunsan 54150, Republic of Korea*

<sup>4</sup>*BioNanocomposite Research Center, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea*

**Abstract** Due to the increase in environmental issues and public awareness, many stakeholders including consumers, investors, governments, and corporations, are demanding green (eco-friendly) products. This is putting pressure on many companies to make green products and disclose their environmental performance. Greenwashing is a marketing strategy used by some companies to make their products or services appear more environmentally friendly than they really are. This can mislead consumers into making more sustainable choices. However, these terms are not known or heard much by customers, other employers, or the public. Hence, this short review aims to i) provide a general introduction to greenwashing, ii) introduce some terms such as green hushing and green marketing, iii) discuss the impacts of greenwashing on business and environment, iv) explore green certifications and regulations by countries, and v) explore the various challenges, recommendations and future directions.

**Keywords** Greenwashing, Green hushing, Artificial intelligence

## Introduction

Consumer needs for green products are tremendously increasing day by day. This is due to consumer awareness of health issues along with environmental concerns. Beyond this, changing climatic conditions and the emergence of natural disasters are prime factors<sup>1,2</sup>. This is driving an alarming increase in the need for greener innovation and environment-friendly approaches<sup>3</sup>. Hence, companies provide brand names that suggest eco-sustainability, including compostable, sustainable, green, eco, organic, natural, bio, and zero impact<sup>4</sup>. In addition to naming, it plans to attract consumers' attention by providing images of greenery. Another strategy is to use a green-based color scheme in advertising and claim eco-friendly attributes. This process is known as greenwashing, first coined by Jay Westerveld in 1986<sup>4</sup>. Greenwashing is an unsubstantiated claim to consumers that a company's products are inherently green, with no negative impact on the envi-

ronment and humans<sup>5,6</sup>.

About 90% of consumers are interested in brands that prioritize demonstrating green technology, as suggested by the research by Dentsu International and Microsoft Advertisement. Many companies also have embraced greenwashing as their marketing strategy. According to a report by the European Commission (2023)<sup>7,8</sup>, about 53% of green claims provide vague or misleading information, and about 40% of them have no evidence to support them. In addition, about half of the green labels provide weak or non-existent validation. In the EU itself, 230 sustainability labels and 100 green energy labels have diverse transparency.

## Definition of terminology

### 1. Greenwashing and green hushing

Greenwashing and green hushing are very different terms that are very often confused. Green hushing intentionally communicates the company's sustainable practices, which are the exact opposite of greenwashing<sup>9,10</sup>. However, neither term is true for aspects related to sustainability. Some of the reasons behind the purpose of greenwashing are mentioned in Fig. 1. To avoid public scrutiny, many companies hide environmental claims as a survival strategy. In general, smaller companies are more likely than larger companies to adopt green hushing

†A. Jayakumar and J. Hwang equally contributed to this research as co-first authors

\*Corresponding Author: Jun Tae Kim, Ph.D.

Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, 26 Kyunghedae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, 02447, South Korea  
Tel: +82-2-961-9408

E-mail: jtkim92@khu.ac.kr

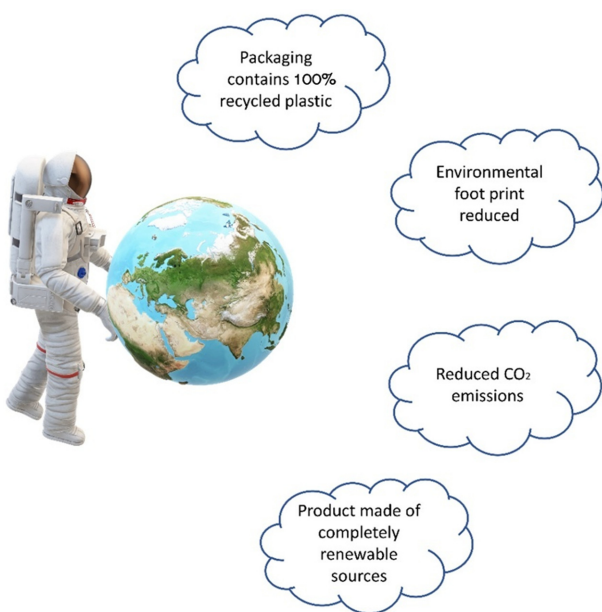


**Fig. 1.** Reasons behind greenwashing.

practices. Additionally, it is very difficult to identify and categorize green-hushed products without a brand name. The best way to identify these kinds of practices is with third-party certifications or labels. However, in the case of organic laundry, in most cases, such certification is not obtained. Most consumers today prefer organic products with or without labels. Most of these organic products are not certified by any certification system. Companies or agencies provide many advertising captions for greenwashing as shown in Fig. 2.

**2. Green marketing**

Green marketing is entirely different from all the terms discussed above. Green marketing, also known as eco-marketing or sustainable marketing, can be described as a business or



**Fig. 2.** Typical advertising slogans for greenwashing.

organization that sells products or services based on legitimate environmental positives<sup>11,12</sup>. These practices are generally honest and transparent and must meet the following criteria:

- All the products are manufactured in a sustainable way
- Products or their services will be free of toxic materials or chemicals
- All the products will be recyclable or made from recycled materials
- Renewable are not made will be used as raw materials for manufacturing new products
- Products are not made from threatened or endangered species or their areas
- Focused on reusable or repairable material rather than disposable
- Excessive packaging should not be used
- All the workers will be paid fairly

The goal of green marketing is to increase consumer awareness and demand for products and services that are better for the environment, promote the conservation of natural resources, and reduce pollution and waste<sup>13,14</sup>. Green marketing can take many different forms, such as promoting the use of renewable energy sources, reducing the use of hazardous chemicals, promoting the use of recycled materials, and encouraging sustainable production practices<sup>15,16</sup>. The main reasons for adopting green marketing are opportunities or competitive advantages, corporate social responsibility, government pressures, competitive pressures, and cost or profit issues (Fig. 3). Companies can also use eco-labels and certifications to communicate their commitment to sustainability to consumers. However, green marketing has also been criticized for misleading or not fully informing consumers about the environmental benefits of products or services. Therefore, it is important for businesses to be transparent with their green marketing claims and to ensure that their environmental practices are truly sustainable.



**Fig. 3.** Reason behind the adopting green marketing.

Green registration marks are now being rejected by many authorities. For example, the United States Patent and Trademark Office (USPTO) refused to give cement as Green cement. Many other products were also rejected, such as key cards (Green Key), natural fibers (Carbon negative fiber), and clothing (Zero waste tee). The primary goal of organizations such as the U.S. Federal Trade Commission (FTC) is to protect consumers by enforcing laws designed to ensure competitive and fair markets. The criteria for distinguishing real green products from greenwashing are as follows:

- Packaging and advertising should strictly explain all the claims related to green in plain language and in readable type within close proximity to the claim.
- The claim regarding the environment should clearly specify whether it refers to the entire product or just a portion of the packaging.
- Marketing claims about products should not overstate directly or by implication about environmental attributes to benefit
- If a product claims a benefit compared with the competition, then the claim should be substantiated.

### 3. Impacts of greenwashing on business and environment

According to a report by Cortnell<sup>17)</sup>, there are 7 sins of corporate greenwashing and they are as follows:

- The sin of hidden trade-off: This term can be used to describe the condition where the products or services appear to be environmentally sustainable in one aspect, but it is harmful or have a negative impact in another way.
- The sin of no proof: Many products are claimed as green without much evidence of sustainability or certifications.
- The sin of vagueness: Many environmental claims used for marketing lack specificity, which can be problematic and lead to misunderstandings that products are sustainable with green certifications. They may provide all the terms and slogans related to environmental sustainability.
- The sin of worshipping false labels: Providing false labels or certifications can mislead the consumers. To avoid these things, customers and employers should know about the actual certifications as well as logos or labels.
- The sin of irrelevance: Sometimes they may provide irrelevant product descriptions which may contain details related to already banned products.
- The sin of lesser of two evils: It is used to describe the environmental benefits of similar products, which have no environmental benefits. However, it may be morally justifiable to choose the option, which is a comparatively lesser impact.
- The sin of fibbing: This term may be used to describe environmental claims that are deliberately false.

The practice of greenwashing should be avoided as it has many negative impacts on humans and the environment<sup>18)</sup>.

Even though everyone knows the negative impacts of greenwashing, there is no real motivation to deal with this issue. The major negative impacts of greenwashing on business include as follows:

- Undermines brand image
- Adverse environmental impacts
- Lose consumer's trust
- An independent investigation will be initiated due to the misleading marketing claims.
- Misleading environmental claims will end up getting sued for the damages caused by them
- Reputational damage and partnership-related issues
- Financial loss and investment risk due to misleading environmental claims
- Green hushing (under-reporting and hiding)
- Negative media attention
- Greenwashing will create a negative effect on innovations and healthy competition

Many companies engage in greenwashing through advertising and press releases. However, they make no truthful commitments to achieve green initiatives or their accomplishments. If a company's green marketing is found to be false, the company may be prosecuted and fined for greenwashing, which will affect the company's reputation and ultimately affect their sales targets and product commercialization<sup>19)</sup>. For the safety of consumers and investors, the UN High-Level Expert Group on Net Zero Emissions Commitments of Non-State Entities has set preventive measures to avoid being undermined by misleading claims, ambiguity, and greenwashing. The major principles to reduce greenwashing are as follows:

- Stay updated with the latest and best sustainability practices that show sustainable development and eco-friendlier nature
- Internal practices and policies should be matched with environmental claims
- Environmental claims should be more specific and clearer without using vague language or broad statements
- Impacts, plans, policies, and progress should be transparent
- Align commitments with actions and investments

It is very difficult to rely on environmental claims in packaging or other systems. Many such claims are also not trusted by consumers. The European Commission has set new standards to prevent companies from making false claims about the environmental impacts of their products and services. The main objectives of the green claim proposal are as follows:

- To make the green claim reliable, comparable, and verifiable across the EU
- To protect the consumers and others from greenwashing
- To create a circular and greener EU economy by enabling consumers with proper information while making purchase decisions

- To help to establish a level playing field

In March 2022, the EU endorsed a new proposal for a Directive on Green Claims to empower consumers in green translation. Later in March 2023, the EU adopted another proposal for a Directive on Green Claims. This offer aims to provide consumers with reliable, comparable, and verifiable environmental information. The proposal is as follows:

- Provided clear criteria on how companies should prove their green claims and labels
- Green claims and labels should be checked by an independent and accredited verifier
- New rules for environmental labeling schemes to ensure reliability and transparency

#### 4. Certifications and regulations against greenwashing

##### 4.1. Green certifications

Green certification or ratings are programs that help companies demonstrate sustainable products, services, and practices to customers, employees, and investors. Green certification is granted to many products and organizations such as food, buildings, and other operations<sup>20</sup>. The main goal of these certifications is to prevent greenwashing in environmental sustainability. Companies can demonstrate green practices after receiving green certification from an authorized certification body or system. Government organizations and many trusted third-party organizations are at the forefront of green certification listings. Upon the type of business, green certifications are classified into commercial Green Building certifications [BREEAM, LEED], Green Business certifications [ISO 14001, B Corp, Green Business Bureau's, Fair Trade USA Certified], Green product certifications [Safer Choice, Green Seal, Energy Star, Rainforest Alliance], and organic and sustainable food certifications [USA Organic, SIP Certified, Non-GMO project]<sup>21</sup>. Some certification organizations, logos, and their website links are provided in Table 1.

##### 4.2. Regulations by countries

Advertising the environmentally friendly attributes of a company's products through slogans, trademarks, performance claims or other marketing strategies is a strategy undertaken by investors for product marketing. Eco-advertising and green marketing campaigns are the most common marketing strategies for companies with a lot of investments. However, the credentials associated with it are still questionable. Many government organizations in countries have set up their methods to restrict or regulate Greenwashing.

For example, China does not support many of the strict laws regulating greenwashing activities, but instead regulates them through advertising laws, consumer protection laws, trademark laws, and anti-unfair competition laws<sup>22</sup>. Among these, the Advertising Law states that advertisements must not contain misleading or false environmental claims about quantity,

quality, ingredients, production process, performance, expiration date, origin, and producer type.

The UK's Competition and Markets Authority (CMA) has issued a Green Claim Code and related guidelines to help businesses make environmental claims to comply with consumer protection laws. Under the Code, environmental claims must include as follows:

- Be clear and unambiguous
- Be truthful and accurate
- Not omit or hide material information
- Only make fair and meaningful comparisons
- Consider the full lifecycle of the product or their service
- Be substantiated

The Canadian government has many laws that prohibit false or misleading environmental claims, such as the Federal Competition Act, Trademarks Act, and Consumer Packaging and Labeling Act. All of these laws were enacted to prevent misrepresentation of the green claims.

- Federal Competition Act: This law prohibits the misleading representation of performance, efficiency or length of products that are not based on proper standards and testing.
- Trademarks Act: Prohibits misleading environmental claims like composition, quality and quantity, performance, and geographical origin.
- Consumer Packaging and Labeling Act: The entire aspect of packaging and labeling should not contain any misleading green claims and can be found in the link provided here [URL: <https://www.canlii.org/en/ca/laws/stat/rsc-1985-c-c-38/latest/rsc-1985-c-c-38.html>].










However, the Singapore government has introduced some general laws to curb greenwashing. However, it's the right of consumers to choose the right things, which is often a burden for consumers<sup>23</sup>. The general laws are as follows:

- The Consumer Protection (Fair Trading) Act (CPFTA): These laws prohibit unfair business practices like making false claims, misleading claims, and gaining advantages without letting the customer know the judicious consequences of the transactions.
- The Misrepresentation Act: This law allows consumers to regain compensation due to misleading business transactions.
- The Singapore Code of Advertising Practice: All advertisements should be legal, honest, and decent.









The Indian government has adopted several laws to regulate misleading environmental claims including as follows<sup>24</sup>:

- Bureau of Indian Standards (BIS): Developed standards for eco-labeling of products and services named IS/ISO 14024: 1999. This standard provides proper guidelines and criteria for using eco-labels for companies to make environmental claims.
- The Consumer Protection Act, 2019: Established a central

**Table 1.** Represents the sustainability certifying organizations, programs, logos and their website link

Certifying Organization	Certification programs	Certification Marks/Logos	Website
Marine Stewardship Council (MSC)	Used in conveying seafood and fish have been harvested in accordance with MSC standards.		<a href="https://www.msc.org/">https://www.msc.org/</a>
Leadership in Energy and Environmental or LEED certification mark	Used in the building and construction industry to specify best practices in sustainable building.		<a href="https://watershed.pro/leed-certification/">https://watershed.pro/leed-certification/</a>
BREEAM (Building Research Environmental Assessment Method)	Validation and certification systems for a sustainable built environment.		<a href="https://bregroup.com/products/breem/">https://bregroup.com/products/breem/</a>
Rainforest Alliance	Creation of a sustainable world by using various forces (social and market) to protect nature and to provide better lives for farmers and forests.		<a href="https://www.rainforest-alliance.org/business/marketing-sustainability/using-our-logo-and-seal/">https://www.rainforest-alliance.org/business/marketing-sustainability/using-our-logo-and-seal/</a>
Green Seal	Mission is to transform economy for a healthier and greener world (sustainable commercial products)		<a href="https://greenseal.org/splash">https://greenseal.org/splash</a>
SIP Certified for vineyards and wineries	To ensure the sustainability of vineyards and wineries		<a href="https://www.sipcertified.org/">https://www.sipcertified.org/</a>
GreenCircle Certified	Analyze and provide independent verification and certifications to the sustainability of product and services (sustainability of recycled content, closed-loop product, energy savings, biobased content and recyclable materials).		<a href="https://www.greencirclecertified.com/product-certifications">https://www.greencirclecertified.com/product-certifications</a>
GreenStep	Single use plastic free certification		<a href="https://www.greensteptourism.com/single-use-plastic-free-certification/">https://www.greensteptourism.com/single-use-plastic-free-certification/</a>
EU Ecolabel	Official EU voluntary label that certifies products independently-verified low environmental impact.		<a href="https://eu-ecolabel.de/en/">https://eu-ecolabel.de/en/</a>

**Table 1.** Continued.

Certifying Organization	Certification programs	Certification Marks/Logos	Website
Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) (EU)	It is a management tool for organizations and companies to evaluate, report and for improving their environmental performance.		<a href="https://www.ecologic.eu/791">https://www.ecologic.eu/791</a>
Green Business Bureau (GBB)	GBB provides online solutions to certify green initiatives through online tools like EcoAssessment™ and EcoPlanner™		<a href="https://greenbusinessbureau.com/">https://greenbusinessbureau.com/</a>
B Corp	Also known as B Lab is the nonprofit network transforming the global economy to benefit all people, communities, and the planet. The entire social and environmental impact will be measured.		<a href="https://www.bcorporation.net/en-us/">https://www.bcorporation.net/en-us/</a>
U.S. Department of Agriculture (USDA) Organic	Provides strict standards to farmers and business for growing, processing and handling of products. USDA Organic certified product contains 95 % or more than organic content and not produced from genetically modified organisms (GMO's).		<a href="https://www.usda.gov/topics/organic">https://www.usda.gov/topics/organic</a>
ENERGY STAR	ENERGY STAR certified buildings save energy and money and help to protect the environment by making less greenhouse gas emissions than typical buildings.		<a href="https://www.energystar.gov/buildings/building_recognition/building_certification">https://www.energystar.gov/buildings/building_recognition/building_certification</a>
Global Reporting Initiative (GRI)	To empower sustainable decisions to create sustainable future enabled by transparency.		<a href="https://www.globalreporting.org/">https://www.globalreporting.org/</a>
Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE)	International Green building certification systems that empower developers and builders to quickly recognize the cost-effective strategies to lessen the use of energy, water and embodied energy in materials.		<a href="https://edge.gbci.org/">https://edge.gbci.org/</a>
Fair Trade USA Certification	Fair Trade Certified™ certifies the sustainability of live hoods, safe working conditions, environmental protection and strong transparent supply chains.		<a href="https://www.fairtradecertified.org/about-us/who-we-are/">https://www.fairtradecertified.org/about-us/who-we-are/</a>

**Table 1.** Continued.

Certifying Organization	Certification programs	Certification Marks/Logos	Website
Green America	To provide clean energy, fair labor, responsible finance, justice for all, and good food and to create an environmentally sustainable society.		<a href="https://www.greenamerica.org/green-america-green-business-certification">https://www.greenamerica.org/green-america-green-business-certification</a>
1% for the planet	To thwart greenwashing, certify reputable giving and provide accountability		<a href="https://onepercentfortheplanet.org/">https://onepercentfortheplanet.org/</a>

consumer protection authority to regulate unfair business practices.

- Ministry of Environment, Forest and Climate Change (MoEFCC): Launched the “Green Good Deeds movement” program to encourage individuals and organizations to put forward regulatory actions to reduce the environmental impact.
- The Environment Protection Act, 1986: To prevent and control environmental pollution by imposing penalties for the violation of policies.
- Advertising Standards Council of India (ASCI): This organization has set a code of self-regulation for advertising in India.
- Green Rating Project (GRP): It is an initiative by the Centre for Science and Environment (CSE) that rates the environmental performances of companies.
- Indian Green Building Council (IGBC): For promoting sustainable building practices

In France, greenwashing is regulated and restricted by several legal mechanisms. French Consumer Code prohibits misleading commercial practices by imposing several penalties. Violators of these laws face up to two years in prison with a fine of € 300,000<sup>25)</sup>.

In Korea, the Ministry of Environment (MOE) and the Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI) announced a guideline for eco-friendly management activities to prevent eco-friendly disguised advertising (Greenwashing) on October 31, 2023. The guideline presents eight basic principles of eco-friendly management activity labeling and advertising: truthfulness, clarity of expression, specificity of target, significance, spontaneity, completeness of information, relevance, and verifiability. The eight basic principles presented in the guideline are the same as the basic principles stipulated in Article 16-10 of the ‘Environmental Technology and Environmental Industry Support Act’ and the ‘Notice on the Management System for Environmental Labeling and Advertising’, but the guideline added some specific explanations and examples in terms of eco-friendly management activity labeling and advertising<sup>26)</sup>.

