KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 31, No. 1 11~27 (2025)
https://doi.org/10.20909/kopast.2025.31.1.11

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

서 론

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[1,2]. 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 나눠진다. 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[3,4]. 둘째, 미세플라스틱의 문제이다. 포장재에서 유래한 미세플라스틱이 식품에 섞여 소비될 수 있어 건강에 미치는 위험이 커지고 있다[5].

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[6], 미국(United States, US)은 식품의약품청(FDA)이 식품의약품화장품법(Food, Drug, and Cosmetic Act, FDCA)에 근거하여 포장재에 포함된 화학물질의 안전성을 평가하고 있다[7]. 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[8], 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[4]. 미세플라스틱이 인체에 미치는 영향에 관한 연구도 급증하고 있다. 연구자들은 포장재에서 유래한 미세플라스틱이 식품을 통해 체내에 흡수될 가능성과 그로 인한 건강 영향을 조사하고 있다[9].

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 전달되는 것을 통해 발생할 수 있다. 이러한 화학물질에는 포장재 생산에 사용되는 가소제, 착색제, 단량체 및 기타 첨가제가 포함될 수 있다[10].

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 임산부와 같은 취약 계층에서 건강 문제를 일으킬 수 있다는 우려가 제기되었다[4]. 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[11]. 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[12]. 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[13]. 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. 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP)과 같은 재료는 일반적으로 폴리스티렌(PS)이나 폴리카보네이트(PC) 플라스틱보다 이행 가능성이 낮다[14].

식품 포장산업이 생분해성 플라스틱, 다층 포장 및 활성 포장(식품에 방부제를 방출할 수 있음)과 같은 분야로 발전됨에 따라 새로운 소재에서 화학물질의 이행과 관련하여 과제가 발생하고 있다. 예를 들어, 폴리락트산(PLA)은 석유기반 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 견뎌낼 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 사람이 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[22]. 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[23]. 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 산함량은 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[22,24]. 프탈레이트, BPA, 플라스틱 포장재의 가소제와 같은 화학물질이 식품으로 이행되어 식품안전에 영향을 미칠 수 있으며, 극단적인 경우 식품의 맛을 바꾸거나 내분비계 교란 특성으로 인해 인체 건강 위험을 초래할 수 있다[4,11]. 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[24]. 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[25]. 넷째, 산성 식품과 포장재 간의 상호작용은 식품의 풍미, 향 및 영양 성분에 영향을 미치는 바람직하지 않은 화학반응을 일으킬 수 있다. 예를 들어, 특정 포장재는 고산도 식품의 맛을 변화시키는 휘발성유기화합물(VOCs) 또는 향을 방출할 수 있다[26].

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 고산성 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[39]. 능동적 포장은 식품과 포장 사이에 추가 장벽을 제공하여 화학물질 이행 위험을 완화하는 데 도움이 될 수도 있다[40]. 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[41]. 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[42].

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[43,44]. 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[45]. 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

통기한을 연장하고 오염 위험을 줄이며 식품안전을 개선하는 데 도움이 될 수 있다[46]. 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[47]. 나노셀룰로오스(식물 섬유에서 파생)를 활용하면 포장 필름의 강도와 인열 저항성이 증가하여 상당한 무게를 추가하지 않고도 내구성이 높아질 수 있다[48]. 이는 재료의 낭비를 줄이고 포장을 더욱 비용 효율적으로 만드는 데 기여할 수 있을 것이다

이외에도 나노소재는 식품 상태를 모니터링하는 능동적이고 지능형인 스마트 포장 시스템에도 사용될 수 있다[49]. 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[50]. 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[51]. 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[52]. 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[53-55].

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[56].

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[57].

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[58]. 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[59]. 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[60]. 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[61]. 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 식품안전을 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. 과제와 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)	- Regulation (EC) No. 1935/2004 on materials and articles intended to come into contact with food. - Regulation (EU) No. 282/2008 on recycled plastics used in food packaging.	- Recycled materials must not release harmful substances into food. - Recycled plastics must undergo a detailed safety evaluation before approval. - The recycling process must prevent contaminants from migrating into food. - Recycled plastics must be processed using specific technologies like depolymerization, pyrolysis, or supercritical fluid processing to ensure safety.	6
United States (US)	- Food and Drug Administration (FDA) regulations under the Federal Food, Drug, and Cosmetic Act. - FDA's Food Contact Notification (FCN) process for recycled materials.	- Recycled materials used in food packaging must be validated to ensure no harmful substances are present. - Companies must submit migration studies and other safety data to the FDA to demonstrate safety. - 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.	7
Korea	- Food Sanitation Act and Standards for Food Containers and Packaging. - Regulations from the Ministry of Food and Drug Safety (MFDS) regarding the use of recycled materials in food packaging.	- Recycled materials must be derived from food-grade sources. - Recycled packaging materials must undergo proper decontamination during the recycling process to prevent contamination. - Migration testing and approval processes are required for the use of recycled materials in food contact applications.	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[62,63]. 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[64]. 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 기준 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 보장하는 데 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[63]. 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[61]. 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[65]. 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[66]. 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[67]. “재활용 가능”, “퇴비화 가능” 또는 “재생 가능한 재료로 만들어짐”과 같은 라벨은 환경을 의식한 구매 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 내용과 잠재적 위험에 대해 잘 알고 있도록 설계되어있다. EC No. 1935/2004 규정에는 모든 식품 포장재가 소비자에게 안전해야 하며, 특정한 경우 라벨링이 필요하다고 명시하고 있다[68]. 예를 들어, 나노물질을 포함하는 식품 포장재는 나노물질 사용에 대한 유럽위원회의 지침에 따라 명확하게 라벨을 붙여야 한다. 재활용 포장재에 명확한 라벨을 붙여 소비자가 포장이 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[69,70]. 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 내용이나 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[71,72]. 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[66].

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 포장이 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[67].

“재활용 가능” 또는 “생분해 가능”과 같은 많은 포장 지속 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[73]. 의무적 기준이나 인증 프로그램이 없으면 소비자는 포장이 실제보다 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 개발도상국가에서는 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[6]. 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[7]. 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[8]. 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[2,39]. 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[6]	Federal Food, Drug, and Cosmetic Act (FDCA)[7]	Standards and Specifications for Utensils, Containers and Packages (Part I, II)[8]
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[74,75].

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[76,77].

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[1,78].

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

다양한 환경 조건에서 다양한 화합물을 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[79,80].

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[81]. 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[82]. 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, 나노은과 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[83]. 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 순환경제의 발전을 이끌고 있다[84]. 이는 재활용과 재사용을 촉진하는 혁신적인 방법들을 통해 플라스틱 사용을 줄이고, 폐기물 관리를 효율적으로 하여 환경에 미치는 영향을 최소화하려는 노력을 포함한다. 순환경제 모델은 포장재가 한 번 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.

결 론

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 예상한다. 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 영역를 탐구하고, 이러한 지속적인 우려 사항을 해결하는 규제와 과학적 연구의 동향을 살펴보았다.

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. European Union (EU). Regulation (EC) No. 1935/2004: http://data.europa.eu/eli/reg/2004/1935/ojRegulation (EU) No. 10/2011: http://data.europa.eu/eli/reg/2011/10/ojDirective 94/62/EC: http://data.europa.eu/eli/dir/1994/62/oj
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Manoli, E., and Voutsa, 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.
13. 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.
14. 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., Brüschweiler, 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. Poulose, 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., Mohibbullah, M., Khan, S.I., Islam, M.A., Mondal, H.T., and Ahmmed, 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., Jagajanantha, 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 Kühl, 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