**5. Challenges, Recommendations, and Future Directions**

Inaccurate assessment of green claims by environmental,

social, and governance (ESG) factors has led many companies to provide misleading information and bogus environmental claims. The major challenges in detecting greenwashing are the lack of reporting standards, transparency, limited consumer awareness, and inefficient detecting tools. The major recommendations for attaining sustainability are as follows:

- Companies should provide greener markings as per proper certifications.
- Sustainability practices, policies, and claims should be cross-checked by government or third-party certifications
- Customers should share with others if they found a sustainable brand that can trust
- Transparency can bridge the gap between artificial and genuine concern related to environmental claims
- Third-party certifications should be initiated for all products regardless of their origin (small-scale or large-scale)
- Be transparent, specific, and authentic with environmental claims and stay up to date with the best practices having proper certifications
- Consumer and investor awareness programs should be conducted by authorized authorities through media or other public platforms
- Computational as well as artificial intelligence (AI) and Natural language processing (NLP) based approaches can have great promises and should be promoted to analyze and detect greenwashing

**5.1. Emerging technologies for eliminating greenwashing**

Innovative and emerging technologies such as internet of things (IoT), artificial intelligence (AI), and blockchain can be effective tools to support and achieve the United Nations Sustainable Development Goals (SDG) action plan<sup>27-29)</sup>. Among them, IoT cloud computing and big data analytics can be very important in eliminating Greenwashing. However, the biggest challenge in improving the quality of sustainability reports is the lack of methodologies to analyze (reliable and valid measurements) the latest social, environmental, and economic variables.

**5.2. Artificial intelligence (AI) versus greenwashing**

Artificial intelligence can be used to identify greenwashing in a number of ways. One approach is to analyze the language

used in marketing materials and product descriptions to identify misleading or exaggerated claims<sup>6,30,31</sup>. Natural Language Processing (NLP) algorithms can be trained on a corpus of marketing materials and product descriptions to identify common phrases and language patterns associated with greenwashing<sup>32</sup>. Another approach is to use computer vision algorithms to analyze images and videos related to products or services to identify environmentally damaging activities such as excessive energy consumption, pollution, or destruction of natural habitats. Machine learning algorithms can also be trained on large data sets of information on environmental impacts and sustainability practices to identify products and services that are truly environmentally friendly, and to flag those that are likely to be greenwashed<sup>6,33</sup>.

Natural Language Processing (NLP) is a powerful and sophisticated technology that enables computers to effectively recognize and automatically analyze human language in written or spoken form<sup>34-36</sup>. For example, ClimateBert is a deep neural language model created by Swiss and German Academics to analyze corporate reporting and disclosures. This AI-powered tool has been trained to understand thousands of sentences related to climate risk disclosure. Another example is Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) AI model, which effectively collects selective reporting and non-material climate risk information. Extended versions of these tools are also in development and will be effective for analyzing greenwashing<sup>37</sup>. However, both have inherent limitations as some steps in the analysis require human intervention. The most significant limitation is the lack of accuracy due to insufficient training data<sup>38</sup>. Some reports suggest that AI's global carbon footprint could be equal to that of the aviation industry<sup>39</sup>. Additionally, the energy consumption of AI-based tools is potentially high, and they would be better off if fully dependent on renewable energy sources. Overall, AI has the potential to be a powerful tool in identifying greenwashing, but it should be kept in mind that it is no substitute for critical thinking and research. Consumers still need to research and exercise caution when making decisions about the environmental impact of products and services.

## Conclusion

The growing interest in greener technologies has led to a rise in the development of green-washed products. Besides, inadequate assessment of green claims by environmental, social, and governance factors built the resources and the emergence of green-washed products. Several certifications and public awareness programs are available from the government and other sectors, but they are not sufficient to identify and classify most green-claimed products. In the future, computational programs such as artificial intelligence and natural language processing tools may hold great promise in the

early detection of greenwashing and their green-washed products. In addition, government authorities should implement and authorize third-party certifications and policies, along with public awareness programs to convey misleading environmental claims and should ensure the reachability of these initiatives.

## Declaration of competing interest

The authors declare no competing financial interest.

## Acknowledgment

This research was supported by Grant No. 21162MFDS014 from the Ministry of Food and Drug Safety of Korea in 2021.

## References

1. de Freitas Netto, S.V., Sobral, M.F.F., Ribeiro, A.R.B., Soares, G.R.d.L. 2020. Concepts and forms of greenwashing: a systematic review. *Environmental Sciences Europe*. 32(1). 19.
2. Zhang, D. 2022. Environmental regulation, green innovation, and export product quality: What is the role of greenwashing?. *International Review of Financial Analysis*. 83(C). 102311.
3. Ioannou, I., Kassinis, G., Papagiannakis, G. 2023. The Impact of Perceived Greenwashing on Customer Satisfaction and the Contingent Role of Capability Reputation. *Journal of Business Ethics*. 185(2). 333-347.
4. Becker-Olsen, K., Potucek, S. 2013. *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility*. Springer Berlin, Heidelberg, pp.1318-1323.
5. Boncinelli, F., Gerini, F., Piracci, G., Bellia, R., Casini, L. 2023. Effect of executional greenwashing on market share of food products: An empirical study on green-coloured packaging. *Journal of Cleaner Production*. 391. 136258.
6. Seele, P., Schultz, M.D. 2022. From Greenwashing to Machinewashing: A Model and Future Directions Derived from Reasoning by Analogy. *Journal of Business Ethics*. 178(2). 1063-1089.
7. EU. 2023. Questions and answers on European Green Claims.
8. EU. 2023. Proposal for a Directive on Green Claims.
9. Acuti, D., Pizzetti, M., Dolnicar, S. 2022. When sustainability backfires: A review on the unintended negative side-effects of product and service sustainability on consumer behavior. *Psychology & Marketing*. 39(10). 1933-1945.
10. Falchi, A., Grolleau, G., Mzoughi, N. 2022. Why companies might under-communicate their efforts for sustainable development and what can be done?. *Business Strategy and the Environment*. 31(5). 1938-1946.
11. Dangelico, R.M., Vocalelli, D. 2017. "Green Marketing": An analysis of definitions, strategy steps, and tools through a

- systematic review of the literature. *Journal of Cleaner Production*. 165. 1263-1279.
12. Rajput, N., Sharma, U., Kaur, B., Rani, P., Tongkachok, K., Dornadula, V.H.R. 2022. Current global green marketing standard: changing market and company branding. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 13(1). 727-735.
  13. Majeed, M.U., Aslam, S., Murtaza, S.A., Attila, S., Molnár, E. 2022. Green Marketing Approaches and Their Impact on Green Purchase Intentions: Mediating Role of Green Brand Image and Consumer Beliefs towards the Environment. *Sustainability*. 14. 11703.
  14. Roh, T., Noh, J., Oh, Y., Park, K.-S. 2022. Structural relationships of a firm's green strategies for environmental performance: The roles of green supply chain management and green marketing innovation. *Journal of Cleaner Production*. 356. 131877.
  15. Ankit, G., Mayur, R. 2013. Green Marketing: Impact of Green Advertising on Consumer Purchase Intention. *Advances in Management*. 6(9). 14-17.
  16. Shao, X., Jeong, E., Zhang, X., Jang, S. 2023. Green Marketing Versus Demarketing: The Impact of Individual Characteristics on Consumers' Evaluations of Green Messages. *Journal of Hospitality & Tourism Research*. 49(1).
  17. Jane, C. 2023. What is Greenwashing? 5 signs to spot and stop greenwashing. *Green Business Benchmark*.
  18. Bakerjian, L. 2022. The Aesthetic Nature of Corporate Social Responsibility and Greenwashing. *Oradea Journal of Business and Economics*. 7(1). 98-108.
  19. Gregor, P. 2023. How companies can protect themselves from greenwashing. *Control Risks*.
  20. Kacar, B., Turhan, E., Dalkiran, A., Karakoc, T.H. 2022. Green Airport building certification comparison: a practical approach for Airport Management. *International Journal of Green Energy*. 20(6). 602-615.
  21. Bill, Z. 2022. How To Choose the Right Green Business Certification. *Green Business Benchmark*.
  22. Hawkins, K., Uhera, S., Bey, C., Liang, I. 2022. Greenwashing: exploring the risks of misleading environmental marketing in China, Canada, France, Singapore and the UK. *Gowling WLG*.
  23. Singapore statutes online. 2023. Misrepresentation Act 1967.
  24. Manoj, S. 2023. Green Washing and Green Blushing. *The Institute of Company Secretaries of India*.
  25. World Law Group. 2022. France: Update on "Greenwashing".
  26. MOE and KEITI, 2023. Guidelines for labeling and advertising eco-friendly management activities.
  27. Heilinger, J.-C., Kempf, H., Nagel, S. 2024. Beware of sustainable AI! Uses and abuses of a worthy goal. *AI and Ethics*. 4. 201-212.
  28. Oncioiu, I., Bunget, O.C., Türkeş, M.C., Căpuşeanu, S., Topor, D.I., Tamaş, A.S., Rakoş, I.-S., Hint, M.S. 2019. The Impact of Big Data Analytics on Company Performance in Supply Chain Management. *Sustainability*. 11(18). 4864.
  29. Schultz, M.D., Seele, P. 2023. Towards AI ethics' institutionalization: knowledge bridges from business ethics to advance organizational AI ethics. *AI and Ethics*. 3. 99-111.
  30. Kindylidi, I., Cabral, T.S. 2021. Sustainability of AI: The Case of Provision of Information to Consumers. *Sustainability*. 13(21). 12064.
  31. Nost, E., Colven, E. 2022. Earth for AI: A Political Ecology of Data-Driven Climate Initiatives. *Geoforum*. 130(5). 23-34.
  32. Moodaley, W., Telukdarie, A. 2023. Greenwashing, Sustainability Reporting, and Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review. *Sustainability*. 15(2). 1481.
  33. Tien, P.W., Wei, S., Darkwa, J., Wood, C., Calautit, J.K. 2022. Machine Learning and Deep Learning Methods for Enhancing Building Energy Efficiency and Indoor Environmental Quality – A Review. *Energy and AI*. 10(5). 100198.
  34. Crowston, K., Allen, E.E., Heckman, R. 2012. Using natural language processing technology for qualitative data analysis. *International Journal of Social Research Methodology*. 15(6). 523-543.
  35. Kang, H., Kim, J. 2022. Analyzing and Visualizing Text Information in Corporate Sustainability Reports Using Natural Language Processing Methods. *Applied Sciences*. 12(11). 5614.
  36. Kang, Y., Cai, Z., Tan, C.-W., Huang, Q., Liu, H. 2020. Natural language processing (NLP) in management research: A literature review. *Journal of Management Analytics*. 7(2). 139-172.
  37. Sedilekova, Z. 2022. When Artificial Intelligence meets greenwashing in court. *Clyde & Co*.
  38. Macpherson, M., Gasperini, A., Bosco, M. 2021. Implications for Artificial Intelligence and ESG Data. *SSRN Electronic Journal*.
  39. Dhar, P. 2020. The carbon impact of artificial intelligence. *Nature Machine Intelligence*. 2(8). 423-425.

투고: 2025.02.25 / 심사완료: 2025.03.11 / 게재확정: 2025.03.19



## 재활용 용이성 등급 평가 관점에서의 포장재 개선을 위한 대체 기술 분석 연구

김한슬<sup>1</sup> · 권오준<sup>2</sup> · 이재정<sup>2</sup> · 주민정<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국건설생활환경시험연구원

<sup>2</sup>한국포장재재활용사업공제조합

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

Hanseul Kim<sup>1</sup>, Ohjun Kwon<sup>2</sup>, Jaejung Lee<sup>2</sup>, and Minjung Joo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Conformity Laboratories

<sup>2</sup>Korea Packaging Recycling Cooperative<sup>1</sup>

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

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

### 서 론

전 세계적으로 폐기물 감축과 재사용, 재활용 확대의 필요성이 강조되며 순환경제(Circular Economy)로의 전환을 실천하고 있다<sup>1)</sup>. 특히, 모든 제품에 필수적으로 사용되는 포장재는 사용 후 단기간 내 폐기되는 특성으로 인해 적절한 재활용 시스템이 갖춰지지 않을 경우 환경적 부담을 초래한다. 따라서 포장재의 재활용성을 높이는 것은 자원의 효율적 활용과 순환경제 실현을 위한 필수 요소이나 일부

포장재는 복합재질, 특수 코팅, 비분리형 구조 적용 등의 문제로 인해 재활용이 어려워 이에 대한 대책과 개선이 요구되고 있다.

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

국내에서도 폐기물 감량과 환경 보호를 위한 다양한 정

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

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

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

## 본 론

### 1. 포장재 재활용 용이성 등급 평가의 개정 방향

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

**Table 1.** Details on standard for the quality, structure and recyclability of packaging Materials<sup>8)</sup>

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

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

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

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

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

\*출처: 환경부고시 ‘포장재 재활용 용이성 등급평가 기준’ 재구성

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

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

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

예를 들어, 경량화된 페트병의 경우 기존 병 대비 기계적 강도가 낮아질 가능성이 있으며, 운송 과정에서 강한 압력을 받는 병목의 경우, 변형 및 파손될 위험이 커질 수 있다. 또한, 경량화된 용기를 도입하기 위해서는 생산공정 변

경이 필요하며, 이에 따른 설비 투자가 수반된다. 따라서, 재활용성을 높이는 것과 동시에 용기의 기계적 안정성을 유지하기 위한 대체 기술의 연구가 수반되어야 하며, 이를 실현하기 위해서는 소재뿐 아니라 제품디자인, 유통환경 등 다양한 접근의 개발이 필요하다.

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

## 2. 포장재 등급개선의 한계점 및 대체 기술 분석

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

이에 따라, 본 연구에서는 “재활용 어려움” 등급 출고량

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

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

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

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

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

## 2.1. 종이팩 포장재

종이팩 포장재는 우유, 주스, 두유 등의 음료 제품에 사용되며, 포장재 구조에 따라 살균팩과 멸균팩으로 구분된다. 살균팩은 종이 양면에 폴리에틸렌(Polyethylene, PE) 코팅

이 적용되어 있어 수분이 많은 제품의 포장에 적합한 특징이 있다. 반면, 멸균팩은 알루미늄이 첩합된 다층 구조로 제작되어 높은 차단 성능을 제공하며, 장기간 보관과 상온 유통이 가능한 장점이 있다<sup>15-18)</sup>. 이러한 특성으로 인해 멸균팩을 적용한 일부 제품은 “재활용 어려움” 등급으로 분류된다.

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

### 2.1.1. 몸체가 알루미늄 첩합 구조를 사용한 종이팩일 경우

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

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

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

**Table 6.** Recycling challenges and alternative technologies for carton packaging

Category	Criteria for "Poor recyclability"	Limitations	Alternative Technology
Body	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartons with an aluminum-laminated structure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficult separation of aluminum and paper layers during recycling</li> <li>• Possible reduction of shelf life due to aluminum layer removal</li> <li>• Increased logistics costs due to the introduction of refrigeration system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paper-based barrier (Nanometer metalized coating)</li> <li>• Plant-based polymer-laminated structure</li> <li>• SiOx-laminated structure</li> <li>• Replace with a transparent PET bottle</li> </ul>

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

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

업과 (주)한국야쿠르트는 우유에 적용된 멸균팩을 종이에 PE가 코팅된 종이팩으로 개선하였다<sup>20)</sup>.

**2.2. 페트병 포장재**

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

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

Category	Excellent/Good recyclability	Poor recyclability
Body	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Single material colorless, lightweight index 1 or less (L≤1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In case of mixing of glycol modified PET resin (PET-G) material</li> <li>• Color other than green in single material PET bottles excluding drinking water and beverages</li> <li>• Color in case of drinking water and beverages</li> <li>• Composite material</li> </ul>
Label	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No label used</li> <li>• Synthetic resin material with a specific gravity of less than 1, if all of the following conditions are met                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Structure that allows consumers to easily separate</li> <li>- Use of thermal alkaline separation adhesive</li> <li>- If the adhesive application area and amount are minimized</li> </ul> </li> <li>• Use thermal alkaline separation ink that can be separated in the recycling process as a non-contact adhesive of the same material as the body</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Synthetic resin material with a specific gravity of 1 or higher without a structure that allows consumers to easily separate it</li> <li>• Use of adhesive that cannot be separated by heat or alkali</li> <li>• Direct printing on the body (excluding expiration date and manufacturing date indication)</li> <li>• PVC series material, material other than synthetic resin, metal mixed material</li> </ul>
Lid & Attachments	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Single material of synthetic resin or colorless PET with a specific gravity of less than 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Synthetic resin with a specific gravity of 1 or higher excluding colorless PET single material</li> <li>• PVC series material</li> <li>• Material other than synthetic resin</li> </ul>

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

### 2.2.1. 몸체가 복합재질일 경우

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

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

일본의 MISUBISHI社は DLC 코팅 기술을 페트병에 적용하여 산소 및 이산화탄소의 차단 성능을 개선하였으며,

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

### 2.2.2. 마개 및 잡자재가 합성수지 이외의 재질일 경우

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

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

**Table 8.** Recycling challenges and alternative technologies for PET bottle

Category	Criteria for “Poor recyclability”	Limitations	Alternative Technology
Body	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multilayer materials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Degradation of product quality when switching to single-layer PET</li> <li>Oxygen and light barrier issues in beverage packaging</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diamond-like Carbon (DLC) coating</li> <li>PECVD (Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition)</li> <li>Amorphous Carbon Treatment on Internal Surface (Based PECVD)</li> <li>Recyclable Full-Body Shrink Film</li> </ul>
Lid & Attachments	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non-polymeric materials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Difficulty in separation during the recycling process</li> <li>Maintaining product functionality and durability for high-viscosity liquids (e.g., shampoo, lotion)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mono-material PE or PP pumps to allow density separation during recycling</li> </ul>

있으며<sup>30)</sup>, ㈜삼화에서는 PP 단일소재의 펌프를 개발하여 화장품 제품에 적용하고 있다<sup>31)</sup>.

**2.3. 유리병 포장재**

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

Table 9와 같이 재활용 용이성 평가 기준에 따르면, 유리병 몸체는 무색, 갈색, 녹색으로 한정된 색상일 경우 “재활용 최우수/우수” 등급으로 분류된다. 반면, 이 외의 색상은 선별 과정에서 어려움을 유발하기 때문에 “재활용 어려움” 등급으로 분류된다. 라벨의 경우, 사용하지 않거나 종이 재질, 절취선 또는 점접착식 합성수지 재질로 분리가 가능하거나 분리 배출 유도 문구를 삽입한 경우에는 “재활용 최우수/우수” 등급으로 구분된다. 반대로 점착제가 사용된 합성수지의 분리나 제거가 어려운 경우, 금속성 인쇄가 포함된 라벨, PVC 계열 재질로 제작된 라벨은 재활용 공정에서 선별 및 세척의 어려움을 유발하기 때문에 “재활용 어

려움”으로 분류된다<sup>19)</sup>. 마개 및 잡자재는 유리병과 쉽게 분리 가능한 구조일 경우 “재활용 최우수/우수” 등급으로 분류된다. 반면, 합성수지를 덧씌운 금속 마개, 뚜껑 및 테가 분리되는 구조, 몸체와 분리가 불가능한 마개 및 잡자재의 경우 “재활용 어려움” 등급에 해당된다. 본 논문에서는 유리병의 주요 재활용 어려움 구조 및 소재에 대해 분석하고, 이를 개선하기 위한 대체기술을 제안하였다.

**2.3.1. 몸체가 무색, 갈색, 녹색 이외의 색상일 경우**

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

이에 대한 대안으로, 수입 품목에 한해 유리병 색상 제한

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

Category	Excellent/Good recyclability	Poor recyclability
Body	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colorless, brown, and green</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colors other than colorless, brown, and green</li> </ul>
Label	<ul style="list-style-type: none"> <li>No label used</li> <li>In any of the following cases                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Unused</li> <li>Paper material</li> <li>Non-adhesive synthetic resin material including a cut line</li> <li>Synthetic resin material with adhesive that can be separated from the body and has a phrase indicating that the consumer should separate the waste</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Synthetic resin material with adhesive that cannot be separated from the body</li> <li>Metal-mixed material</li> <li>PVC-based material</li> </ul>
Lid & Attachments	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cap/frame integrated structure or cap and miscellaneous materials that can be separated from the body</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metal cap covered with synthetic resin</li> <li>Cap/frame separate structure</li> <li>Cap and miscellaneous materials that cannot be separated from the body</li> </ul>

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

**2.3.2. 라벨이 금속 혼입 재질일 경우**

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

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

**2.3.3. 마개가 합성수지를 덧씌운 금속 마개일 경우**

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

**3. 포장재 재활용 용이성 등급 개선을 위한 실천적 방안**

포장재의 재활용 용이성 등급을 개선하기 위해서는 기술적 개선뿐만 아니라, 시장의 부담을 줄이고 이러한 기술을 도입할 수 있는 환경 조성 및 정책적 지원이 함께 고려되어야 한다. 첫째, 소비자의 인식 개선과 재활용 문화 확산이 중요하다. 친환경 포장재 도입 효과를 극대화하기 위해 소비자의 적극적인 참여가 필수적이며, 지속적인 홍보와 교육이 이루어져야 한다. 정부와 기업은 협력하여 친환경 포장재 사용을 장려하는 캠페인을 확대하고, 소비자가 올바르게 분리

**Table 10.** Recycling challenges and alternative technologies for glass bottle

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

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

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

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

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

## 결 론

본 연구에서는 포장재 재활용 용이성 등급 평가 기준을 분석하고, “재활용 어려움” 등급을 받는 주요 포장재(종이팩, 페트병, 유리병)의 문제점과 개선 방안을 검토하였다. 분석 결과, 종이팩은 내부 알루미늄 첩합 구조가 재활용성

을 저해하는 주요 요인으로 확인되었으며, 이를 개선하기 위해 종이 기반 코팅, SiOx 증착 필름 등의 대체 기술이 제안되었다. 페트병의 경우, 복합재질 사용 및 합성수지 이외의 재질 적용이 재활용성을 저해하는 문제로 나타났으며, 이를 해결하기 위한 기술로 소재 단일화, 전신 수축 필름, DLC 코팅 등이 검토되었다. 유리병은 비표준 색상 적용, 금속 혼입 라벨, 합성수지를 덧씌운 금속 마개가 재활용을 방해하는 주요 요인으로 분석되었으며, 이를 개선하기 위해 알루미늄 병, PET 기반 와인병, 단일재질 마개의 도입 가능성이 논의되었다.

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

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

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

## 참고문헌

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

- the European Parliament and of the Council on Packaging and Packaging Waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0677>.
3. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit. 2019. Verpackungsgesetz (VerpackG) – German Packaging Act. Retrieved from <https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/>
  4. Ministry of the Environment, Japan. 1997. Containers and Packaging Recycling Act (容器包装リサイクル法). Retrieved from <https://www.env.go.jp/en/laws/recycle/06.pdf>
  5. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2024. Circular Economy Transition Promotion Act. National Law Information Center. Retrieved from <https://www.law.go.kr>
  6. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2023. Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources. National Law Information Center. Retrieved from <https://www.law.go.kr>
  7. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2024. Extended Producer Responsibility (EPR) Operational Guidelines. Korea Environment Corporation. Retrieved from <https://www.keco.or.kr>
  8. Ministry of Environment, Republic of Korea. (2025). Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from <https://www.law.go.kr>
  9. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2019. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from <https://www.law.go.kr>
  10. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2021. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from <https://www.law.go.kr>
  11. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2022. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from <https://www.law.go.kr>
  12. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2023. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from <https://www.law.go.kr>
  13. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2024. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from <https://www.law.go.kr>
  14. Cho, E. H., Kyung, K., Kim, D. H., & Chae-Gun, P. 2022. A study on the improvement strategy for the relevant recycling system based on the occurrence status of used beverage cartons. *Journal of Korea Society of Waste Management*, 39(1), 17-27.
  15. Kim, S. D. 2008. Extended Producer Responsibility and Paper Carton. *The monthly packaging world*, 79-87.
  16. Ko, E., Song, K., Cho, S., Shim, W., and Kim, J. 2016. A Study of Expectation Effective Analysis According to Improvement in Quality of the Paper Packaging Material and Structure-Focusing on EPR Items. *Korean Journal of Packaging Science & Technology*, 22(1), 7-13.
  17. Song, K., Ko, E., Cho, S., Kwon, O., and Kim, J. 2015. A Study on Improvement in Quality of the Paper Packaging Material and Structure-Focusing on EPR Items. *Korean Journal of Packaging Science & Technology*, 21(1), 19-26.
  18. Cho, E. H., Kyung, K., Kim, D. H., and Chae-Gun, P. 2022. A Study on the Improvement Strategy for the Relevant Recycling System Based on the Occurrence Status of Used Beverage Cartons. *Journal of Korea Society of Waste Management*, 39(1), 17-27.
  19. Ko, E.S., Shim, W.C., Lee, H.R., Kang, W.G., Shin, J.H., Kwon, O.C., and Kim, J.N. 2018. The Current Status of Recycling Process and Problems of Recycling According to the Packaging Waste of Korea. *Korean Journal of Packaging Science & Technology*, 24(2): 65-71.
  20. Kim, J. S., Yang, J. K., Kim, J. S., and Hong, M. H. 2012. A study on the necessity of package used the uni-material: Focused on the personal and household care products package. *Journal of the Korean Society Design Culture*, 18(1), 63-73.
  21. Jeon, H. S., Baek, S. H., Park, C. H., Delgermaa, Choi, W. J. 2007. Development of material separation technique for recycling of waste plastic beer bottle. *Environmental Societies Joint Conference*. 974-976.
  22. Korea Packaging Recycling Cooperative. 2019. Voluntary Agreement Ceremony for the Improvement of PET Beer Bottle Materials and Structure. Korea Packaging Recycling Cooperative. <https://kprc21482.cafe24.com/html/main/sub.htm?type=view&idx=54480&page=4&code=news&MN=05&PN=02>.
  23. Korea Institute of Industrial Technology Korea Packaging center. Recyclable Transparent PET Beer Bottle Made of Single Material – Recipient of the Prime Minister’s Award PET. KOREA STAR AWARDS.
  24. Ashtijoo, P., Bhattacharjee, S., Sutarto, R., Hu, Y., and Yang, Q. 2016. Fabrication and Characterization of Adherent Diamond-Like Carbon Based Thin Films on Polyethylene Terephthalate by End Hall Ion Beam Deposition. *Surface and Coatings Technology*, 308: 90-97.
  25. Ray, S. C., Mukherjee, D., Sarma, S., Bhattacharya, G., Mathur, A., Roy, S. S., and McLaughlin, J. A. 2017. Functional Diamond Like Carbon (DLC) Coatings on Polymer for Improved Gas Barrier Performance. *Diamond and Related Materials*, 80: 59-63.
  26. Ueda, A., Yamakoshi, H., and Shirakura, A. 2005. High Speed and High Gas Barrier Rotary DLC Plasma Coating System for PET Bottles. *Mitsubishi Juko Giho*, 42(1): 42-43.
  27. Benedic, F., Duten, X., Hassouni, K., Boutroy, N., Chomel, N., and Desoutter, L. 2008. Space-and Time-Resolved Diagnostics of Microwave Plasma Process Used for Hydrogenated Amorphous Carbon Film Coating of PET Bottles. *Diamond and related materials*, 17(4-5): 633-640.
  28. Park, C.W. and Shin, J.W. 2024. A Study on the Development Case of Replacement of Metal Spring in Cosmetic Containers. *Journal of The Korean Society of Illustration Research*, 80: 57-66.
  29. Korea Institute of Industrial Technology Korea Packaging center. 4CC Mono-material Low-profile Pump (PE) –

- Recipient of the Minister of Trade, Industry and Energy Award. KOREA STAR AWARDS.
30. Korea Packaging Recycling Cooperative. 2023. 2023 Casebook on the Development and Application of Innovative Packaging Technologies. Korea Packaging Recycling Cooperative.
  31. Kang, H.S. and Oh, J.Y. 2022. Development of Metal-free Pump and Uni-material Packaging for Cosmetics to Improve Recycling. Korean Journal of Packaging Science & Technology, 28(3): 171-174.
  32. Jung, S.K. and Jang, Y.C. 2024. Material Flow Analysis and Impact of Greenhouse Gas Reduction by Glass Bottle Recycling. Journal of Environmental Impact Assessment, 33(5): 204-213.
  33. Dyer, T. D. 2014. Glass recycling. Handbook of Recycling. Elsevier, 191-209.
  34. Lee, H., and Lee, H.S. 2022. The Recycled Glass Aggregate Recycling Technology of Waste Glass Bottle. Magazine of RCR, 17(4): 36-40.
  35. Lee, H. S., and Lee, H. 2020. Comminution Characteristics for Recycling Waste Glass Bottle. Resources Recycling, 29(2): 28-36.
  36. Korea Packaging Recycling Cooperative. 2022. 2022 Casebook on the Development and Application of Innovative Packaging Technologies. Korea Packaging Recycling Cooperative.
- 투고: 2025.03.04 / 심사완료: 2025.03.26 / 게재확정: 2025.04.07



## CA 컨테이너를 활용한 한국산 신선 농산물 품질 유지 효과

한명수<sup>1</sup> · 이지현<sup>2</sup> · 김용진<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>세중해운

<sup>2</sup>국립원예특작과학원

<sup>3</sup>인하대학교

## Effect of Controlled Atmosphere Containers on Maintaining the Quality of Fresh Korean Agricultural Products

Myung Soo Han<sup>1</sup>, Jihyun Lee<sup>2</sup>, and Yong Jin Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Sejung Group, Seoul, 07803, Republic of Korea

<sup>2</sup>National institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Wanju 54874, Republic of Korea

<sup>3</sup>Inha University Graduate School of Logistics, Incheon 22212, Republic of Korea

**Abstract** This study evaluated the effectiveness of controlled atmosphere (CA) containers in maintaining the quality of fresh horticultural products during long-distance maritime transport. A simulated export experiment was conducted using both reefer and CA containers, focusing on single commodities (oriental melon, Asian pear cv. Wonwhang, and king oyster mushroom) and mixed commodities (paprika, cherry tomato, and summer squash). The impact of packaging types and CA conditions on quality retention was analyzed. The results demonstrated that CA conditions (5/12 and 5/0.04) enhanced storage stability for oriental melon and pear, and CA (1/15) effectively minimized browning and moisture loss in king oyster mushrooms. However, in mixed commodity storage, the effects of CA conditions varied depending on the product. Cherry tomatoes exhibited the best quality retention under CA (5/12), whereas paprika and summer squash suffered peel discoloration and tissue softening under high CO<sub>2</sub> conditions. In the case of products with modified atmosphere (MA) packaging, interactions between the internal gas composition and the CA environment influenced quality changes. Notably, commodities sensitive to high CO<sub>2</sub> levels exhibited physiological disorders under high CO<sub>2</sub> conditions. This study confirms that CA containers effectively preserve the quality of fresh horticultural products and proposes optimal CA conditions for different commodities. In particular, when shipping mixed commodities, it is crucial to continuously monitor the internal gas composition of MA-packaged products in the CA environment, and storage conditions must be optimized accordingly. The findings of this study contribute to the development of quality maintenance technologies for the long-distance distribution of fresh produce.

**Keywords** Controlled atmosphere (CA) storage, Modified Atmosphere (MA) packaging, Postharvest quality, Mixed commodity storage, simulated sea shipment

## 서 론

한국의 신선 농산물의 수확 전 재배기술은 다른 선진국과 비교하여 높은 수준에 있지만 수확 후 농산물 품질유지를 위한 수확 후 처리 기술개발에 관련된 연구와 활용도는

아직도 미흡한 실정이다. 고품질의 농산물 생산체계가 고도화되면서 잉여되는 농산물의 수출 판로 확대가 필요하다. 농산물 수출 시 항공 운송의 한정된 적재 용량 및 비용을 고려하면 해상 운송이 필수적이며, 세계적으로 냉장선을 이용하던 방식에서 냉장 컨테이너(reefer container)를 이용한 선박운송으로 전환이 진행되는 추세이다<sup>1)</sup>. CA 컨테이너는 공기조절장치가 탑재된 냉장 컨테이너로, 농산물의 호흡을 억제하고 생리 대사 속도를 낮춰 장기간 신선도를 유지하고 손실률을 줄일 수 있는 장점이 있다<sup>2)</sup>. 신선 농산물 수출은 보통 단일 품목을 대상으로 이루어지고 있으나, 우리

\*Corresponding Author: Yong Jin Kim  
100 Inha-ro, Michuhol-gu, Incheon, 22212, Korea, Graduate School of Logistics, Inha University  
Tel: +82-32-860-8233  
E-mail: yongjin@inha.ac.kr

나라의 농업환경 특성상 다품목을 소량 생산하는 시스템에서는 수출 물량을 동시에 대량 확보하는 것이 어려울 수 있으며, 수출 대상국에서 요구하는 물량이 컨테이너 용적보다 적어 다품목을 혼합하여 운송해야 되는 경우도 많다. 이에 따라 다품목 농산물 운송에서의 품질 유지 기술 개발에 대한 실용적인 관점에서의 접근이 필요한 시점이다.

신선 농산물은 품목별로 최적 저장 조건이 다르다. 저장 온도, 습도, 산소와 이산화탄소의 농도, 에틸렌 농도, 부패균 밀도 등이 신선도 유지 기간에 영향을 미친다. 선박 수출시 수송 기간이 길어져서 운송 중 숙성을 지나 노화 등이 진행되면서 세포 팽압의 감소로 인한 증산, 과실의 경우 저장양분 분해 및 세포벽 붕괴, 수분손실 등 물리화학적 품질변화가 일어난다. 선박 운송에 활용되는 냉장 컨테이너는 온도 관리 제어가 정밀하지 못하여 적재된 신선 농산물의 호흡 변화로 인해 컨테이너 내 기체조성, 습도 등이 적절하게 유지하기 어려워 동결장해, 고이산화탄소 장해, 위조, 이취 등 다양한 생리적 장해가 발생할 수 있다<sup>3)</sup>.

컨테이너 내 O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 농도가 각 품목의 생리적 특성과 맞지 않을 경우 과육의 갈변, 조직의 수침 및 붕괴, 색 변화, 이취 등 생리장해가 일반 저온 저장조건보다 더 심하게 발생한다<sup>4)</sup>. 컨테이너 내에 적재된 이후 운송 중에는 품질을 예측하기도 어렵고 선도유지 기술 투입도 불가능하기 때문에 보다 정밀한 차원의 운송 기술이 요구된다. 특히 수출 농산물의 선박운송은 항공운송 평균 소요 기간보다(1~2일) 길어져서 가까운 일본, 홍콩은 최소 3~7일 정도 소요되고, 먼 거리인 미국, 유럽 등은 20~70일 정도 걸리기 때문에 한번 선적된 컨테이너 내의 신선 농산물의 신선도와 품질을 유지할 수 있도록 수확 후 효과적인 저장기술이 적용이 필수적이다. 기존 해상 운송시에는 신선 농산물의 품질 저하를 방지하기 위해 개별 품목에 적합한 MA포장 기술을 적용하였으나, 다품목 혼합 적재시 각 품목에 대해 최적의 저장 조건을 제공하는 것은 불가능하므로 혼합 적재로 인해 문제가 발생할 가능성이 적은 CA (Controlled Atmosphere) 환경 또는 MA (Modified Atmosphere) 환경을 단일 또는 복합적으로 설정할 필요성이 있다<sup>4)</sup>. CA 기술은 최근 백신 등과 같은 바이오 산업 운송기술 외에도 신선 농산물 수출 전략 기술에서 주목받고 있다<sup>1)</sup>. CA 저장은 저장고나 냉장 컨테이너 내 CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 등 기체 환경을 조정하여 과일의 후숙이나 과채류의 노화를 억제하여 저장성을 향상시키는 기술로 우수한 효과가 다양한 연구로 입증되었다. 사과, 배, 바나나, 아보카도 등 수확 후 후숙 특성을 주로 가지고 있는 농산물을 단일 품목으로 적재하여 후숙이나 노화가 촉진되지 않도록 호흡조절을 위한 기체환경조성을 유지하여 품질 저하를 예방하는 연구가 주를 이루고 있으나<sup>5)</sup>, 다품목을 혼합하여 운송해야 되는 경우에 최적의 기체환경조성을 구명하는 연구는 많이 진행된

바가 없다. 다품목 혼합 선적 시, 품목별로 수입국에서 원하는 다양한 포장 형태로 선적되는 경우가 많으며, CA 환경은 단일 조건으로 설정된다. 따라서 품목마다 가지고 있는 호흡과 저온장해 특성을 고려하여 적절한 CA 조건이 설정되어야 한다. 품목별로 다양한 포장형태로 선적된 농산물이 CA 환경과의 상호관계 속에서 어떠한 품질 변화가 진행되는 지에 대한 연구는 많지 않다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 생산되는 다양한 신선 농산물을 품목별로 포장 후, CA 컨테이너에 단일 혹은 혼합 품목으로 선적하였을 때, 다양한 CA 농도가 품질특성에 미치는 효과를 분석하였다. 이를 토대로 실제 최적의 기체조성 환경 조건으로 수출대상국에 선박운송을 통한 모의수출 시 품목별 적절한 CA 조건과 신선도 효과를 확인하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구에서는 한국 주산지에서 생산되는 신선 농산물을 신선 농산물을 품목별로 수출국 바이어의 요구에 따라 속포장 또는 겉포장한 후 리퍼 컨테이너(reefer container)와 CA(Controlled atmosphere) 컨테이너에 적재하여 장거리 모의수출 시 품질 유지 효과를 평가하였다. 실험은 단일 품목 선적과 과채류 혼합 품목 선적으로 구분하여 수행하였으며, 단일 선적 품목은 참외, '원황' 배, 큰느타리버섯, 혼합 선적 품목은 파프리카, 방울토마토, 애호박으로 구성하였다. 참외는 경북 성주에서 4월 8일, 원황 배는 충남 천안에서 10월 3일, 큰느타리버섯은 충남 논산에서 10월 5일, 파프리카와 방울토마토는 전북 김제에서 10월 5일, 애호박은 전북 전주에서 10월 5일 각각 수확하였으며, 외관상 결점이 없는 개체를 선별하여 사용하였다.

### 2. 포장 방법 및 기체 조성

포장 방법은 품목별 특성에 따라 다음과 같이 적용하였다. 단일 선적 품목으로, 참외는 PE 필름으로 1입 또는 2입씩 밀봉 포장한 후 골판지 상자에 담았으며 자체 호흡으로 MA 조건이 형성되었다. 원황 배는 9~10과를 난좌 위에 넣고 골판지 상자에 포장하였다. 큰느타리버섯은 PE필름으로 벌크 포장한 후 골판지 상자에 담았으며, 자체 호흡으로 MA 조건이 형성되면서 수송하였다. 혼합 품목의 경우, 파프리카는 PE필름으로 포장한 후 골판지 상자에 넣고 자체 호흡으로 MA조건이 형성되었으며, 방울토마토는 별도의 필름 포장 없이 골판지 상자에 직접 담았고, 애호박은 재배 단계에서부터 투명한 EVA/PE 기반의 필름으로 개별 포장된 상태를 수확 후까지 유지하여 골판지 상자에 담아 컨테이너에 적재하였다. 포장재 두께, 포장 내부의 기체 조성 등 자세한 포장 조건을 <Table 1>에 나타내었다.

**Table 1.** Packaging, transport, and storage conditions of fresh Korean horticultural products subjected to simulated export using reefer and controlled atmosphere (CA) containers

Shipping method	Commodity	Packaging method	Transportation			Distribution conditions (°C/days)
			Reefer container conditions (O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> %)	CA container conditions (O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> %)	Transport conditions (°C/days)	
Single product	Oriental melon	30 mm PE film (1 or 2 units) + Corrugated box. Perforation ratio of film: 0.5~1.2%.	- set: 21/0.03 - inside container: 17.5/5.3 - inside of films: 3.5/0.3	- set: 5/0, 5/5, 5/12 - inside container: 5.3/0.01, 5.1/5.2, 5.1/12.3 - inside film: 0.5/0.3, 0~5/1~2, 0.5/3~4	4°C, 10 days	10°C, 7days
	'Wonwhang' asian pear	Corrugated box (9~10 fruits with cushion)	- set: 21/0.03 - inside container: 18.3/5.8	- set: 5/0.04 - inside container: 5.1/0.04	1°C, 2 weeks	10°C, 2 weeks
	King oyster mushroom	Bulk packed in 50 mm PE film + Corrugated box. Perforation ratio of film: 0%	- set: 21/0.03 - inside container: 16.8/6.8 - inside of films : 3~5/10~15	- set: 1/15 - inside container: 1.1/15.1 - inside film: 3~5/10~15	1°C, 7 weeks	1°C, 6 days
Mixed Fruit Vegetables	Paprika, Cherry tomato, Summer squash	- Paprika: 25 mm PE film + Corrugated box. Perforation ratio of film: 0.1~1%. - Cherry tomato : Corrugated box - Summer squash : Individually tight wrapped using transparent EVA/PE-based film + Corrugated box	- set: 21/0.03 - inside container: 18.1/5.3 - inside of paprika film: 5~8/0.3~0.5	- set: 5/0, 5/5, 5/12 - inside container: 5.1/0.05, 5.3/5.9, 5.3/12.9 - inside of paprika film: 1~2/0, 1~2/0.5~1, 1~2/5~6	8°C, 2 weeks	10°C, 7 days

**3. CA 컨테이너 모의수송 처리**

연구에 사용된 CA 컨테이너(CA container, Maersk Co., Beijing, China)는 CA 기능이 탑재된 냉동기와 전기화학식 측정 방식의 O<sub>2</sub> 센서, 적외선(NDIR) 측정 방식의 CO<sub>2</sub> 센서, MEMS type의 온도도 센서가 장착된 컨테이너로 효과적인 화물(농산물)의 수송을 목적으로 하는 ISO 국제규격형 냉동/냉장 컨테이너를 사용하였다. CA 컨테이너 환경조건 중 저장온도는 단일 품목으로 선정한 참외, '원황'배, 큰느타리버섯은 각각 4°C, 10°C, 1°C로 설정하였고, 파프리카, 방울토마토, 애호박을 혼합 저장한 컨테이너는 8°C로 설정하였다. 컨테이너 내부의 공기 조성은 특수 제작된 질소발생기와 순도 99.9%의 고순도 CO<sub>2</sub> 가스를 이용하여 운송기간 동안 <Table 1>의 셋팅 조건으로 조절되도록 하여 모의 수송하였다.

**4. 유통 중 품질 조사**

모의 수송이 끝난 후 컨테이너를 개봉하였고, 이후 참외, '원황'배, 혼합 저장하였던 파프리카, 방울토마토, 그리고 애호박은 10°C의 유통 온도에서, 큰느타리버섯은 1°C에 보관하면서 품질 특성 변화, 부패율, 손실률 및 호흡특성을 조사하였다. 품질 특성차이가 크게 발생되지 않는 품목은 동일한 조건에서 손실률 및 주요 품질 저하 요인만 조사하였다.

**5. 품질특성 조사**

손실률은 대조구를 포함한 각 CA 처리구당 시료 20과를 대상으로 부패나 손실이 있는 시료를 선별하여 전체 시료량 대비 부패과 또는 결점과의 비율(%)로 나타내었다. 이때 대조구를 포함한 각 CA 처리구를 컨테이너에서 개봉 시, 그리고 그 이후 상온 유통 경과일에 따라 조사하였고, 사진 자료를 확보하였다. 손실률이 4~6% 이상인 경우 육안 관찰에서도 품질 저하(wrinkling, shriveling 등)이 명확히 관찰되며, 이는 상업적 품질 유지에 영향을 미치는 기준으로 고려하였다<sup>4</sup>.

생체중량의 감소율은 Kim 등<sup>6)</sup>을 참고하여 모의 수송 전 초기 중량과 수송기간이 끝난 즉시부터 3일 간격으로 측정된 중량의 차이에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

단일 혹은 혼합 품목들의 경도는 Carvalho 등<sup>7)</sup>의 방법을 참고하여 정상과의 가식부를 기준으로 RDA(2018)의 부위별 구분에 따라 과피를 제거하고, 과육 적도 부위의 중벽을 중심으로 4등분한 과육 중 2부위의 과육을 채취하여 측정하였다. Texture analyzer(Lloyd Instrument BG/TA plus, Ametek, Inc., Fareham, UK)의 분석 조건은 depression limit 10 mm, test speed 2 mm/sec, trigger 0.98 N으로 설정하여 측정하였고, flat-tipped 형태의 직경 5 mm probe를 이용하여 측정하였다.

가용성 고형물 함량(soluble solid content)은 Choi 등<sup>8)</sup>

의 방법을 참고하여 RDA(2018)의 부위별 구분에 따라 정상과의 과피와 태좌 부위의 내벽을 제거하고, 적도부의 중벽을 중심으로 4등분한 과육 중 2부위의 과육을 착즙하여 디지털 당도계(PAL-1, Atago Co., LTD., Tokyo, Japan)로 측정하였다.

과육의 색도는 RDA(2018)의 구분에 따른 정상과 가식부의 중벽 부분을 기준으로  $L_{win}$  등<sup>9)</sup>의 방법을 참고해 Chromameter(CR-300, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 Hunter value인 L(lightness), a(redness) 및 b(yellowness) value를 측정하였다. 컨테이너 간의 색도 차이는 초기값에 대한 색차(color difference,  $\Delta E$ )를 이용하여 계산하였다.

## 6. 호흡률 및 에틸렌 발생량

$CO_2$  농도는 Nichols 등<sup>10)</sup>의 방법을 참고하여 각 시료들을 8.5 L 밀폐용기에 1과씩 넣어 1시간 방치한 후 내부에 축적된 head space의 기체 1 mL를 gas-tight syringe로 포집하여 GC (GC-7890B, Agilent Technol., Wilmington, DE, USA)를 이용하여 측정하였다. 이때 분석 조건으로 길이 30 m, 내경 0.32 mm의 column(HP-5, Agilent Technol.)을 사용하였고, 온도는 80°C에 이동상은 flow rate 5 mL·min<sup>-1</sup>의 He를 사용하였다. 검출기로는 thermal conductivity detector(TCD)를 사용하였고 호흡률은 mL  $CO_2$ ·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>으

로 계산하여 표기하였다. 에틸렌 발생량은  $CO_2$  농도와 동일한 방식으로 기체를 포집하였으며, GC(Bruker 450-GC, Bruker Corp., Billerica, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 에틸렌 발생량 분석 조건으로 column 온도는 70°C에 검출기로는 flame ionization detector(FID)를 사용하였고, 검출온도는 250°C로 설정하여 측정하였다. 에틸렌 발생량은  $\mu L C_2H_4 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ 으로 환산하여 표기하였다.

## 7. 통계 분석

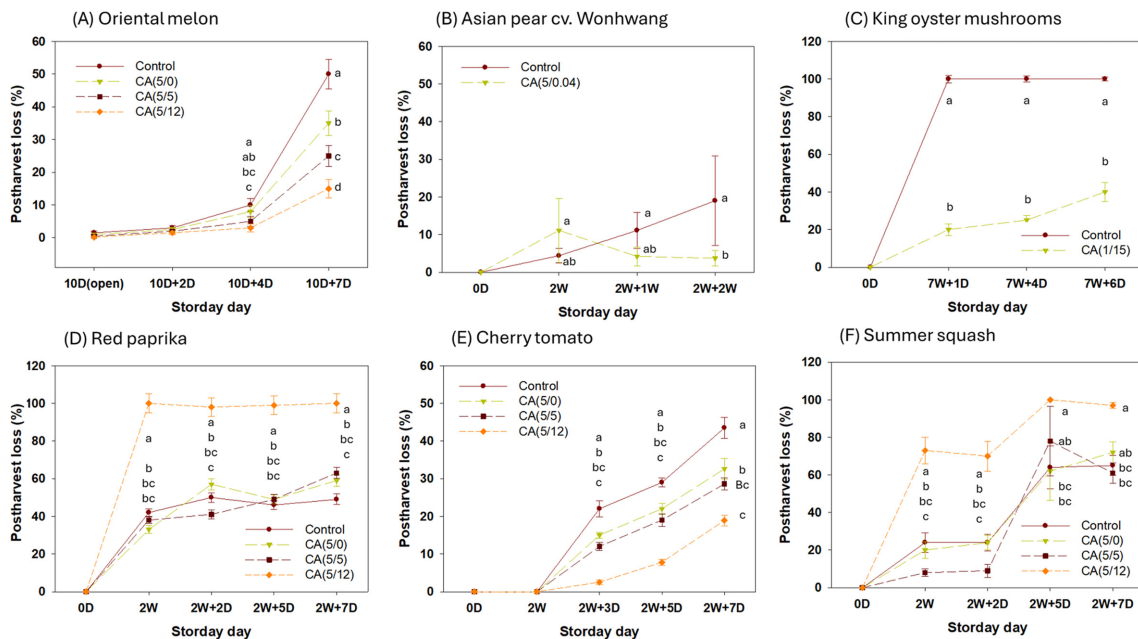
데이터는 평균값을 구한 후 표준오차(standard error, SE)로 나타내었다. 데이터는 IBM SPSS 통계프로그램(ver30.0.0.0)을 이용하여 Duncan의 다중비교법으로 평균간 다중검정을 실시하여 각 데이터의 유의차를 비교하였다. 검정은  $p < 0.05$ 의 임계 유의 수준에서 평가했다.

## 결과 및 고찰

### 1. CA 컨테이너 이용 모의 수출 시 손실률

#### 1.1. 단일 품목 모의 수출 시 손실률

참외는 4°C에서 10일간 CA(5/0, 5/5, 5/12) 컨테이너를 이용하여 모의 수출하였고, 컨테이너를 개봉한 후 10°C의 유통 온도에 보관하면서 손실률을 조사하였다(Fig. 1A). 컨테이너 개봉일(10D)에는 모든 처리구에서 손실률이 0%였



**Fig. 1.** Postharvest loss of fresh Korean horticultural products subjected to simulated export in a controlled atmosphere (CA) container. Oriental melon (A), asian pear cv. Wonhwang (B), and king oyster mushrooms (C) were individually stored in a CA container, while red paprika (D), cherry tomato (E), and summer squash (F) were co-stored in a single CA container for simulated export. Each time point represents the storage duration in the CA container followed by an ambient distribution period. the control treatment was a commercial reefer container with an initial atmospheric composition of 23% oxygen and 0.03% carbon dioxide. all values are presented as the mean  $\pm$  se (n = 3). means with the same letters are not significantly different according to duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

으나, 개봉 후 10°C 유통 기간이 증가함에 따라 손실률이 급격히 증가하였다. 특히 대조구는 개봉 후 7일(10D+7D) 시점에서 손실률이 약 50%에 도달하여 품질 저하가 심각하게 증가한 반면, CA(5/12) 처리구에서는 20% 이하로 유지되며 가장 우수한 품질 유지 효과를 보였다.

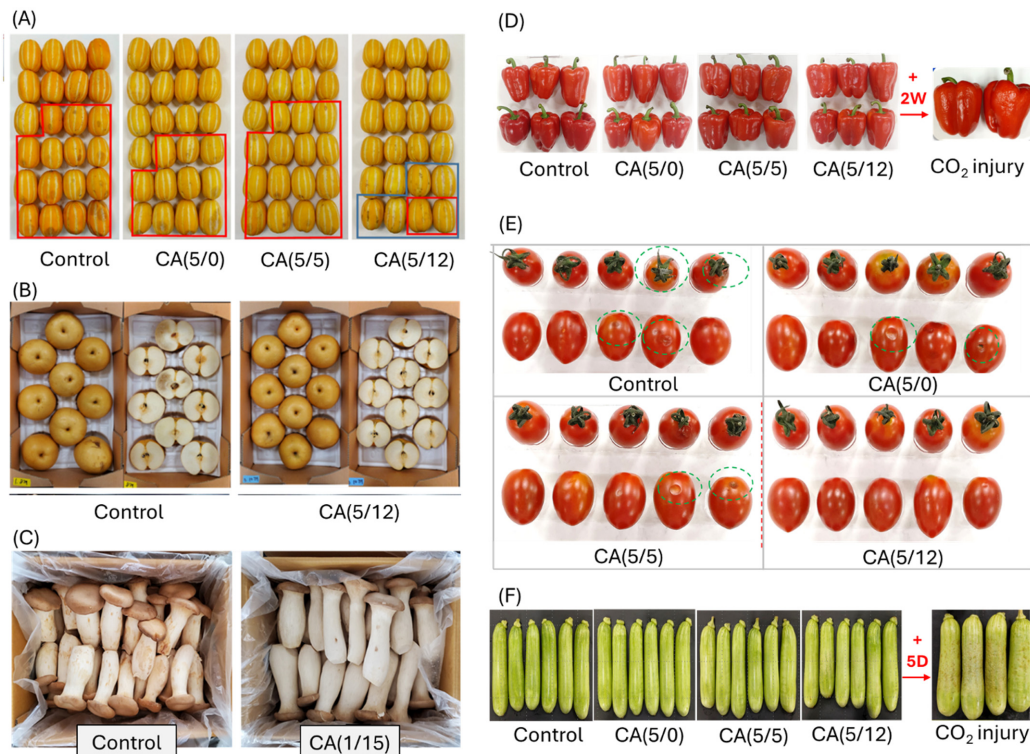
‘원황’배는 1°C에서 2주간 CA(5/0.04) 컨테이너를 이용하여 모의 수출하였고, 컨테이너를 개봉한 후 10°C의 유통 온도에 보관하면서 손실률을 조사하였다(Fig. 1B). ‘원황’배는 CA(5/0.04) 처리구에서 손실률이 대조구에 비해 낮았다. 대조구는 2주 유통 후 손실률이 19.0%까지 증가한 반면, CA(5/0.04) 처리구에서는 3.7%로 유지되었다. 이는 CA 환경이 저장 중 내부 대사작용을 조절하여 품질 저하를 억제한 결과로 해석된다.

큰느타리버섯은 1°C에서 7주간 CA(1/15) 컨테이너를 이용하여 모의 수출하였고, 컨테이너를 개봉한 후 1°C의 유통 온도에 보관하면서 손실률을 조사하였다(Fig. 1C). 큰느타리버섯은 컨테이너를 개봉한 후 1일째(7W+1D), CA(1/15)처리구의 손실률이 18.1%였고, 대조구는 100%에 도달하여 유통이 불가능한 상태였다. 이는 CA(1/15) 조건이

큰느타리버섯의 장기 유통 시 품질 유지에 필수적인 역할을 할 수 있음을 의미한다.

## 1.2. 혼합 과채류 그룹(파프리카, 방울토마토, 애호박)의 모의 수출 시 손실률

파프리카, 방울토마토, 그리고 애호박을 8°C에서 2주간 CA(5/0, 5/5, 5/12) 컨테이너에 혼합 적재하여 모의 수출한 후, 컨테이너를 개봉한 후 10°C의 유통 온도에 보관하면서 손실률을 조사하였다(Fig. 1D, 1E, 1F). 혼합 과채류 그룹에서는 품목별 CA 환경에 대한 반응이 상이하게 나타났다. 파프리카의 경우, 개봉한 후 모든 처리구에서 건전한 품질 상태를 보였다. 그러나 CA(5/12) 처리구에서 개봉 후 2일(2W+2D) 만에 손실률이 100%에 도달하며 고이산화탄소 장애가 뚜렷이 관찰되었다. 반면, CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구에서는 손실률이 점진적으로 증가하였고, 개봉 후 7일(2W+7D) 시점에서도 대조구 대비 유사한 수준을 유지하였다. 방울토마토는 대조구에서 손실률이 가장 높았으며, CA(5/12) 처리구에서 가장 낮은 손실률(20% 이하)을 보였다. 개봉 후 7일(2W+7D) 시점에서 대조구의 손실률은



**Fig. 2.** visual quality of fresh Korean horticultural products subjected to simulated export in a controlled atmosphere (CA) container. Oriental melon (A), asian pear cv. wonhwang (B), and king oyster mushrooms (C) were individually stored in a CA container, whereas red paprika (D), cherry tomato (E), and summer squash (F) were co-stored in a single CA container for simulated export. Photographs were taken after the storage period in the CA container followed by an ambient distribution period, specifically at the following time points: (A) 10 days in CA + 7 days ambient, (B) 2 weeks + 1 week, (C) 7 weeks + 4 days, (D) 2 weeks, (E) 2 weeks + 3 days, and (F) 2 weeks and 2 weeks + 5 days. The control treatment was a commercial reefer container with an initial atmospheric composition of 23% oxygen and 0.03% carbon dioxide.

50% 이상으로 증가한 반면, CA(5/12) 처리구는 품질 유지 효과가 가장 우수하였다. 애호박은 CA(5/12) 처리구에서 가장 빠른 품질 저하가 확인되었으며, 개봉 후 5일(2W+5D) 시점에서 손실률이 100%에 도달하였다. 반면, CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구에서는 손실률이 점진적으로 증가하였으며, 특히 CA(5/5) 처리구가 가장 낮은 손실률을 나타냈다.

## 2. 컨테이너 이용 모의 수출 시 외관 품질

### 2.1. 단일 품목 모의 수출 시 외관 품질

참외는 컨테이너 개봉일(10D)에는 모든 처리구에서 외관 품질이 양호하였다. 그러나 개봉 후 7일, 대조구에서는 표피 변색, 골갈변 발생 등 심각한 품질 저하가 관찰된 반면, CA(5/12) 처리구에서는 이러한 증상이 현저히 감소하였다(Fig. 2A).

‘원황’배는 컨테이너 개봉일(2W)에는 모든 처리구에서 외관 품질이 양호하게 유지되었다. 그러나 개봉 후 1주(2W+1W) 경과 시점에서 대조구에서는 과육 갈변으로 인한 심각한 품질 저하가 확인된 반면, CA(5/0.04) 처리구에서 과육 갈변이 대조구에 비해 현저히 감소하였다(Fig. 2B).

큰느타리버섯은 컨테이너 개봉일(7W)에는 모든 처리구에서 외관 품질이 비교적 양호하게 유지되었으나, 개봉 후 4일(7W+4D)이 경과함에 따라 대조구에서 심각한 품질 저하가 관찰되었다. 대조구의 경우, 버섯 표면이 갈변되고 조직이 심하게 연화되었으며, 일부 시료에서는 건조 및 수축이 두드러지게 나타났다. 반면, CA(1/15) 처리구에서는 대조구 대비 외관 품질이 우수하게 유지되었으며, 갈변 및 조직 연화 현상이 현저히 감소하였다(Fig. 2C).

### 2.2. 혼합 과채류 그룹(파프리카, 방울토마토, 애호박)의 모의 수출 시 외관 품질

파프리카, 방울토마토, 그리고 애호박을 8°C에서 2주간 CA(5/0, 5/5, 5/12) 컨테이너에 혼합 적재하여 모의 수출한 후, 컨테이너를 개봉한 후 10°C의 유통 온도에 보관하면서 외관 품질을 관찰하였다(Fig. 2D, 2E, 2F).

파프리카는 CA 컨테이너 개봉일(2W) 기준으로 모든 처리구의 손실률은 0%였으며, 수확 직후의 품질 상태가 유지되었다. 그러나 개봉 직후부터 CA(5/12) 처리구는 품질이 급격히 저하되었으며, 2W+2D 시점에서 손실률이 100%에 도달하였다. 이는 고농도 CO<sub>2</sub> 환경(12%)이 파프리카의 품질을 심각하게 저하시킬 수 있음을 의미한다. 반면, 대조구, CA(5/0), CA(5/5) 처리구에서는 손실률이 점진적으로 증가하는 경향을 보였으며, 개봉 후 7일(2W+7D) 시점에서 대조구의 손실률이 CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구보다 낮게 유지되었다(Fig. 2D).

방울토마토는 컨테이너 개봉일(2W)에는 모든 처리구에서 표면 광택과 선명한 적색이 유지되었으며, 육질이 단단한

상태였다. 그러나 상온 유통 기간이 경과함에 따라 대조구 및 일부 CA 처리구에서 외관 품질 저하가 점진적으로 진행되었다. 특히, 대조구에서는 개봉 후 3일(2W+3D)부터 표면 광택이 감소하고, 과피에 주름 및 미세한 균열이 형성되었으며, 일부 과실에서는 탄력 저하와 과육 연화가 관찰되었다. 개봉 후 7일(2W+7D) 시점에서는 과피 변색과 부패 과실이 증가하며 품질 저하가 심화되었다. 반면, CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구는 대조구 대비 과피 변색과 연화가 지연되었으나, 개봉 후 시간이 경과할수록 품질 저하가 점차 진행되었다. CA(5/12) 처리구가 가장 우수한 외관 품질을 유지하였다(Fig. 2E).

애호박은 컨테이너 개봉일(2W)에 모든 처리구에서 외관 품질이 양호하게 유지되었으나, 상온 유통 기간이 경과함에 따라 대조구 및 일부 CA 처리구에서 외관 품질이 급격히 저하되었다. 특히, CA(5/12) 처리구에서는 개봉 직후부터 과피 변색, 수축, 표면 손상 등이 관찰되었고, 저장 후반부에는 표면 손상과 부패 증상이 두드러졌다. 반면, CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구에서는 과피 변색이 대조구보다 약간 낮게 발생하였으며, 상대적으로 외관 품질이 양호하게 유지되었다. 특히, CA(5/5) 처리구는 2W+2D까지 대조구 대비 색깔, 표피 손상 등 색상 품질 유지 효과가 보다 우수하였다(Fig. 2F).

## 3. CA 컨테이너 이용 모의 수출 시 주요 품질 저하 요인 및 시사점

### 3.1. 단일 품목 모의 수출 시 품질 저하 요인 및 시사점

#### 3.1.1. 참외

참외는 저장 및 유통 과정에서 수분 손실, 경도 저하, 부패 발생, 골갈변, 갈변 등과 같은 품질 저하가 발생할 수 있으며, 이를 감소시키기 위해서는 적절한 저장 조건 설정이 필요하다. 기존 연구에 따르면, 참외의 적정 저장 온도는 7~10°C이며, CA(Controlled Atmosphere) 저장 시 2~3% O<sub>2</sub> + 5~10% CO<sub>2</sub> 환경이 추천된다<sup>6)</sup>. 또한, 0~3°C의 저온 환경에서 10~15% CO<sub>2</sub>를 적용할 경우 부패 발생을 효과적으로 억제할 수 있으며, 3% O<sub>2</sub> + 10% CO<sub>2</sub> 조건에서 과피 갈변 또한 감소하는 것으로 보고되었다<sup>11)</sup>. 최근 연구에서는 선박 수출을 고려한 CA 컨테이너 활용 시, 4°C에서 5% O<sub>2</sub> + 12% CO<sub>2</sub> 조건이 참외 골갈변 및 저온장해 발생을 유의적으로 감소시키는 효과가 있음을 확인하였다<sup>12)</sup>.

본 실험에서 참외는 4°C에서 10일간 리퍼 컨테이너(초기 23.0/0.03)와 CA(5/0, 5/5, 5/12) 컨테이너를 이용하여 모의 수출하였고, 컨테이너를 개봉한 후 10°C의 유통 온도에 보관하면서 품질 특성 변화를 관찰하였다. 시간 경과에 따라 중량 감소율(Fig. 3A)은 증가하는 경향을 보였으며, 대조구에서 가장 높은 감소율을 나타냈다. 모의 수송 직후 대조구의 중량 감소율은 1.3%였으나, CA(5/0) 처리구에서는 0.7%,

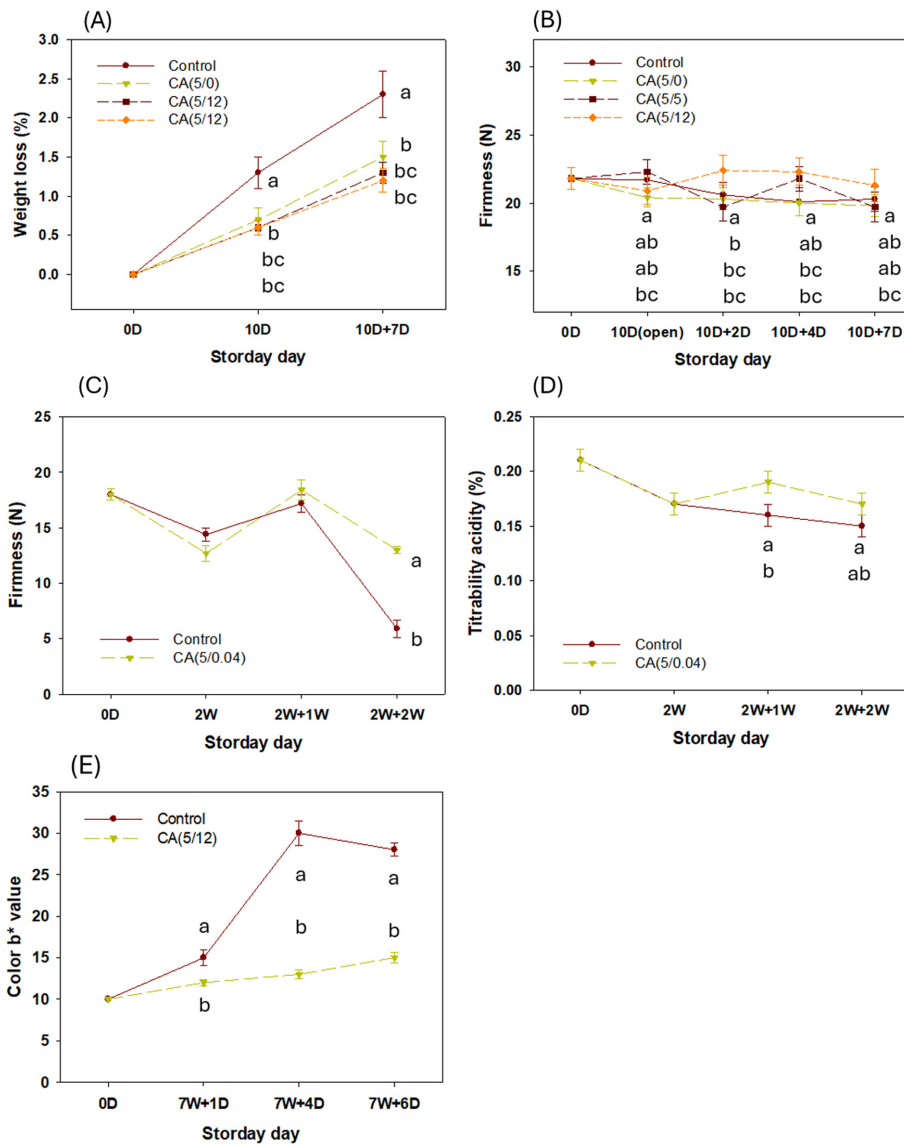


Fig. 3. Quality attributes of fresh Korean horticultural products subjected to simulated export in a controlled atmosphere (CA) container. Weight loss (A) and firmness (B) of oriental melon, firmness (C) and titratable acidity (D) of asian pear cv. Wonhwang, and color b\* value (E) of king oyster mushrooms were evaluated as key indicators of postharvest quality under different CA conditions. Each time point represents the storage period in the CA container followed by an ambient distribution period. The control treatment was a commercial reefer container with an initial atmospheric composition of 23% oxygen and 0.03% carbon dioxide. All values are presented as the mean  $\pm$  SE (n = 3). Means with the same letters are not significantly different according to duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

CA(5/12) 처리구에서는 0.6%로 나타났다. 이러한 차이는 유통 7일차까지 유지되었다. 경도(Fig. 3B)는 4°C에서 10일 저장하는 동안 처리구 간 차이가 없었으나, 이후 상온 보관 시 CA(5/12) 처리군이 대조구보다 높은 경도를 유지하였다. 4°C에서 10일간 저장하는 동안 처리구 간 유의적인 경도 차이는 나타나지 않았다. 그러나 컨테이너 개봉 후 10°C에서 보관하는 동안 CA(5/12) 처리구가 대조구 대비 높은 경도를 유지하였다. 특히, CA(5/12) 처리군의 경도는 모의 유통 2일차에 23.5 N까지 증가한 후, 유통 7일차에는 21.2

N으로 감소하였으나 다른 처리구에 비해 가장 높은 값을 유지하였다. 이는 고이산화탄소 환경이 과실의 경도 유지에 영향을 미칠 수 있음을 시사하며, 딸기에서 보고된 고이산화탄소 조건에서의 경도 증가 효과<sup>11)</sup>와 유사한 결과를 보였다. 부패율과 중량감소율을 포함한 손실률(Fig. 1A)은 저장 기간 증가에 따라 상승하는 경향을 나타냈으며, 대조구에서 가장 높은 값을 기록하였다. 대조구의 부패율은 유통 7일차에 62%까지 증가하였으나, CA(5/12) 처리구에서는 12% 유의적으로 낮았다(데이터 미제시). 이는 높은 CO<sub>2</sub>

농도가 미생물 생장을 억제하는 효과가 있음을 보여주며, 기존 연구에서 제시된 3% O<sub>2</sub> + 10% CO<sub>2</sub> 환경에서 부패 발생이 감소한 결과<sup>11)</sup>와도 일치한다. 10°C에서 10일 저장 후, CA(5/12) 처리구에서 호흡량(23.8 mL CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)과 에틸렌 생성량(1.1 μL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)이 대조구(호흡량 6.2 mL CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, 에틸렌 0.6 μL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)에 비해 높게 나타났다(데이터 미제시). 그러나 모의 유통 후에는 처리구 간 유의적인 차이가 관찰되지 않았으며, 이는 CA 해제 후 내부 CO<sub>2</sub>가 방출되면서 호흡이 활성화된 결과로 해석된다. 이 결과로, 참외는 높은 CO<sub>2</sub> 농도에서 품질 유지 효과가 증가하였으며, CA(5/12) 처리구에서 가장 높은 상품율(77%)을 보였다. 이는 CA 환경이 중량 감소를 억제하고, 경도를 유지하며, 골갈변 발생을 감소시키는 데 효과적임을 시사한다. 이는 Ju 등<sup>12)</sup>의 연구에서 보고된 바와 같이, 4°C에서 5% O<sub>2</sub> + 12% CO<sub>2</sub> 조건이 참외 골갈변과 저온장해 발생을 유의적으로 감소시키는 효과가 있음을 뒷받침하는 결과이다.

### 3.1.2. ‘원황’배

‘원황’배는 조생종 배 품종으로 수확 후 연화 속도가 빠르고 내부 갈변이 빠르게 진행하여 장기 저장 시 품질 저하가 우려되는 품목이다. 기존 연구에 따르면, ‘원황’배를 0~2°C에서 CA(3% O<sub>2</sub> + 3% CO<sub>2</sub>) 저장과 저온 저장한 결과, CA 저장이 중량감소율과 내부 갈변을 감소시키고, 경도를 유지하게 하여 저장 기간을 연장시킬 수 있다고 보고하였다. 미숙과는 CA 저장 60일째까지, 적숙과는 약 35일째까지 내부갈변이 발생하지 않았다. 단지 이 때 CA 환경은 3% O<sub>2</sub> + 3% CO<sub>2</sub> 단일 조건으로 실험되었으며, 다른 CA 조성에 대해서는 연구되지 않았다<sup>13)</sup>.

본 실험에서 ‘원황’배는 적숙과를 이용하였다. 1°C에서 12주간 리퍼 컨테이너와 CA(5/0.04) 컨테이너를 이용하여 모의 수출하였고, 컨테이너를 개봉한 후 10°C의 유통 온도에 보관하면서 품질 특성 변화를 관찰하였다. 모의 수송 직후 경도(Fig. 3C)와 산함량(Fig. 3D)은 대조구와 CA처리구 간 유의차를 보이지 않았다. 그러나 모의 유통 1주 및 2주째에는 CA(5/0.04) 처리구가 대조구보다 경도와 산함량이 높게 유지되는 경향을 보였다. 이는 CA 저장이 ‘원황’배의 연화 속도를 지연시키는 효과가 있음을 의미하며, 기존 연구<sup>13)</sup>에서 보고된 3% O<sub>2</sub> + 3% CO<sub>2</sub> 조건에서 경도 유지 효과와도 유사한 결과를 보였다. 호흡량은 모의 수송 및 모의 유통 기간 동안 CA 처리구(8.4~9.1 mL CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)가 대조구(11.1~12.5 mL CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)에 비해 낮은 호흡량을 보였다. 이는 CA 저장이 CA를 해제한 이후에도 호흡 속도를 감소시켜 대사 작용을 억제하였음을 나타낸다. 모의 수송 직후 내부 갈변을 포함한 손실율(Fig. 1B)은 CA(5/0.04) 처리구에서 11.1%로 나타나 대조구 4.4%에 비해 2배 이상 높은 수치를 보였으나 통계적 유의차는 없었다. 이 후 모의

유통 1주차에는 대조구의 손실율이 11.1%로 증가한 반면, CA 처리구는 4.2%로 낮았고, 모의 유통 2주차에는 이러한 차이가 더욱 뚜렷해져 대조구의 손실율이 19.0%까지 증가한 반면 CA 처리구에서는 3.7%로 유지되었다. 개봉 직후 CA 처리구에서 발생한 내부 갈변은 상자에 따라 발생량에 차이가 컸으며, 이는 처리에 의한 차이라기보다는 ‘원황’배의 개체차이에 의한 결과로 볼 수 있다. 이러한 결과는 CA 처리구의 기체 조성이 대기 조건으로 전환되면서, 저장 기간 동안 축적되었던 갈변 잠재증상이 완화된 것으로 해석된다. CA(5/0.04) 처리구에서는 7주간의 장기 수송 및 유통 중에도 이취 발생이 관찰되지 않았으며, 이는 CA(5/0.04) 조건이 혐기적 발효를 유발하지 않았음을 의미한다. 이 결과를 요약하면 ‘원황’배는 CA(5/0.04) 조건이 대조구에 비해 호흡율을 낮추고 과육 갈변을 지연시키며, 손실율을 낮추는데 효과적이었음을 의미한다. 단, ‘원황’배에 대한 보다 적합한 CA 조건은 향후 수확시 성숙 정도 및 재배 상태에 따라 달라질 수 있으므로 보다 정밀한 실험이 요구된다.

### 3.1.3. 큰느타리버섯

큰느타리버섯은 저장 중 수분 손실, 갈변, 물러짐, 부패 등의 품질 저하가 일어나기 쉬운 품목이며<sup>14)</sup>, 특히 선박 운송을 포함한 장기 유통시 품질 유지가 어려운 것으로 알려져 있다. 기존 연구에 따르면 큰느타리버섯의 적정 저장 온도는 0~2°C이며, CA 저장 시 산소 농도를 1~2%로 유지할 경우 혐기적 발효로 인한 이취 발생 없이 저장이 가능하다고 보고되었다<sup>14)</sup>. 그러나, 산소 농도가 3~4% 이하로 떨어지면 품질 저하가 발생할 수 있으며, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도가 12% 이상일 경우 갖의 개열이 지연되는 효과가 있지만, 심각한 갈변이 발생할 수 있다는 연구 결과도 보고된 바 있다<sup>15)</sup>. Park와 Jhune<sup>16)</sup>은 5% O<sub>2</sub> + 10~15% CO<sub>2</sub>에서 큰느타리버섯을 저장한 결과, 15% CO<sub>2</sub> 조건에서 줄기 갈변 억제에 효과가 나타났으며, 이취 발생에는 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 또한, CA 조건 보다는 유통 온도가 품질 유지에 더 중요한 영향을 미쳤으며, 저온(7°C) 유통할 경우 시장성이 4주 이상 유지된 반면, 20°C에서는 3주 이상 품질 유지가 어렵다고 하였다.

본 연구에서는 1°C에서 7주간 CA(1% O<sub>2</sub> + 15% CO<sub>2</sub>) 컨테이너를 이용하여 모의 선박 운송을 진행하고, 컨테이너 개봉 후 동일온도(1°C)에서 품질 변화를 조사하였다. 그 결과 CA(1/15) 조거에서 저장된 큰느타리버섯은 갈변(Fig. 3E) 및 물러짐 발생이 대조구에 비해 유의적으로 낮았으며, 품질이 효과적으로 유지되었다. 대조구에서는 갖과 대에서 심각한 갈변 및 부패가 발생하였으며, 대부분의 버섯이 유통이 불가능한 수준까지 품질이 저하되었다. 이는 CA(1/15) 조건이 큰느타리버섯의 품질 저하를 지연시키는 데 효과적임을 의미하며, Park와 Jhune<sup>16)</sup>의 연구에서 5% O<sub>2</sub> + 15%

CO<sub>2</sub>의 조건이 줄기 갈변 억제에 제한적으로 효과를 발휘했다는 보고와는 약간의 차이를 보여준다.

큰느타리버섯을 7주간의 수송 후, 대조구의 손실률은 98.2%까지 증가한 반면, CA(1/15) 처리구에서는 18.1%로 유지되며 두 처리구 간 유의한 차이가 나타났다(Fig. 1C). 이는 CA 저장에 큰느타리버섯의 장기 유통 시 품질 유지에 필수적인 역할을 할 수 있음을 의미한다. 특히, 본 연구에서는 CA 저장 환경이 큰느타리버섯의 주요 품질 저하 요인인 수분 손실과 갈변을 효과적으로 억제하는 것이 확인되었다. Ikegaya 등<sup>4)</sup>의 연구에서도 선박 운송 중 표고버섯의 주요 손실 요인은 중량 감소이며, 수분 손실이 4~6%를 초과할 경우 표면 주름, 수축, 탄력 감소, 그리고 갈변이 진행되어 품질이 급격히 저하되는 것으로 보고되었다. 본 연구에서도 대조구에서 심각한 갈변 및 부패가 발생한 반면, CA 컨테이너에서 저장된 큰느타리버섯은 품질 유지 효과가 뚜렷하게 나타났다. 또한, CA(1/15) 처리구에서는 7주간의 장기 수송 및 유통 중에도 이취(off-odor) 발생이 관찰되지 않았으며, 이는 CA 조건이 혐기적 발효를 유발하지 않았음을 의미한다. 이는 산소 농도가 1~2% 범위에서는 혐기적 발효로 인한 품질 저하가 발생하지 않는다는 기존 연구<sup>15)</sup>와도 부합하는 결과이다. 본 연구에서는 CA 컨테이너가 단순한 공기 조성 조절 효과 뿐만 아니라, 리퍼 컨테이너보다 밀폐력이 우수하여 수분 손실을 억제하는 데에도 기여하였을 가능성이 있음을 보여주었다. 이는 CA 저장 시 수분 손실 감소가 품질 유지에 중요한 영향을 미친다는 기존 연구 결과<sup>4)</sup>와도 일치한다.

### 3.2. 혼합 과채류 그룹(파프리카, 방울토마토, 애호박) 모의 수출 시 품질 저하 요인

파프리카, 방울토마토, 그리고 애호박을 8°C의 리퍼 컨테이너와 CA 컨테이너(5/0, 5/5, 5/12)에 혼합 적재하여 2주간 모의 운송 후 컨테이너를 개봉한 후 10°C 유통 온도에 보관하면서 품질 변화를 조사하였다. 이를 통해 적정 저장 온도 및 CA 조건이 서로 다른 품목들의 품질이 단일 컨테이너 내에서 CA 조성 조건에 따라 어떻게 달라지는지 파악하고자 하였다.

파프리카는 저장 중 과피 함몰, 색 변화, 색소 변형, 꼭지 시들음, 갈변, 이취 발생 등의 품질 저하가 일어나기 쉬운 품목이며, 특히 7°C 이하에서 장기 저장 시 저온장해 발생 위험이 증가하는 것으로 알려져 있다<sup>17)</sup>. 파프리카 저장을 위한 적정 이산화탄소 농도는 5%로 보고되었으며<sup>15)</sup>, MA(Modified Atmosphere) 포장 내부의 6.8% O<sub>2</sub> + 4.7% CO<sub>2</sub> 일 때 10°C에서 저장성이 가장 좋았다고 보고되었다<sup>17)</sup>. 그러나 이산화탄소 농도가 지나치게 높을 경우 품질 저하가 급격히 진행될 수 있으며, 특히 12% 이상의 CO<sub>2</sub> 환경에서는 고이산화탄소 장해 발생이 증가한다<sup>15)</sup>.

본 실험에서 파프리카는 CA(5/12) 처리구에서 개봉 후 2일(2W+2D) 만에 손실률이 100%에 도달하며 고이산화탄소 장해가 뚜렷이 관찰되었다. 반면, CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구에서는 손실률이 점진적으로 증가하였고, 개봉 후 7일(2W+7D) 시점에서도 대조구 대비 유사한 수준을 유지하였다. 부패 발생률도 컨테이너 개봉 후 10°C에서 경과 일수가 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 보였는데, 특히 꼭지 썩음병(stem-end rot)과 잿빛 곰팡이병 발생이 주요 부패 원인으로 작용하였다. 대조구에서는 CA 처리구들에 비해 상대적으로 낮은 수준의 부패 발생률을 유지하였는데, 이는 CA 환경이 부패균의 성장을 억제했을 가능성이 있으며, 또한 CA 환경이 노화 및 숙성을 촉진하는 에틸렌의 생성을 억제함으로써 연화를 방지하고, 세포벽 구조를 유지하여 부패균의 침입을 저해했을 가능성이 있다. 이러한 결과는 Watkins<sup>15)</sup>의 연구에서 제시된 5% CO<sub>2</sub> 수준이 적정 저장 조건인지 다시 고려할 필요가 있음을 보여준다.

방울토마토는 저장 중 표면 함몰, 색 변화, 색소 변형, 과피 주름, 연화, 이취 발생 등의 품질 변화가 쉽게 발생하는 품목이며, 특히 5°C 이하의 온도에서 장기 저장 시 저온장해 발생 위험이 증가하는 것으로 알려져 있다<sup>18)</sup>. 방울토마토의 품질 저하는 주로 수분 손실과 조직 연화로 인해 발생하며, 이는 장거리 수출 시 품질 유지를 위한 중요한 요인으로 작용한다<sup>19)</sup>. 기존 연구에서는 10°C에서 5% CO<sub>2</sub> 조건으로 저장할 경우 15일까지 저장이 가능하며<sup>18)</sup>, 13.1% 이하의 산소와 8.3% 이상의 이산화탄소 환경에서 호흡율이 유의하게 감소한다고 보고되었다<sup>20)</sup>. 그러나 O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 농도가 부적절할 경우, 과피 함몰, 이취 발생, 세포막 손상과 같은 부작용이 나타날 수 있다<sup>18, 21)</sup>. 본 연구에서는 혼합 저장으로, 8°C에서 2주간 CA(5/0, 5/5, 5/12) 컨테이너를 이용하여 모의 수출하였고, 컨테이너 개봉 후 10°C에서 모의 유통하면서 품질 변화를 조사하였다. CA 컨테이너 개봉 후 7일(2W+7D) 시점에서 대조구의 손실률은 50% 이상으로 급격히 증가하였으며, CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구에서도 손실률이 증가하였으나, 대조구보다는 낮은 수준이었다. 반면, CA(5/12) 처리구에서는 가장 낮은 손실률(20% 이하)을 유지하며 품질 유지 효과가 가장 좋았다. 방울토마토의 외관 품질 변화에서도 유사한 경향이 확인되었다. 컨테이너 개봉일(2W)에는 모든 처리구에서 표면 광택과 선명한 적색이 유지되었으며, 육질 또한 단단한 상태였다. 그러나 상온 유통 기간이 경과함에 따라 대조구 및 일부 CA 처리구에서 외관 품질 저하가 점진적으로 진행되었다. 특히, 대조구에서는 개봉 후 3일(2W+3D)부터 표면 광택이 감소하고, 과피에 주름과 미세한 균열이 형성되었으며, 일부 과실에서는 탄력 저하와 과육 연화가 관찰되었다. 개봉 후 7일(2W+7D) 시점에서는 과피 변색과 부패 과실의 증가로 품질 저하가 심화되었다. 이러한 결과는 CA(5/12) 처리가 방

울토마토의 장기 저장 및 수출을 위한 최적의 저장 환경으로 고려될 수 있음을 의미한다.

애호박은 저장 중 과피 갈변, 수침상 병변, 색소 변형, 연화, 내부 투명화 등의 품질 저하가 발생하기 쉬운 품목으로, 특히 5°C 이하에서 저온장해 발생이 증가하는 것으로 알려져 있다<sup>22)</sup>. 기존 연구에서는 10°C에서, 1~3% O<sub>2</sub> + 1% CO<sub>2</sub> 환경에서 15~20일간 저온장해 발생을 효과적으로 억제할 수 있음이 보고되었다<sup>22)</sup>.

본 연구에서는 8°C에서 2주간 CA(5/0, 5/5, 5/12) 컨테이너를 이용하여 모의 수출하였고, 컨테이너 개봉 후 10°C에서 모의 유통하면서 품질 변화를 조사하였다. CA 컨테이너 개봉 후 시간이 경과함에 따라 모든 처리구에서 손실률이 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 특히, CA(5/12) 처리구에서는 개봉 후 5일(2W+5D) 시점에서 손실률이 100%에 도달하여 높은 CO<sub>2</sub> 농도(12%)가 애호박의 품질 유지에 부적절함을 나타냈다. 개봉 후 7일(2W+7D) 시점에서 대조구의 손실률은 약 90%까지 증가하였고, CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구는 대조구보다 낮은 손실률을 보였으며, 특히 CA(5/5) 처리구가 가장 낮은 손실률을 보여 장거리 유통 시 보다 적절한 저장 조건으로 판단되었다. 애호박의 외관 품질에서도 유사한 경향이 확인되었다. CA(5/12) 처리구에서는 개봉 직후부터 과피 변색, 수축, 표면 손상 등이 나타났으며, 저장 후반부에는 부패 증상이 두드러졌다. 이는 고농도 CO<sub>2</sub> 환경에서 발생하는 생리장해로 인해 애호박의 조직 손상이 촉진되었음을 의미한다. 반면, CA(5/0) 및 CA(5/5) 처리구에서는 과피 변색과 조직 연화가 대조구보다 적었으며, 상대적으로 외관 품질이 양호하게 유지되었다. 특히, CA(5/5) 처리구는 개봉 후 2일(2W+2D)까지 대조구 대비 색상 품질 유지 효과가 약간 높았으며, 표면 수축과 생리적 손상이 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 Lee와 Yang<sup>22)</sup>의 연구에서 보고된 애호박 저장을 위한 1~3% CO<sub>2</sub> 조건이 본 연구에서도 유사한 품질 유지 효과를 나타낼 가능성이 높음을 의미한다.

### 3.3. 포장 형태와 CA 환경 상호작용에 따른 신선 농산물 품질 변화

포장 형태는 신선 농산물의 저장 및 유통 중 품질에 중요한 영향을 미친다. 포장재로는 polyethylene (PE), poly vinyl chloride (PVC), poly propylene (PP) film 등이 주로 이용되며 종류와 두께에 따라 산소 및 이산화탄소 투과율이 다른데, 이는 과채류의 품질 변화에 중요한 영향을 준다<sup>23)</sup>. 본 연구에서는 단일 품목(참외, '원황' 배, 큰느타리 버섯)과 혼합 품목(파프리카, 방울토마토, 애호박)을 대상으로 서로 다른 형태로 포장된 산물들에 CA(Controlled Atmosphere) 환경을 적용하여 품질 유지 효과를 평가하였다. 수출 시에는 수입국에서 바이어가 원하는 형태의 포장

이 이루어져 운송되는 특성이 있어, CA 컨테이너를 활용할 때도 이미 포장이 완료된 상태로 적재된다. 본 실험에서는 수출 시 기존에 이미 수행하고 있던 포장 형태를 그대로 사용하였다. 컨테이너 내부의 기체 조성은 포장 내부의 기체 환경은 서로 영향을 주면서 품질 변화가 발생한다. MA 포장은 포장 내부의 기체 조성을 변화시켜 농산물의 호흡을 조절하고 품질 저하를 억제하는 역할을 한다. CA 환경이 적용된 컨테이너 내부에서 MA 포장된 품목이 적재될 경우, 포장 내외부의 기체조성이 서로 영향을 주면서 예측할 수 없는 결과가 발생할 수 있다. 예로, MA 포장 내부의 O<sub>2</sub> 농도가 낮고 CO<sub>2</sub> 농도가 높아질 경우, CA 컨테이너 내부와의 기체 교환 속도 차이에 따라 품질 변화가 가속화될 가능성이 있다. 애호박의 경우 필름 내부에서 CO<sub>2</sub> 농도가 급격히 상승하여 과피 변색과 수침상 등이 발생한 것으로 보인다. 특히 CA(5/12)처리구에서 그 속도가 빨랐는데, 이는 투명한EVA/PE 기반의 필름으로 밀착된 포장이 고농도의 이산화탄소 환경인 컨테이너로 CO<sub>2</sub>를 빠르게 배출하지 못하여 CO<sub>2</sub>가 과도하게 축적되었기 때문으로 판단된다. 반면, 개별 포장이 적용되지 않은 방울토마토의 경우 CA(5/12) 처리구에서 품질 유지 효과가 유의적으로 뛰어났다. 이는 포장 없이 CA 환경에 직접 노출됨으로써 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도가 균형을 이루며 호흡 대사가 안정적으로 유지된 결과로 해석된다. 만약 방울토마토를 필름이나 용기 등으로 포장하여 CA 컨테이너에 적재되었다면, 본 실험의 결과와는 다른 CA 조건에서 품질 유지효과가 더 뛰어났을 수도 있다. 따라서 향후 복합 품목을 적재하여 운송할 때 CA 조건 하에서 상호작용하면서 적절한 품질을 유지할 수 있는 MA 조건을 찾는 연구가 필요하다.

파프리카, 방울토마토, 그리고 애호박을 컨테이너에 복합 저장시, 대조구인 리퍼 컨테이너와 적정 환경의 CA 컨테이너에서의 품질 유지 효과를 비교하면, 파프리카와 애호박의 품질은 대조구와 비교시 CA 처리 효과가 미미하거나 없는 반면, 방울토마토는 CA 처리 효과가 뛰어났다. 따라서 향후 혼합 적재하여 수출시 본 실험보다 더 적절한 CA 환경 조건이 구명되기 전까지는 파프리카와 애호박은 리퍼 컨테이너로 운송하는 것이 경제성을 높일 수 있다. 이 때, 보다 적절한 MA 포장 방법이 적용된다면 신선도 유지 기간이 보다 연장될 수 있다. 또한 향후, 신선 농산물 혼합 수출을 위해서는 생산시기, 저장온도 및 적정 CA 조건을 고려하여 유사한 근거리 혼합 적재하여 모의 수출시 환경 조건을 설정하는 연구가 필요하며, CA 조건 하에서 MA 포장을 적절히 개선하는 것이 필요하다. 농산물 수출시 품질은 재배 지역, 수확 시 품질, 선적 전 전처리 과정, 유통 및 저장 조건 등에 따라 크게 영향을 받는다<sup>24)</sup>. 또 운송 조건은 수출국의 검역법이나 절차, 콜드체인 수준에 따라 달라질 수 있다. 따라서 한 번의 수출 모의 실험 결과가 늘 동일하게

나타나는 것은 아니며, 계속 적으로 데이터를 수집하는 것이 필요하다. 이 연구 결과는 다양한 포장 형태를 가지는 과일과 채소는 단일 또는 혼합 적재하여 수출한 결과로, CA 컨테이너를 이용한 농산물 수출의 참고 자료로 활용할 수 있다.

## 요 약

본 연구는 신선 농산물의 장거리 해상 운송 시 품질 유지 효과를 평가하기 위해 리퍼 컨테이너(reefer container)와 제어 대기(CA, controlled atmosphere) 컨테이너를 이용한 모의 수출 실험을 수행하였다. 단일 품목(참외, ‘원황’ 배, 큰느타리버섯)과 혼합 품목(파프리카, 방울토마토, 애호박)을 대상으로 포장 형태와 CA 조건이 품질 유지에 미치는 영향을 분석하였다. 실험 결과, 참외와 배는 CA(5/12) 및 CA(5/0.04) 환경에서 저장성이 향상되었으며, 큰느타리버섯은 CA(1/15) 환경에서 갈변 및 수분 손실이 최소화되었다. 반면, 혼합 품목에서는 품목별 특성에 따라 CA 환경의 영향이 다르게 나타났다. 방울토마토는 CA(5/12) 환경에서 가장 우수한 품질 유지 효과를 보였으나, 파프리카와 애호박은 높은 CO<sub>2</sub> 농도에서 과피 변색과 조직 연화가 발생하였다. MA(Modified Atmosphere) 포장된 품목의 경우, 포장 내부의 기체 조성이 CA 환경과 상호작용하여 품질 변화에 영향을 미는데, CO<sub>2</sub>에 민감한 품목들이 고농도의 CO<sub>2</sub> 환경에서 장해가 발생하는 것을 관찰하였다. 본 연구를 통해 CA 컨테이너의 활용이 신선 농산물의 품질 유지에 효과적임을 확인하였으며, 품목별 최적의 CA 조건을 제시하였다. 혼합 품목 선적 시 특히, MA 포장된 품목의 경우 CA 환경에서 내부 기체 조성을 지속적으로 모니터링할 필요가 있으며, 이를 고려한 저장 조건 최적화가 필요하다. 본 연구 결과는 신선 농산물의 장거리 유통 시 품질 유지 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 논문은 인하대학교의 지원에 의해서 연구되었으며 농촌진흥청 저장유통과의 협력으로 수행되었음에 감사의 뜻을 표한다.

## 참고문헌

- Lukasse, L., Schouten, R., Castelein, R., Lawton, R., Paillart, M., Guo, X., Woltering, E., Tromp, S., Snels, J. and Defraeye, T. 2023. Perspectives on the evolution of reefer containers for transporting fresh produce. *Trends Food Sci. Technol.* 140: 104147.
- Yang, H., Chang, M.S., Park, P., Eum, H.L., Cho, J.H., Choi, J.W., Lim, S., Yun, Y.E., Choi, H.R., Park, M.H., Hong, Y. and Lee, J.H. 2023. Effectiveness of controlled atmosphere container on the freshness of exported PMRsupia melon. *Food Sci. Preserv.* 30: 822-832.
- Ikegaya, A., Kosugi, T., Toyoizumi, T., Nagafuji, A., Yamazaki, S. and Arai, E. 2021. Ingenuity in packaging maintains the quality of fresh fruits and vegetables in mixed cargo exported by sea. *Packag. Technol. Sci.* 34: 693-708.
- Ikegaya, A., Toyoizumi, T., Nagafuji, A., Yamazaki, S., Saika, T. and Kosugi, T. 2023. Development of a low-cost and simplified technology to maintain the quality of fresh produce in mixed cargo shipments. *Food Human.* 1: 524-535.
- Arduino, G., Carrillo Murillo, D. and Parola, F. 2015. Refrigerated container versus bulk: evidence from the banana cold chain. *Marit. Policy Manag.* 42: 228-245.
- Kim, J.S., Choi, H.R., Chung, D.S. and Lee, Y.S. 2010. Current research status of postharvest and packaging technology of oriental melon (*Cucumis melo* var. makuwa) in Korea. *Hortic. Sci. Technol.* 28: 902-911.
- Nascimento, P.A.M., de Carvalho, L.C., Júnior, L.C.C., Pereira, F.M.V. and de Almeida Teixeira, G.H. 2016. Robust PLS models for soluble solids content and firmness determination in low chilling peach using near-infrared spectroscopy (NIR). *Postharvest Biol. Technol.* 111: 345-351.
- Choi J.W., Chang M.S., Lee J.H., Hong, Y. and Kim, J.G. 2018. Changes in quality of oriental melon ‘Smartkkul’ during vessel transportation. *Hortic. Sci. Technol.* 36: 560-568.
- Lwin, H.P. and Lee, J. 2020. Fruit quality and major metabolites in cold-stored ‘Wonhwang’ Asian pears are differentially affected by fruit size. *J. Sci. Food Agric.* 100: 5117-5125.
- Nichols, R. and Hammond, J. 1975. The relationship between respiration, atmosphere and quality in intact and perforated mushroom pre-packs. *Int. J. Food Sci. Technol.* 10: 427-435.
- Lee S.H., Kim C.B., Seom, Y.J., Kim C.Y. and Yoon, J.T. 1999. Effect of different carbon dioxide and oxygen concentration on the quality of oriental melon during CA storage. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 6: 386-391.
- Ju, W., Lee, J.H., Do, E., Ko, D.Y., Jee, E., Chang, M.S., Eum, H.L., Yang, H. and Ku, K.M. 2025. Controlled atmosphere storage enhances Korean melon shelf life and quality: A comparative metabolic analysis with reefer container export. *Postharvest Biol. Technol.* 219: 113238.
- Hong, S.S., Hong, Y.P., Im, B.S., Jeong, D.S. and Shin, I.S. 2024. Influence of picking stage and storage type on the fruit respiration change and panel test in ‘Wonhwang’, ‘Hwasan’, and ‘Mansoo’ pear. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22: 55-62.
- Choi, J.W., Lee, J.H., Oh, I.H., Lim, S., Im, J.H., Yang, H.J., Choi, H., Shin, I.S. and Hong, Y. P. 2021. Effects of quality grade, trimming, and packaging method on shelf life of king oyster mushrooms. *J. Mushrooms* 19: 234-245.
- Watkins, C.B. 2000. Responses of horticultural commodities

- to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging. HortTechnology 10: 501-506.
16. Park, Y.M. and Jhune, Y.M. 2010. Quality changes of king oyster mushroom as influenced by controlled atmosphere regimens during storage and shelf temperature conditions. Hort. Sci. Technol. 28: 70-76.
  17. Cerit, I. and Demirkol, O. 2020. Effects of modified atmosphere packaging conditions and ethylene absorber on the quality of red bell pepper. J. Food Nutr. Res. 59: 35-43.
  18. Taye, A.M., Tilahun, S., Park, D.S., Seo, M.H. and Jeong, C.S. 2017. Effects of continuous application of CO<sub>2</sub> on fruit quality attributes and shelf life during cold storage in cherry tomato. Hort. Sci. Technol. 35: 300-313.
  19. Ikegaya, A., Yamazaki, S., Yamaga, I., Kosugi, T., Toyozumi, T., Nagafuji, A., Saika, T. and Arai, E. 2023. Controlled atmosphere maintains the quality of certain fresh produce in mixed cargo shipments. J. Food Process Eng. 46: e14297.
  20. Kitazawa, H., Sato-Takabe, Y. and Yamada A. 2023. Evaluation of the Impact of oxygen and carbon dioxide atmospheres on respiration rate measurement of cherry tomato. J. Packag. Sci. Technol. 32: 387-396.
  21. Yahia, E.M. 2009. Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities. CRC press, USA, pp.159-192.
  22. Lee, K. and Yang, Y. 1997. Physiological characteristics of chilling injury and CA effect on quality retention during cold storage of squash (*Cucurbita moschata*). Proceeding of ISHS Acta Horticulturae 483 International Symposium on Vegetable Quality of Fresh and Fermented Vegetables, Seoul, Korea, pp 339-348.
  23. Park, S.J., Kim, J.Y., Laksana, A.J. and Kim, B.S. 2023. Effect of Pre-treatment and Packaging Method on Freshness Prolongation of Spring Kimchi Cabbage during Low Temperature Storage. Korean J. Packag. Sci. Technol. 29: 119-128.
  24. Park, J., Kim, D., Seo, W. and Jung, H. 2023. Measurement and analysis of physical environmental load during handling and distribution of domestic fruits-focused on Seongju Korean melon. Korean J. Packag. Sci. Technol. 29: 129-138.
- 투고: 2025.03.24 / 심사완료: 2025.03.25 / 게재확정: 2025.03.31

# Bio-based Photopolymer Synthesis: Epoxidized Soybean Oil (ESO) Modified with Itaconic Acid and Vinyl Acetate

Shinhee Choi, Gunhee Park, Nohjin Park, Taesung Choi, Sangwon Lim, and Su-il Park\*

*Department of Packaging, Yonsei University, 1 Yonseidae-gil, Wonju, Gangwon-do 26493, Republic of Korea*

**Abstract** This study aimed to synthesize a bio-based UV-curable polymer, itaconated epoxidized soybean oil (IESO), using epoxidized soybean oil (ESO) and itaconic acid (IA) as replacements for acrylic polymers. Vinyl acetate (VAc) was added to improve the polymerization rate, adhesion, and water resistance of IESO. The itaconated epoxidized soybean oil/Vinyl acetate (IESO/VAc) content was adjusted to ratios of 9:1, 7:3, and 5:5, then IESO/VAc coated paper and stand-alone films were produced using a UV curing system. Fourier transform infrared spectroscopy analysis confirmed a decrease in C=C bond intensity after UV curing, indicating successful radical polymerization. The adhesion test demonstrated stable adhesive performance, and the water contact angle confirmed that the coating exhibits significant hydrophobicity. In the recycling test, all samples dissolved, indicating that IESO/VAc is a bio-based material that can be chemically recycled. Consequently, IESO/VAc blends have the potential to replace fossil-based curable polymer and may be used as coatings for paper packaging.

**Keywords** Photopolymer, Bio-based, IESO/VAc, UV-coated paper, Chemical recycling

## 1. Introduction

Global greenhouse gas (GHG) emissions are projected to reach 1.34 gigatons per year by 2030 and 2.80 gigatons per year by 2050<sup>1</sup>. In this context, UV curable coatings have gained global attention due to their “5E” advantages: efficient, enabling, economical, energy-saving, and environmentally friendly nature<sup>2,3</sup>. Compared to thermosetting solvent-based adhesives and waterborne systems, UV curable resins can reduce carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions by up to 87%<sup>4</sup>. According to a recent report, the global industrial coatings market is projected to grow from approximately \$ 157.2 billion in 2024 to \$ 210.2 billion by 2032, with a CAGR of 3.7%<sup>5</sup>. Given this rapid market growth, UV curable coatings are expected to gain widespread adoption in the paper packaging industry, where enhanced barrier properties are increasingly needed.

UV-curable resins, consisting of oligomers, monomers, photoinitiators, and additives, undergo photopolymerization, which can be classified into cationic and radical polymerization<sup>6,7</sup>. Upon UV irradiation, photoinitiators generate free radicals or strong acids, which initiate the polymerization of oligomers and monomers. Cationic polymerization proceeds slowly and

continues even after UV irradiation ends, whereas radical polymerization cures rapidly and stops immediately once UV exposure ceases.

Acrylate-based polymers derived from fossil resources raise concerns due to their high volatility, skin irritation, and corrosiveness<sup>8</sup>. Therefore, the demand for renewable and non-toxic alternatives has been increasing. To mitigate the toxicity concerns of conventional acrylic acids, acrylated epoxidized soybean oil (AESO) has been synthesized by esterifying epoxidized soybean oil (ESO) with acrylic acid<sup>9,10</sup>. The resulting AESO enables UV radical cross-linking due to terminal C=C bonds, while the long ESO chains improve the intrinsic brittleness of acrylates<sup>9,11</sup>. The introduction of functional monomers such as methacrylated vanillin, myrcene, and methacrylated eugenol has enhanced mechanical and thermal properties<sup>12–14</sup>. However, residual acrylic acid in AESO production leads to undesirable odor and severe irritation to the skin and respiratory system<sup>8</sup>. For this reason, to replace the potential toxicity of AESO, research on more eco-friendly and non-toxic itaconated epoxidized soybean oil (IESO) has also been conducted<sup>8,11,15</sup>.

ESO is a renewable, non-toxic, and hydrophobic material, making it a potential solution to overcome the limitations of bio-based plastics. Itaconic acid (IA), which contains both carboxyl and C=C functional groups, has structural similarities with acrylic acid and is considered a promising bio-based alternative. The U.S. Department of Energy has recognized it

---

\*Corresponding Author: Su-il Park  
Department of Packaging, Yonsei University, 1 Yonseidae-gil,  
Wonju, Gangwon-do 26493, Republic of Korea  
Tel: +82-33-760-2370  
E-mail: parks@yonsei.ac.kr

as one of the top 12 value-added chemicals derived from biomass<sup>8</sup>). Vinyl acetate (VAc) is an inexpensive material known for its adhesive properties, hardness, and ability to improve curing speed when used as a monofunctional monomer<sup>16,17</sup>.

In this study, the epoxy rings of ESO were opened by an ester exchange reaction with the hydroxyl groups of IA to synthesize IESO, an eco-friendly UV-curable oligomer capable of radical polymerization. Subsequently, VAc was added and cured. The properties of the itaconated epoxidized soybean oil/Vinyl acetate (IESO/VAc) films and coated paper were characterized using Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), thermogravimetric analyzer (TGA), surface analysis, and chemical recyclability assessment. This research aims to develop a sustainable alternative to conventional acrylate-based UV-curable resins by utilizing bio-based components and evaluating their potential applicability in environmentally friendly coating systems.

## 2. Materials and Methods

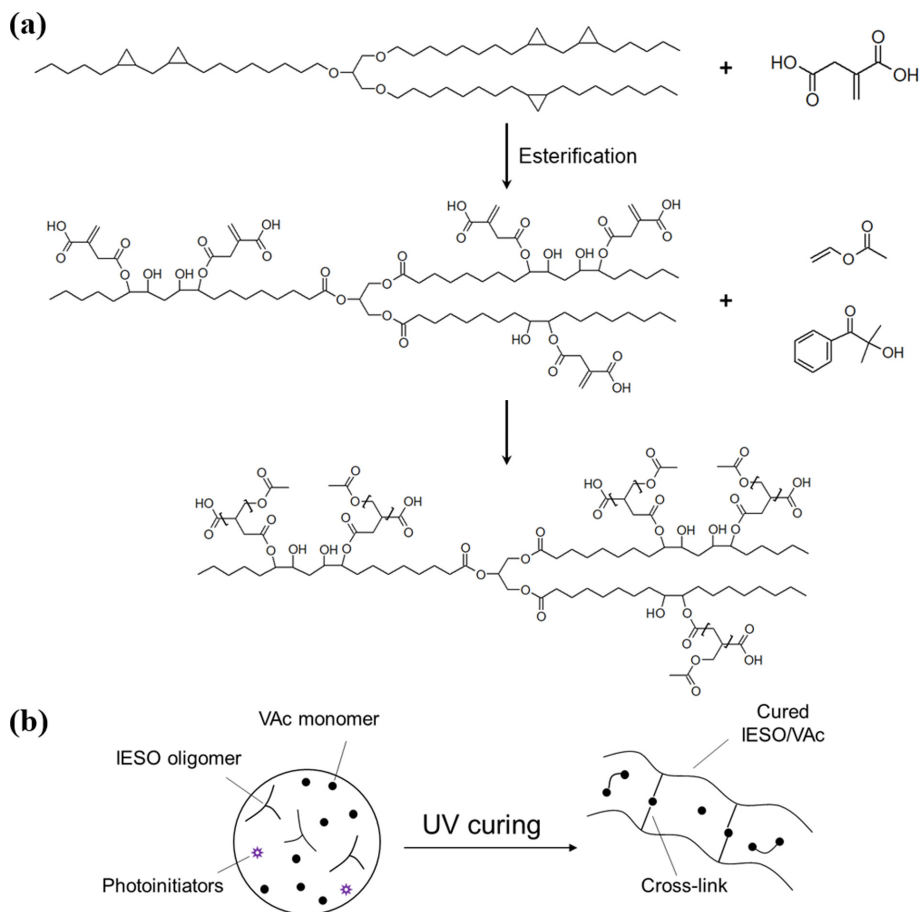
### 2.1. Materials

Epoxidized soybean oil (ESO) was purchased from Aladdin

Scientific (Riverside, CA, USA). Itaconic acid (IA) was bought from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). Vinyl acetate monomer (VAc) was obtained from Daejung Chemicals & Metals (Siheung-si, Korea). An initiator, 2-hydroxy-2-methylpropiophenone (Darocur 1173), was purchased from TCI (Tokyo, Japan). Ethyl Alcohol 99.9% (EtOH) was purchased from Duksan Pure Chemical (Ansan-si, Korea). A 1 mol/L sodium hydroxide solution (1N) was obtained from Samchun Pure Chemical (Seoul, Korea). A 3M® Scotch® “610” Cellophane Film Tape was purchased from SciLab Korea (Seoul, Korea). The 258  $\mu\text{m}$ -thick Kent paper (170 g/m<sup>2</sup>) was obtained from Hanapaper (Namyangju-si, Korea).

### 2.2 Synthesis and Film preparation of IESO/VAc

The IESO was synthesized based on previously reported methods<sup>15</sup>). The formulation was prepared with an epoxide/acid group ratio of 1:1.15. To prepare the solution, 20 mL of EtOH was added to a 100 mL beaker and heated to 90°C, and 5.84 g of IA was added to the beaker and maintained for 10 mins. After IA completely dissolved, 16 g of ESO was added and the mixture was stirred at 90°C, 300 rpm for 1 hour. At this stage, the uncured solution was called IESO-S. The solu-



**Fig. 1.** (a) Schematic diagram of the chemical structure of IESO synthesized by esterification and UV polymerization. (b) UV curing process forming a cross-linked IESO/VAc network.

**Table 1.** Sample compositions with IESO, VAc, and Darocur 1173

Sample	IESO (wt.%)	VAc (wt.%)	Darocur 1173 (phr)
IESO-S	100	0	0
IESO	100	0	3
IESO/VAc 9:1	90	10	3
IESO/VAc 7:3	70	30	3
IESO/VAc 5:5	50	50	3
PVAc	0	100	3

**Table 2.** Thermal stability of cured IESO/VAc blends and PVAc

Sample	TGA				
	T <sub>5%</sub> (°C)	T <sub>10%</sub> (°C)	T <sub>30%</sub> (°C)	T <sub>max1</sub> (°C)	T <sub>max2</sub> (°C)
IESO	206	280	353	377	-
IESO/VAc 9:1	241	303	357	377	-
IESO/VAc 7:3	229	302	362	379	-
IESO/VAc 5:5	227	293	355	379	-
PVAc	252	307	327	332	433

tion was cooled to room temperature, and VAc was added at concentrations of 0, 10, 30, and 50 wt.%. To prepare the coating solution, 3 phr of Darocur 1173 was added to the IESO/VAc mixture. The schematic of the IESO/VAc blend synthesis and UV curing process is shown in Fig. 1, and the sample compositions for different IESO/VAc ratios are presented in Table 2.

Coating solutions with varying concentrations were applied to white paper (258-260  $\mu\text{m}$ ) and cured for 60 mins under a UV curing system (RX-T21, Raynics, Siheung-si, Korea) with a wavelength range of 320-420 nm. The thickness of the cured coated paper ranged from 312-387  $\mu\text{m}$ .

### 2.3. Characterization

FT-IR was used to compare the chemical bonds of the samples before and after curing. FT-IR analysis was performed using an ATR-equipped Fourier transform infrared spectrometer (Spectrum 65, PerkinElmer, Shelton, CT, USA) over a wavelength range of 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  with 64 scans.

To evaluate the surface characteristics of the coated paper, a cross-cut test (ASTM D3359-17, Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test) and water contact angle measurements (Phoenix 300 contact angle goniometer, SEO, Suwon-si, Korea) were performed. The cross-cut test was conducted to assess the interfacial adhesion between the paper and the coating. Twelve parallel cuts, spaced 10 mm apart, were made on the coating surface, and 3M® Scotch® “610” cellophane film tape was uniformly applied. After peeling the tape off at a 45° angle, adhesion was evaluated on a scale from 0B to 5B.

The thermal stability of the IESO/VAc cured films was ana-

lyzed using a TGA (TGA Q500, TA Instruments, New Castle, DE, USA) under nitrogen at a flow rate of 10 mL/min, with a temperature increase of 10°C/min from 30°C to 700°C.

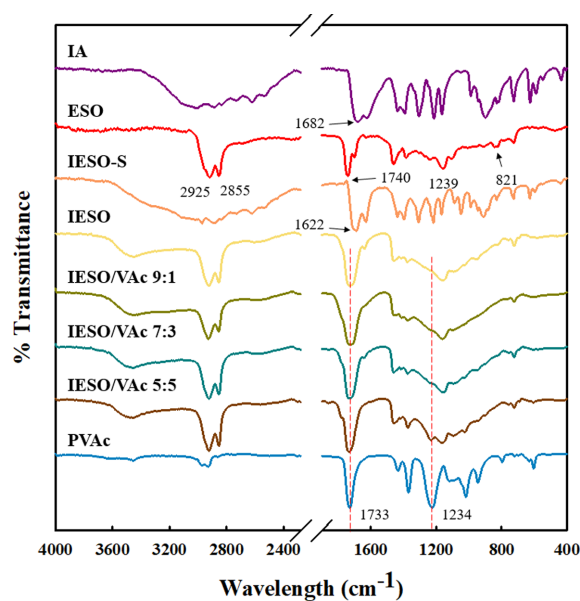
The chemical recyclability of the coated paper was also examined<sup>15,18</sup>. IESO/VAc blends and PVAc coated paper, as well as uncoated paper (10 mm  $\times$  10 mm), were immersed in 20 mL of 1 N NaOH solution at 60°C for 4 hours. After immersion, the samples were thoroughly rinsed with deionized water and dried in an oven at 60°C for 24 hours. Chemical recyclability was assessed by measuring and comparing the weight and thickness of each sample before and after immersion to determine the extent of coating removal.

## 3. Results and discussion

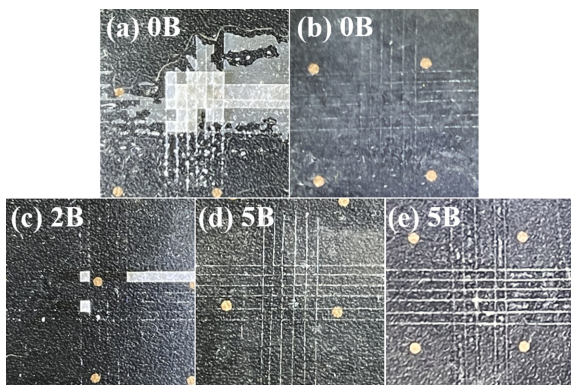
### 3.1 Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)

Fig. 2 presents the FT-IR spectra of the starting monomers and IESO-S, both of which do not contain a photoinitiator, along with IESO and IESO/VAc blends, while also analyzing the chemical bond changes resulting from radical polymerization in the IESO/VAc blends. IA exhibits peaks for O-H stretching (3,100-3,200  $\text{cm}^{-1}$ ), C-H stretching (2,886  $\text{cm}^{-1}$  and 2,834  $\text{cm}^{-1}$ ), carbonyl (C=O) stretching (1,682  $\text{cm}^{-1}$ ), and C=C stretching (1,621  $\text{cm}^{-1}$ )<sup>19,20</sup>. ESO shows peaks for C-H stretching (2,925  $\text{cm}^{-1}$  and 2,855  $\text{cm}^{-1}$ ), ester C=O stretching (1,740  $\text{cm}^{-1}$ ), C-O stretching (1,239  $\text{cm}^{-1}$ ), and epoxy group (821  $\text{cm}^{-1}$ )<sup>21,22</sup>.

The FT-IR spectrum of IESO-S shows that the O-H stretching vibration of IA (3,100-3,200  $\text{cm}^{-1}$ ) and the -C-H stretching peaks of ESO (2,925  $\text{cm}^{-1}$  and 2,855  $\text{cm}^{-1}$ ) merged into a single peak, which formed a broad peak due to the influence



**Fig. 2.** FT-IR spectra of the starting monomers, IESO-S, IESO, and IESO/VAc blends.



**Fig. 3.** Cross-cut test result of (a) IESO, (b) IESO/VAc 9:1, (c) IESO/VAc 7:3, (d) IESO/VAc 5:5, (e) PVAc.

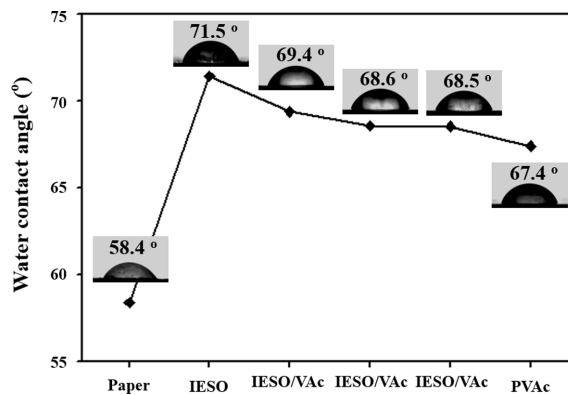
of residual ethanol that was not fully evaporated during synthesis<sup>19-23</sup>. Additionally, the epoxy group peak at  $821\text{ cm}^{-1}$  was reduced<sup>21,22</sup>. A comparison between the spectra of IESO-S and IESO revealed that the characteristic  $\text{C}=\text{C}$  stretching peak ( $1,621\text{ cm}^{-1}$ ), a major indicator of photopolymerization, had nearly disappeared after curing<sup>19,20,22</sup>. As the VAc content increased, the  $\text{C}=\text{O}$  stretching ( $1,733\text{ cm}^{-1}$ ) became sharper, while an additional  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  stretching peak ( $1,234\text{ cm}^{-1}$ ) emerged<sup>19-21,24</sup>. These spectral changes suggest that the incorporation of VAc influenced the polymer structure, contributing to modifications in chemical bonding during the curing process.

### 3.2. Cross-cut test

The cross-cut test was conducted to evaluate the adhesion properties between the coating solution and the substrate, and the results are shown in Fig. 3. The IESO coating layer exhibited very low adhesion, with over 65% detachment due to incomplete curing. As the VAc content increased, adhesion improved. In IESO/VAc 9:1, the uncured coating surface transferred to the tape, while IESO/VAc 7:3 and higher formulations showed significant adhesion enhancement, with IESO/VAc 5:5 achieving the highest rating of 5B. This enhancement is due to the reactive VAc monomer, which increases the radical conversion rate during UV exposure<sup>25</sup>. Additionally, studies have shown that the addition of functional monomers improves wear resistance by promoting elastic deformation and forming a uniform network structure<sup>26</sup>. Therefore, increasing the VAc content enhanced the adhesion of UV-cured coatings.

### 3.3. Water Contact Angle

Fig. 4 presents the changes in contact angles after coating. The initial contact angle of uncoated paper was  $58.4^\circ$ , whereas after coating, the values were  $71.5^\circ$  for IESO,  $69.4^\circ$  for IESO/VAc 9:1,  $68.6^\circ$  for IESO/VAc 7:3,  $68.5^\circ$  for IESO/VAc 5:5, and  $67.4^\circ$  for PVAc. The IESO coating increased the contact

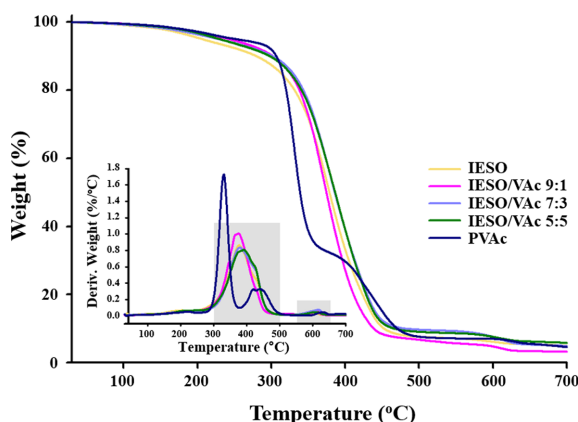


**Fig. 4.** Comparisons of the water contact angle on coated papers and uncoated paper.

angle by approximately  $13.1^\circ$  compared to uncoated paper. This relative increase was influenced by IESO, a fatty acid with long hydrocarbon chains, while UV-induced cross-linking reduced the number of pores available for water penetration, further enhancing hydrophobicity<sup>27</sup>. Although VAc is a nonpolar material, the decrease in contact angle with increasing VAc content can be attributed to its oxidation under UV exposure, which contributed to improved hydrophilicity<sup>28</sup>.

### 3.4 Thermogravimetric Analyzer (TGA)

To evaluate the thermal stability of the polymer, TGA measurements were conducted. The weight loss curves as a function of temperature are presented in Fig. 5, and the corresponding data are summarized in Table 2. The 5 wt.% mass loss temperature ( $T_{5\%}$ ) was  $206^\circ\text{C}$  for IESO and  $252^\circ\text{C}$  for PVAc. Compared to IESO alone, the IESO/VAc blends proved increased  $T_{5\%}$ , 10 wt.% mass loss temperature ( $T_{10\%}$ ), and 30 wt.% mass loss temperature ( $T_{30\%}$ ) values. This improvement is attributed to the role of VAc, which acts as a cross-linker within the IESO matrix and enhances crystallinity due to its short-chain structure. In contrast, IESO, with its long-chain



**Fig. 5.** TGA curves of the cured IESO/VAc blends and PVAc.

structure, increases flexibility and amorphous regions, leading to lower thermal stability.

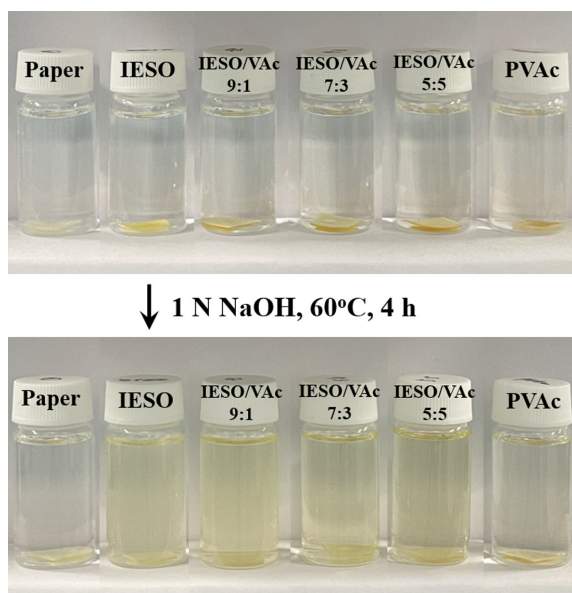
PVAc exhibited a two-step weight loss pattern, which was due to the removal of acetic acid at 300°C, followed by the degradation of polyene in a subsequent step between 400 and 500°C<sup>29-31</sup>). IESO, IESO/VAc 9:1, IESO/VAc 7:3, and IESO/VAc 5:5 exhibited the most significant decomposition between 377-379°C. However, as the VAc content increased, the influence of polyene chain scission led to the formation of a broad decomposition peak in the range of 300-500°C. Furthermore, the weight loss observed 550-650°C is attributed to the thermal degradation or combustion of residual soot<sup>32</sup>).

### 3.5. Chemical recycling

Recyclability is crucial in the development of sustainable cross-linked polymers. The presence of ester bonds in IESO suggests the potential for chemical recycling<sup>15</sup>). Results showed that all coatings, except PVAc, completely dissolved

**Table 3.** Changes in thickness and weight of coated paper before and after NaOH immersion

Sample	Before NaOH immersion		After NaOH immersion	
	Weight (mg)	Thick (μm)	Weight (mg)	Thick (μm)
Paper	170	258	169	338
IESO	374	387	166	289
IESO/VAc 9:1	346	334	178	294
IESO/VAc 7:3	305	344	177	330
IESO/VAc 5:5	294	312	171	283
PVAc	299	316	273	421



**Fig. 6.** Chemical recycling in 1N NaOH at 60°C after 4 hours.

in NaOH. Table 3 presents the weight and thickness of uncoated paper and paper coated with IESO/PVAc blends before and after chemical recycling. The weight of the paper before immersion was 170 mg, and after NaOH immersion, the paper, IESO, IESO/VAc 9:1, IESO/VAc 7:3, and IESO/VAc 5:5 exhibited similar values. This indicates that all coatings were completely dissolved in NaOH. In contrast, PVAc retained 62% more weight, indicating its resistance to NaOH.

The visible changes can be observed in Fig. 6. After 4 hours, the fully dissolved solutions showed a gradual decrease in color intensity, with IESO exhibiting the highest coloration, followed by IESO/VAc 9:1, IESO/VAc 7:3, and IESO/VAc 5:5. This trend is attributed to the inherent transparency of VAc.

## 4. Conclusions

In this study, to manufacture eco-friendly UV-coated paper, IESO/VAc blend solutions were prepared using VAc, a functional monomer, with a small amount of photoinitiator. All IESO/VAc blends exhibited improved hydrophilicity, thermal stability, and chemical recyclability. Among the various formulations tested, the IESO/VAc 5:5 blend was identified as the most effective, demonstrating the highest rating in the cross-cut adhesion test, superior thermal stability compared to other ratios, and a water contact angle of 65.5°, indicating balanced surface properties. Based on these findings, the IESO/VAc 5:5 can be considered a promising candidate for use in the packaging industry, particularly as a sustainable alternative for producing UV-glossy coated paper with improved environmental performance.

## Reference

- Shen, M., Huang, W., Chen, M., Song, B., Zeng, G., and Zhang, Y. 2020. (Micro)plastic crisis: Un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change. *J Clean Prod* 254: 120138.
- Dong, X., Ren, J., Duan, Y., Wu, D., Lin, L., Shi, J., Jia, R., Xu, X., and He, X. 2022. Preparation and properties of green UV-curable itaconic acid cross-linked modified water-borne polyurethane coating. *J Appl Polym Sci* 139 (17): 52042.
- Wang, Z., Liang, H., Yang, H., Xiong, L., Zhou, J., Huang, S., Zhao, C., Zhong, J., and Fan, X. 2019. UV-curable self-healing polyurethane coating based on thiol-ene and Diels-Alder double click reactions. *Prog Org Coat* 137: 105282.
- Vitale, A., Trusiano, G., and Bongiovanni, R. 2017. UV-curing of adhesives: A critical review. *Rev Adhes Adhes* 5: 105-161.
- Fortune Business Insights. 2025. Industrial Coatings Market Size, Share & Industry Analysis, By Resin (Acrylic, Alkyd, Polyurethane, Epoxy, Polyester, and Others), By Technology (Solvent-borne, Water-borne, Powder, and Others), By End-use (General Industrial, Powder, Automotive OEM, Automotive Refinish, Protective, Wood, Marine, Coil, Packaging,

- and Others), and Regional Forecast, 2024-2032.
- Liu, F., Liu, A., Tao, W., and Yang, Y. 2020. Preparation of UV curable organic/inorganic hybrid coatings-a review. *Prog Org Coat* 145: 105685.
  - Patil, R. S., Thomas, J., Patil, M., and John, J. 2023. To shed light on the UV curable coating technology: Current state of the art and perspectives. *J Compos Sci* 7 (12): 513.
  - Li, P., Ma, S., Dai, J., Liu, X., Jiang, Y., Wang, S., Wei, J., Chen, J., and Zhu, J. 2017. Itaconic Acid as a Green Alternative to Acrylic Acid for Producing a Soybean Oil-Based Thermoset: Synthesis and Properties. *ACS Sustain Chem Eng* 5 (1): 1228-1236.
  - Habib, F., and Bajpai, M. 2011. Synthesis characterization of acrylated epoxidized soybean oil for UV-cured coatings. *Chem Chem Technol* 5.
  - Zhou, Y., Feng, L., and Qu, J. 2023. Preparation of high-performance epoxy soybean oil-based UV-curable oligomers and coatings. *J Coat Technol Res* 20 (6): 1923-1933.
  - Dai, J., Liu, X., Ma, S., Wang, J., Shen, X., You, S., and Zhu, J. 2016. Soybean oil-based UV-curable coatings strengthened by crosslink agent derived from itaconic acid together with 2-hydroxyethyl methacrylate phosphate. *Prog Org Coat* 97: 210-215.
  - Yang, X., Li, S., Xia, J., Song, J., Huang, K., and Li, M. 2015. Renewable Myrcene-based UV-curable Monomer and its Copolymers with Acrylated Epoxidized Soybean Oil: Design, Preparation, and Characterization. *Bioresources* 10(2).
  - Zhang, C., Yan, M., Cochran, E. W., and Kessler, M. R. 2015. Biorenewable polymers based on acrylated epoxidized soybean oil and methacrylated vanillin. *Mater Today Commun* 5: 18-22.
  - Zhang, Y., Li, Y., Wang, L., Gao, Z., and Kessler, M. R. 2017. Synthesis and Characterization of Methacrylated Eugenol as a Sustainable Reactive Diluent for a Maleinated Acrylated Epoxidized Soybean Oil Resin. *ACS Sustain Chem Eng* 5 (10): 8876-8883.
  - Di Mauro, C., Genua, A., and Mija, A. 2022. Fully bio-based reprocessable thermosetting resins based on epoxidized vegetable oils cured with itaconic acid. *Ind Crops Prod* 185: 115116.
  - Gadhav, R. V. 2024. Polyvinyl Acetate and Vinyl Acetate-Ethylene Hybrid Adhesive: Synthesis, Characterization, and Properties. *OJPChem* 14 (1): 1-18.
  - Halligan, S. C., Dalton, M. B., Murray, K. A., Dong, Y., Wang, W., Lyons, J. G., and Geever, L. M. 2017. Synthesis, characterisation and phase transition behaviour of temperature-responsive physically crosslinked poly (N-vinylcaprolactam) based polymers for biomedical applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 79: 130-139.
  - Di Mauro, C., Malburet, S., Genua, A., Graillet, A., and Mija, A. 2020. Sustainable Series of New Epoxidized Vegetable Oil-Based Thermosets with Chemical Recycling Properties. *Biomacromolecules* 21 (9): 3923-3935.
  - Xi, X., Pizzi, A., and Delmotte, L. 2018. Isocyanate-free polyurethane coatings and adhesives from mono-and di-saccharides. *Polymers (Basel)* 10 (4): 402.
  - Sen, P., Suresh, K., Vinoth Kumar, R., Kumar, M., and Pugazhenth, G. 2016. A simple solvent blending coupled sonication technique for synthesis of polystyrene (PS)/multi-walled carbon nanotube (MWCNT) nanocomposites: Effect of modified MWCNT content. *J Sci: Adv Mater Devices* 1 (3): 311-323.
  - Tee, Y. B., Talib, R. A., Abdan, K., Chin, N. L., Basha, R. K., and Yunus, K. F. M. 2016. Comparative study of chemical, mechanical, thermal, and barrier properties of poly (lactic acid) plasticized with epoxidized soybean oil and epoxidized palm oil. *Bioresources* 11 (1): 1518-1540.
  - Maia, D. L. H., and Fernandes, F. A. N. 2022. Influence of carboxylic acid in the production of epoxidized soybean oil by conventional and ultrasound-assisted methods. *Biomass Convers Biorefin* 12 (12): 5861-5868.
  - Li, Y., Ma, Q., Li, G., Lou, J., Chen, X., He, Y., and Peng, W. 2022. Pyrolysis of Aesculus chinensis Bunge Leaves as for Extracted Bio-Oil Material. *Polymers (Basel)* 14 (22): 5003.
  - Acik, G., Kamaci, M., and Cansoy, C. E. 2018. Superhydrophobic EVA copolymer fibers: the impact of chemical composition on wettability and photophysical properties. *Colloid Polym Sci* 296 (11): 1759-1766.
  - Ziegenbalg, N., Gruschwitz, F. V., Adermann, T., Mayr, L., Guriyanova, S., and Brendel, J. C. 2022. Vinyl mercaptoethanol as a reactive monomer for the preparation of functional homo- and copolymers with (meth)acrylates. *Polym Chem* 13 (34): 4934-4943.
  - Marasinghe, L., Croutxé-Barghorn, C., Allonas, X., and Criqui, A. 2018. Effect of reactive monomers on polymer structure and abrasion resistance of UV cured thin films. *Prog Org Coat* 118: 22-29.
  - Belhassen, R., Vilaseca, F., Mutjé, P., and Boufi, S. 2014. Thermoplasticized starch modified by reactive blending with epoxidized soybean oil. *Ind Crops Prod* 53: 261-267.
  - Sim, Y. J., Seo, E. K., Choi, G. J., Yoon, S. J., and Jang, J. H. 2009. UV-induced Crosslinking of Poly(vinyl acetate) Films Containing Benzophenone. *Textile Coloration and Finishing* 21 (4): 33-38.
  - Abu-Saied, M. A., Khalil, K. A., and Al-Deyab, S. S. 2012. Preparation and Characterization of Poly Vinyl Acetate Nanofiber Doping Copper Metal. *Int J Electrochem Sci* 7 (3): 2019-2027.
  - Holland, B. J., and Hay, J. N. 2002. The thermal degradation of poly(vinyl acetate) measured by thermal analysis-Fourier transform infrared spectroscopy. *Polymer (Guildf)* 43 (8): 2207-2211.
  - Rimez, B., Rahier, H., Van Assche, G., Artoos, T., Biesemans, M., and Van Mele, B. 2008. The thermal degradation of poly(vinyl acetate) and poly(ethylene-co-vinyl acetate), Part I: Experimental study of the degradation mechanism. *Polym Degrad Stab* 93 (4): 800-810.
  - Bredin, A., Larcher, A. V., and Mullins, B. J. 2011. Thermogravimetric analysis of carbon black and engine soot-Towards a more robust oil analysis method. *Tribol Int* 44 (12): 1642-1650.

## 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 해당하는 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 Lee<sup>1)</sup>는... Kim 등<sup>2)</sup>에..., 이와 박<sup>3)</sup>은..., ...이루어진 바 있다<sup>4)</sup>.

영문원고 - Paine and Shin<sup>1)</sup> reported..., Park et al.<sup>2)</sup> stated.. ...has been developed<sup>3)</sup>.

- 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-TiO<sub>2</sub> 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/m<sup>2</sup>, 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 증정하며 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-TiO<sub>2</sub> 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	3,000,000원 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: ESG를 향한 패키징 기술의 진화
- 2) 일 시: 2025. 04. 23(수) 09:30~18:00
- 3) 장 소: 일산 킨텍스 제1전시장 2층 세미나실 212호, 213호
- 4) 주 최: (사)한국포장학회, 고양특례시
- 5) 공동주관: 고양연구원, 로지스올, 한국건설생활환경시험연구원, 한국생산기술연구원 패키징기술센터
- 6) 후 원: (주)경연전람, 한국순환자원유통지원센터, 연세패키징기술경영최고위과정 총동문회, 소프트팩(주), 에스아이지 코리아
- 7) 프 로 그 램 :

4/23 (WED) 09:30~18:00	등록 (Registration)	
개회식(Opening Ceremony) (세미나실 212호 & 213호)		
09:30~10:00	사회: 한재준 수석이사 (한국포장학회)	유하경 회장 (한국포장학회)
	개회사	김영선 회장 (연세패키징기술경영최고위과정 총동문회)
	축사	(사)한국포장학회 & 연세패키징기술경영최고위과정 총동문회 업무협약식
	경과보고 및 사진촬영	오재영 수석부회장 (한국포장학회)
통합 세션 (세미나실 212호 & 213호)		
		좌장: 조영진 부회장 (한국포장학회)
10:00~10:30	Plenary Lecture 1: 대한민국 패키징 기업의 현실과 미래 (김영선 회장, 연세패키징기술경영최고위과정 총동문회)	
10:30~11:00	Plenary Lecture 2: 리테일 ESG의 연대와 혁신이 이끄는 지속가능 패키징 전환 모넨텀 'Packaging Playbook 사례 공감' (김동혁 부장, ㈜이마트)	
11:00~11:30	Plenary Lecture 3: 재활용 가능한 벌균팩 기술개발 사례 (권오석 이사, 에스아이지 코리아)	
11:30~12:30	LUNCH BREAK & 「ESG 지속가능 패키징페어」 전시회 관람	
12:30~13:30	Poster Session	
장소	세미나실 212호	세미나실 213호
	Session A-1: 생분해성 플라스틱 (주관: KCL 에코자원순환센터)	Session B-1: 다회용 재사용 패키징 (주관: 로지스올)
	좌장: 김대훈 박사 (KCL)	좌장: 도한솔 교수 (이화여자대학교)
13:30~13:50	생분해 플라스틱 시장 동향 및 전망 (심도용 책임, 한국화학산업협회)	상온 순환물류포장(Returnable Transport Packaging) 개발 (김수현 수석, LOGISALL 기술연구소)
13:50~14:10	Compostable bead foam 개발 동향 (최동희 과장, ㈜동성케미칼)	온도제어패키징(TCP)과 풀드체인 모니터링 기술 개발 현황 및 적용 사례 (이창형 팀장, 씨모랩코리아)
14:10~14:30	생분해 플라스틱 이슈 대응과 업계의 제품화 전략 (문상권 부장, KPMRA)	환경 친화적 어상자 개발 및 실증 사례 (김현욱 팀장, 한국컨테이너플)
14:30~14:50	COFFEE BREAK	
	Session A-2: 유통물류 기술 및 표준 (주관: KCL 유통물류기술센터)	Session B-2: 패키징 디자인 동향 (주관: 한국포장학회 디자인분과)
	좌장: 정영훈 교수 (경북대학교) & 임미진 박사 (KCL)	좌장: 손수경 교수 (백제예술대학교)

14:50~15:10	2025 리테일 트렌드와 e플랫폼 전략 (마중수 교수, 한국유통연구원)	지속가능한 미래를 위한 디자인 트렌드 및 전략 (김나영 교수, 인하공업전문대학)
15:10~15:30	플랫폼트 물류 포장 연구 문헌 연구 (권구포 교수, 영산대학교)	ESG를 기반으로 한 중/소형 가전제품 친환경 패키지 디자인 현황 (책임연구원, LG전자 디자인센터)
15:30~15:50	무인매장의 안전을 위한 국제표준의 역할 (남영운 교수, 서울대학교)	초개인화 시대의 가치 제안 : 지속가능한 종이 기반 패키징 솔루션 (류재복 수석, 한솔제지)
15:50~16:10	COFFEE BREAK	
	Session A-3: 패키징 전과정평가 (주관: 한국생산기술연구원 패키징기술센터)	Session B-3: 패키징 산업 (주관: 연세패키징기술경영최고위과정 총동문회)
	좌장: 강동호 박사 (한국생산기술연구원)	좌장: 김인수 교수 (연세대학교)
16:10~16:30	포장산업의 글로벌 환경규제 도입 및 이행 (최요한 선임연구원, 한국생산기술연구원 국가청정센터)	가공식품의 식품 로스 절감을 위한 포장용기의 역할 (Yoshifumi Taguchi Technical Advisor, BM TS)
16:30~16:50	전과정평가를 활용한 친환경 소재 개발 및 경영 활용방안 (이준범 팀장, SK케미칼)	지속가능한 패키징을 위한 블로우 성형기술 혁신과 적용사례 (이영수 소장, 새한프라텍)
16:50~17:10	유리소재 컨테이너 패키징의 환경배려를 위한 수용성 도료의 확대 적용 방안 (강호상 대표, 폴리네트론)	패키징 변화에 따른 코딩 & 마킹 기술변화 (전상욱 대표, 도미노코리아)
17:10~18:00	공로패·감사패·감사장 증정, 포스터상 수여 및 경품 추첨 (사)한국포장학회 임시총회	사회 : 한재준 수석이사 (한국포장학회)

**3. 임원회의**

**3.1 제 1차 정기 이사회**

- ◎ 일 시 : 2025. 01. 17(수), 17~18시
- ◎ 장 소 : 토즈 강남컨퍼런스점 및 온라인(Zoom)
- ◎ 안 건 : 학회장 신년 인사, 25년 이사진 선출 보고, 25년 사업 계획 및 예산(안), 24년 결산 보고, 기타 학회 발전 및 운영 방안 논의 등

**3.2 제 2차 정기 이사회**

- ◎ 일 시 : 2025. 02. 20(목), 17~18시
- ◎ 장 소 : 토즈 강남컨퍼런스점 및 온라인(Zoom)
- ◎ 안 건 : 학술지 진행 사항, 춘·추계 학술대회 추진 및 준비, 25년 용역 및 기타 사업계획, 기타 학회 발전 및 운영 방안 논의 등

**3.3 제 3차 정기 이사회**

- ◎ 일 시 : 2025. 03. 20(목), 17~18시
- ◎ 장 소 : 토즈 강남컨퍼런스점 및 온라인(Zoom)
- ◎ 안 건 : 학술지 진행 사항, 춘·추계 학술대회 추진 및 준비, 25년 용역 및 기타 사업계획, 기타 학회 발전 및 운영 방안 논의 등

**4. 2025년 한국포장학회 법인회원**

- ◎ 엔피씨(주), (주)세탑, 주식회사 윌로그, (주)삼양패키징, 한솔제지(주), 태림페이퍼(주), 소프트팩 주식회사, 한국순환자원유통지원센터, 한국컨테이너플(주)

**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. 4 Vol. 31 No. 1

---

KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY