

## Microplastics in Processed Food: New Threats to Food Safety

Jihoo Kim<sup>1</sup>, Hyeyoung Lee<sup>2</sup>, Dong-Seob Kim<sup>3,4</sup>, Chung-Yeol Lee<sup>4</sup> and Heeseob Lee<sup>1,4\*</sup><sup>1</sup>Department of Food Science and Nutrition, Pusan National University, Busan 46241, Korea<sup>2</sup>Division of Applied Bioengineering, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea<sup>3</sup>Department of Food Science and Technology, Pusan National University, Miryang 50463, Korea<sup>4</sup>Longevity & Wellbeing Research Center, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

Received January 17, 2023 / Revised February 7, 2023 / Accepted February 7, 2023

Since nylon 66, a polyamide resin, has been developed and applied to toothbrush bristles, plastic consumption has increased rapidly every year, along with the increase in the amount of plastic discarded. Among the various forms of plastic debris produced by the decomposition of plastics, microplastics with a size of less than 5 mm are widely distributed in the environment, which poses a threat not only to the environment but also to animals and humans. The pathway through which microplastics enter the human body is known as ingestion by water and food, inhalation from air, and skin contact. Microplastics introduced into the human body affect human health. Recently, food-related studies have begun to be reported among microplastics-related studies, and analyses of the presence of microplastics in processed foods, such as canned foods, dried seaweed, beverages, beer, milk, sugar, and honey, are underway. Here, we present trends in the production and consumption of plastics, the generation of microplastics, the route of human inflow and human risk, and the microplastics present in processed foods, which are limited but have recently been reported. Thus far, studies on microplastics and risk assessment in processed foods have been insufficient, but microplastics are gradually being recognized as a factor that affects the environment and food. Future studies are expected to have implications for regulations regarding microplastics present in processed foods.

**Key words :** Human exposure pathway, microplastics, plastics, processed food, risk factor

### 서 론

플라스틱은 1938년 DuPont사에서 헥사메틸렌다이아민(hexamethylene diamine, HDMA)과 아디프산(adipic acid)의 축중합을 이용하여 생산한 폴리아미드(polyamide) 수지인 나일론(nylon) 66을 생산하여 최초의 상업 제품인 칫솔모에 적용된 이래로 모든 산업에 전반적으로 사용되고 있으며, 일상 생활의 모든 분야에 편리함을 제공하고 있다[51]. 플라스틱이 일상 생활에 유용하게 사용되는 이유는 유연성과 쉽게 늘어나는 성질로 인해 다양한 형태로 가공이 가능하며, 내구성, 낮은 가격, 부식에 강한 특성을 지니고 있기 때문이다[55]. 이로 인해 전세계적인 플라스틱의 생산량은 매년 지속적으로 증가하고 있는 상황이며, 이와 더불어 폐기되고 있는 플라스틱의 양도 증가하고

있다[40, 42].

플라스틱의 분해에 의해 생성되는 다양한 플라스틱 중에서 5 mm 이하 크기에 해당하는 미세플라스틱은 환경뿐만 아니라 동물과 나아가 인간에게 위협이 되는 존재가 되고 있다. 미세플라스틱은 전 세계적으로 분포하고 있으며, 육상과 해양 생태계에 축적되고 있다. 바닷물에 존재하는 미세플라스틱 입자의 수는 평방미터 당 102,000개의 입자로 알려져 있으며, 그 외에도 담수, 침전물, 토양, 공기 등에 미세플라스틱에 의한 오염이 발생하는 것으로 보고되고 있다[44]. 미세플라스틱은 크기가 매우 작기 때문에 육상과 해양에 서식하는 생명체에 의해 섭취되며 이를 통해 식품으로 전이가 될 수 있으며, 또한 환경으로부터 간접적으로 전이가 일어날 수 있다[4].

본 총설에서는 전 세계적으로 사용되고 있는 플라스틱의 소비량과 더불어 폐기되는 플라스틱의 규모와 플라스틱의 분해에 의해 생성되는 미세플라스틱의 발생 원인에 대하여 살펴보았다. 그리고, 미세플라스틱이 인체에 유입되는 경로와 미세플라스틱이 인체에 미치는 영향에 대하여 다루었다. 마지막으로, 제한적이긴 하지만 가공식품에 존재하는 미세플라스틱에 대한 최근의 연구 동향에 대하여 제시하였다.

#### \*Corresponding author

Tel : +82-51-510-2838, Fax : +82-51-583-3648

E-mail : [heeseoblee@pusan.ac.kr](mailto:heeseoblee@pusan.ac.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 본 문

### 플라스틱의 소비 현황

인구 및 소득 수준의 증가로 인하여 최근의 플라스틱의 생산은 지속적으로 증가하고 있으며 특히, 전세계적으로 2000년 2.34억 톤에서 2019년 4.60억 톤으로 증가하였다 (Fig. 1A) [40, 41]. 이러한 증가 추세로 보아 2060년에는 12.3억 톤의 플라스틱이 사용될 것으로 전망되고 있다 [42]. 플라스틱은 경제적이고 성형 가공이 편리하며, 우수한 화학적 안정성, 강도, 내구성, 단열성, 기계적 물성, 전기 절연성 및 탄성 등의 장점으로 인해서[47], 일상 생활에서 포장재(packaging) 31.0%, 건설(construction) 16.7%, 교통(transportation) 12.0%, 소비재(customer products) 10.2%, 직물(textile) 9.5%, 전자 및 설비(electronics & machinery) 4.4%, 타이어(tyres) 1.7% 및 기타(others) 14.5%로 다양하게 활용되고 있다(Fig. 1B) [39].

플라스틱은 가열 시 액체로 녹는 열가소성 플라스틱(thermoplastics)과 녹지 않고 굳게 되는 열경화성 플라스틱(thermosets)로 구분되며 전체 플라스틱 생산량의 85% 정도가 열가소성 플라스틱에 해당한다[62]. 일반적으로

사용되는 열가소성 플라스틱에는 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 폴리에틸렌(polyethylene, PE), 폴리아미드(polyamide, PA), 고밀도 폴리에틸렌(high-density polyethylene, HDPE), 저밀도 폴리에틸렌(low-density polyethylene, LDPE), 폴리염화비닐(polyvinyl chloride, PVC), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리스티렌(polystyrene, PS) 등이 있으며, 열경화성 플라스틱에는 폴리우레탄(polyurethane, PUR), 요소 수지(urea resin), 멜라민 수지(melamine resin), 폴리에스테르 수지(polyester resin, PE), 에폭시 수지(epoxy resin) 등이 있다[2, 62]. 플라스틱은 사용의 목적에 따라서 다양한 종류의 합성 중합체가 사용되고 있으며, 플라스틱 종류에 따른 시장 점유율과 사용의 예는 Table 1과 같다.

### 미세플라스틱의 발생 및 오염

플라스틱의 소비와 더불어 최근 플라스틱 폐기물 또한 증가하고 있는 추세로 2010년 1.56억 톤에서 2019년 3.53억 톤으로 증가하였으며, 이 중에서 2/3정도가 포장재, 소비재 및 직물에서 유래하고 있다. 그리고, 플라스틱 폐기물의 약 9%정도만 재활용되고 있으며, 19%는 소각되고

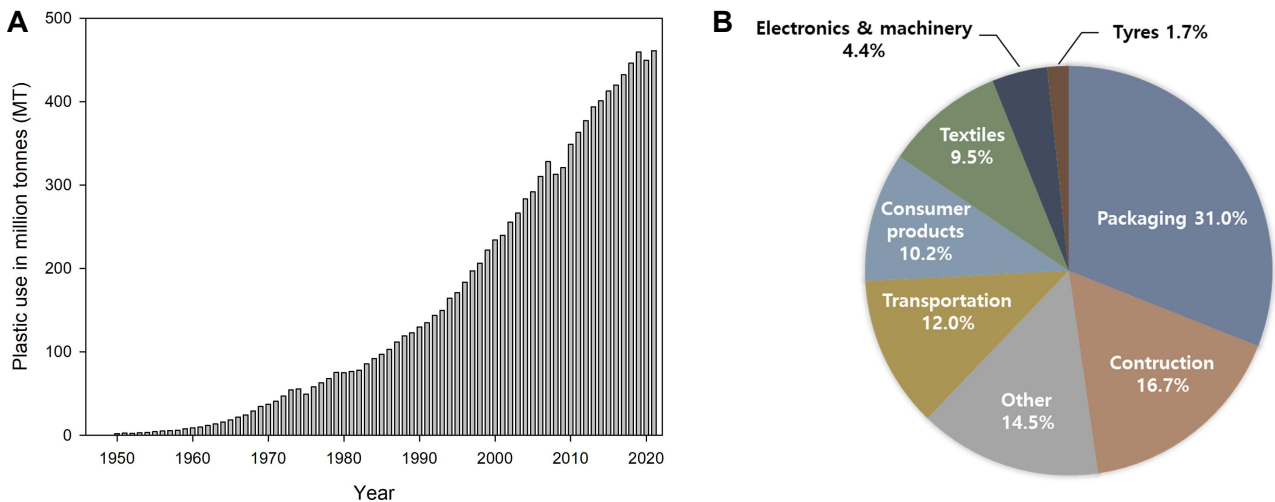


Fig. 1. Worldwide plastic use (A) during 1950-2021 and (B) by application (adapted from [39, 41])

Table 1. Polymer types, market share, and examples of use in plastics (modified from [4, 40])

Polymer types	Market share	Example of plastic use
Polypropylene (PP)	16.6%	Food packaging, automotive parts, pipes
Low-density polyethylene (LDPE)	12.4%	Reusable bags, food packaging film, tray, containers
High-density polyethylene (HDPE)	12.6%	Toys, milk bottles, shampoo bottles, pipes
Polyvinylchloride (PVC)	11.7%	Window frames, floor covering, pipes, cable insulation
Polystyrene (PS)	4.8%	Food packaging, insulation, electrical and electronic equipment
Polyethylene terephthalate (PET)	5.7%	Beverage bottles
Polyurethane (PUR)	4.1%	Insulation, pillows, mattresses
Others	18.4%	Tyres, packaging, electronics, automotive, etc.
Fibers	13.7%	Textile applications

약 50%는 육지에 매립되고 있다. 나머지 22%는 통제되지 않은 채로 소각 또는 버려지거나 환경으로 누출되는 것으로 알려져 있다[42].

육지와 바다에서 발견되는 플라스틱 잔해(plastic debris)는 환경과 관련된 문제로 인식되어 왔으나, 최근에는 미세플라스틱(microplastic)으로 불리는 작은 플라스틱 입자가 해양 동물과 인간의 건강에 미치는 영향 때문에 위험한 오염 물질로 간주되고 있다[10]. 환경에 노출된 플라스틱 잔해는 크기에 따라서 분류되기도 하고 또한 발생 유형에 따라서 분류되기도 한다. 크기에 의한 플라스틱의 잔해는 일반적으로 메가플라스틱(megaplastic, 1 m 초과), 매크로플라스틱(macroplastic, 1 m 이하 25 mm 초과), 메소플라스틱(mesoplastic, 25 mm 이하 5 mm 초과), 미세플라스틱(microplastic, 5 mm 이하) 및 나노플라스틱(nanoplastic, 1  $\mu$ m 미만)으로 구분되고 있다[9]. 이 중에서 미세플라스틱은 발생 유형에 따라서 1차 미세플라스틱(primary microplastic)과 2차 미세플라스틱(secondary microplastic)으로 세분화되고 있다[6]. 1차 미세플라스틱은 상업적으로 사용하기 위해 의도적으로 작은 크기로 제작된 중합체로서, 합성 직물에 사용되는 섬유, 화장품 및 개인 위생용품의 미세구슬(microbeads), 플라스틱 생산을 위한 중간제로 사용되는 펠릿(pellet) 등이 포함되며[21], 오랫동안 화장품, 연마제, 치약, 청소용품, 세제, 각질제거제, 세안제, 치약 등의 다양한 제품에 사용되고 있다[47]. 2차 미세플라스틱은 매크로플라스틱과 메소플라스틱의 분해산물로서 환경 조건에서 가수분해, 생분해, 광분해 및 열분해 등과 같은 분해작용과 풍화에 의해 발생하게 된다[52]. 따라서, 2차 플라스틱은 플라스틱 제품의 분해로 인해 발생하므로 다양한 크기, 모양, 색, 중합체 종류 등을 나타내고 있다[31].

통계적으로 집계되는 플라스틱 제품의 생산량 및 폐기량과는 다르게 미세플라스틱이 발생하는 정도를 정확하게 예측하는 것은 어려운 상황이지만, 일반적으로 2차 미세플라스틱의 발생량이 1차 미세플라스틱의 발생량에 비해 더 많은 것으로 추정되고 있다[47]. 일부 자료에서 1차 미세플라스틱이 해양에 방출되는 양은 연간 약 150만 톤으로 추정하고 있으며, 세탁과정에서 발생하는 합성섬유가 35%로 가장 큰 비중을 차지하고 그 외에도 타이어 28%, 도시 먼지 24%, 도로건설 7%, 해양선박 코팅 3.7%, 개인위생용품 2%, 플라스틱 펠릿 0.3%의 순서로 발생하는 것으로 예측되고 있다[8].

### 미세플라스틱의 인체 유입 경로

미세플라스틱은 광범위하게 분포하고 있는 오염물질로 간주되고 있고, 다양한 경로로 인체에 유입되고 있으며, 전세계적으로 개인이 일주일에 섭취하게 되는 미세플라스틱의 평균적인 양은 0.1-5 g으로 보고되고 있다[50].

미세플라스틱이 인체로 유입되는 경로는 물과 식품을 통한 섭취, 실내외 공기로부터의 흡입 및 개인 위생용품, 먼지, 섬유 등에 대한 피부 접촉으로 분류되고 있다(Table 2) [44].

섭취는 미세플라스틱의 인체 유입 경로 중에서 가장 중요한 노출 경로로 어패류, 과일, 채소, 육류, 씨리얼 등의 식품과 물의 섭취를 통해 발생하고 있으며[22], 일반적으로 연간 개인이 식품을 통해 39,000-52,000개의 미세플라스틱 입자를 소비하는 것으로 추산되고 있다[12]. 물과 식품에서 주로 발견되는 미세플라스틱은 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리염화비닐(PVC), 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 저밀도 폴리에틸렌(LDPE), 폴리아미드(PA), 폴리스티렌(PS) 등이다[1, 26]. 섭취된 미세플라스틱 입자는 소화기관을 통해 장내로 이동하게 되며, 입자의 흡수는 플라스틱 입자의 크기, 표면 전하, 소수성에 의해 영향을 받게 된다[7]. 플라스틱 입자는 장관관련 림프조직(gut-associated lymphoid tissue, GALT)에서 페이어판(Peyer's patch)의 M 세포에 의해 내재화되거나[20], 또는 소장 상피세포에서 세포사이 이동(paracellular transport)를 통해서 흡수되는 것으로 알려져 있다[59]. 또한, 미세플라스틱은 이와 같은 메커니즘을 통해 순환계로 전위(translocation)되어 간, 신장 등에 축적되어 조직 기관의 기능에 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다[14].

공기 흡입에 의한 미세플라스틱의 인체 유입은 예전에는 식품 섭취에 비해 중요도가 낮은 것으로 간주되었으나, 최근에는 실내 공기 흡입이 미세플라스틱 유입에 중요한 근원이 될 수 있다는 증거들이 일부에서 제시되고 있는 상황이다[12, 63]. 일반적으로 공기 중에 존재하는 미세플라스틱은 합성 섬유, 타이어나 건물로부터 플라스틱의 연마 및 표면에 있는 플라스틱 입자의 부유 등에 의해 발생한다[44]. Dris 등[19]은 실외 공기 중에는 미세플라스틱의 농도가 평방미터 당 0.3-1.5 입자가 존재하고 실내 공기 중에는 1.0-60.0 입자가 존재하여, 실내 공기 중에 존재하는 미세플라스틱 농도가 실외 공기에 비해 5-10 배 정도 높은 것으로 보고하였다. Prata [43]는 개인이 하루에 흡입하는 미세플라스틱은 26-130개의 입자로 예측하고 있으며, Vianello 등[58]은 가벼운 일상 생활을 통해 흡입되는 미세플라스틱의 양은 하루에 272개의 입자로 추정하고 있다. 개인이 하루에 흡입하는 미세플라스틱의 양은 연구 결과에 따라 다소 상이하나, 개인이 하루에 흡입하게 되는 미세플라스틱의 양을 무게 단위로 환산하면 대략적으로 몇 밀리그램 정도의 수준에 해당하는 것으로 판단되고 있다[25]. 그러나, 흡입하는 미세플라스틱의 양은 사용되는 섬유의 종류와 공기 공조 등과 같은 실내 환경에 따라 영향을 받게 된다[44]. 주로 공기 중에서 많이 검출되는 플라스틱의 종류로 합성 섬유, 폴리프로필렌(PP), 아크릴(acrylic fiber), 폴리아미드(PA), 폴리에스테르

Table 2. Comparison of potential human exposure pathways for microplastics

Key routes	Estimated human exposure by each route	Origin of MPs	Type of microplastics <sup>1</sup>	Migration to human body	Consequences
Ingestion	106-142 particles/day	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Water</li> <li>• Foods (fish, fruits, vegetables, meat, cereals, legumes, etc.)</li> </ul>	PP, PET, PVC, HDPE, LDPE, PA, PS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorption by specialized M cells of intestinal Peyer's patches</li> <li>• Paracellular transfer of particles through the single layer of the intestinal epithelium (persorption)</li> <li>• Translocation to the circulatory system and accumulation in the liver and kidney</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gastrointestinal toxicity</li> <li>• Chronic inflammation</li> <li>• Liver toxicity</li> <li>• Cytotoxicity</li> <li>• Neurotoxicity</li> </ul>
Inhalation	26-130 particles/day	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Synthetic textiles</li> <li>• Abrasion of materials (car tires, buildings, etc.)</li> <li>• Resuspension of microplastics in surfaces</li> </ul>	Synthetic fibers, PP, acrylic fiber, PA, PE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deposition on the respiratory system</li> <li>• Migration to the circulation or lymphatic system</li> <li>• Translocation to other tissues</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chronic inflammation by dust overload</li> <li>• Cytotoxicity</li> <li>• Genotoxicity</li> </ul>
Skin contact	Not determined	<ul style="list-style-type: none"> <li>• less than 100 nm nanoplastics</li> </ul>	PE, PP, PET, nylon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transverse of dermal barrier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skin damage</li> <li>• Inflammation</li> <li>• Cytotoxicity</li> </ul>

<sup>1</sup>HDPE, high-density polyethylene; LDPE, low-density polyethylene; PA, polyamide; PE, polyethylene; PET, polyethylene terephthalate; PP, polypropylene; PS, polystyrene; PVC, polyvinyl chloride.

(PE) 등이 보고되고 있다[23, 30]. 흡입된 미세플라스틱은 입자의 크기와 밀도에 따라서 호흡기에 침착되는 정도에 영향을 미쳐서 밀도가 낮고 작은 입자일수록 폐에 깊숙하게 도달하게 될 수 있다. 폐에 침착된 이후에는 매크로파지에 의해 제거되거나 또는 혈류나 림프계로 들어가서 다른 기관으로 입자가 전될 수 있다. 또한, 호흡기에 작은 미세플라스틱이 많이 침착하게 되면 분진 과부하(dust overload)와 같은 현상으로 만성 염증의 위험을 높일 수 있다[44]. 일부의 연구에서 미세플라스틱이 폐 조직에서 염증 반응, 세포독성 및 유전독성을 유발할 수 있으며, 장기간 노출 시에는 천식이나 진폐증과 같은 기관지 증상이 나타날 수 있다고 보고하였다[18, 43, 57].

피부 접촉을 통한 미세플라스틱의 인체 유입 경로는 다른 경로들에 비해 중요도는 매우 낮은 편이지만, 100 nm 이하 크기의 나노플라스틱의 경우에는 피부장벽을 통과할 수 있으므로 주의가 필요하다[46]. 또한, 비스페놀 A (bisphenol A)와 프탈레이트(phthalate)와 같은 플라스틱의 단량체나 첨가제는 내분비 교란 물질로 알려져 있으며, 나노플라스틱과 같은 방식으로 피부 장벽을 통과해 인체 내로 유입될 수 있다. 피부 접촉을 통한 경로는 주로 먼지, 합성섬유나 미용제품에 함유된 미세구슬에서 유래하며, 관련된 플라스틱 종류로는 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 나일론

(nylon) 등으로 알려져 있다[44]. 미세플라스틱과 나노플라스틱은 인간 상피세포에 노출시켰을 경우 산화적 스트레스가 발생하는 것이 보고되었으며[48], 독일에서는 미용제품에 존재하는 미세플라스틱이 염증과 세포독성으로 인하여 피부 손상을 일으키는 것으로 보고하고 있다[45]. 피부 접촉을 통한 인체 유입은 중요도와 위험성에 있어서 식품 섭취나 공기 흡입에 비해서는 다소 연구가 활발하지 못한 상황이기도 하지만, 이 경로 또한 인체의 건강에 위해할 수 있으므로 보다 많은 연구의 축적이 필요한 것으로 사료된다.

**가공식품에 존재하는 미세플라스틱**

미세플라스틱의 환경 내 축적에 관한 연구는 플라스틱의 소비량의 증가와 더불어 급격하게 증가하고 있으나, 미세플라스틱 축적의 종착점은 해양이므로 해양 오염 및 해양 생태계에 미치는 영향에 대한 연구가 주를 이루어 왔다[32]. 그러나, 미세플라스틱에 의한 환경 오염은 해양 뿐만 아니라 육지에서도 광범위하게 진행되고 있으므로 최근에는 육지 환경과 관련된 토양, 매립지, 담수 등에 있어서의 미세플라스틱 오염과 이와 연관된 생태계 영향에 대한 연구가 등장하고 있다[24, 65]. 또한, 미세플라스틱의 환경 내 축적에 따른 식품으로의 전이가 우려되고 있는 상황이며, 이에 따른 식품 내 미세플라스틱의 존재

와 인체에 대한 위해 평가가 일부에서 진행되고 있는 상황이다[50]. 식품에 존재하는 미세플라스틱과 관련되어서는 주로 어류, 패류, 갑각류 등과 같은 해양 오염에 영향을 받고 있는 수산물에 대한 연구가 주로 진행되고 있으나, 이외에도 쌀, 과일, 채소 등에 존재하는 미세플라스틱에 대한 연구도 최근에 진행되고 있다[11, 15, 60]. 식품 내 미세플라스틱 연구는 주로 식품의 원료가 되거나 또는 그 자체로 식품이 되는 농·축·수산물에 대한 연구들이 주로 진행되고 있는 상황이지만, 음료, 맥주, 우유, 포장육, 꿀, 소금 등과 같은 가공식품에 존재하는 미세플라스틱에 대한 연구도 일부 보고되고 있다[4]. 여기에서는 주로 가공식품에 존재하는 미세플라스틱에 대하여 살펴보고자 하며 Table 3에 정리하여 제시하였다.

### 통조림 식품

Karami 등[26]은 13개 국가에서 판매되는 20개 브랜드의 정어리와 청어 통조림에 존재하는 미세플라스틱을 분석하였으며, 이 중에서 4개의 브랜드에서 미세플라스틱이 검출되었다고 보고하였다. 마이크로 라만 분광법(micro-Raman microscopy)과 에너지 분산형 X-선 분광법(Energy-dispersive X-ray spectroscopy)를 이용하여 가장 많이 검출된 플라스틱은 PP와 PET로 분석되었다. 참치와 고등어 통조림 50개를 분석한 연구[3]에서는 40개의 통조림에서 플라스틱 섬유가 발견되었고, 평균적으로 통조림 내용물의 그램(g) 당 1.28개의 미세플라스틱 입자가 검출되었다. 검출된 플라스틱은 주로 PET, PS, PP 계열의 플라스틱 섬유로 보고하였다. 또한, Diaz-Basantes 등[17]은 통조림 제조 시 사용되는 조미액을 기름과 소금물로 구분하여 미세플라스틱의 존재를 분석하였으며 시료 모두에서 미세플라스틱 입자가 검출된 것으로 보고하였다. 소금물을 첨가한 참치 통조림이 상대적으로 기름을 사용한 참치 통조림에 비해서 통계적으로 유의한 수준에서 미세플라스틱을 더 많이 포함하고 있는 것으로 제시하였다. 통조림 제품과 연관된 미세플라스틱 연구는 주로 참치, 정어리, 고등어, 청어 등의 어류 통조림을 대상으로 하고 있으며, 통조림 제품에 플라스틱 섬유가 존재하는 원인으로는 어류의 섭취에 따른 미세플라스틱의 근육으로의 전이, 부적절한 내장 제거 및 통조림 제조 과정에서의 오염에 의한 것으로 연구자들은 판단하고 있다[3, 17, 26].

### 김

해조류는 해양 생태계에 존재하는 생명체들에게 먹이를 제공하는 1차 생산자로서[54], 해조류 가공식품 내에 존재하는 미세플라스틱에 대한 연구는 Li 등[33]에 의해서만 제시되고 있다. 상업적으로 판매되고 있는 24개 브랜드의 김 가공제품을 수거하여 미세플라스틱의 오염도와 관련된 플라스틱의 크기 및 종류에 대하여 분석하였

다. 김 가공품의 95.8%가 미세플라스틱으로 오염되어 있었으며, 그램 당 1.8개의 미세플라스틱을 함유하고 있는 것으로 보고하였다. 가공 전의 김에 존재하는 미세플라스틱은 김의 서식처의 환경에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 김의 세척과 건조 등의 가공공정을 거치면서 가공 전에 비해서 함량이 증가하였고, 1-5 mm의 큰 크기의 미세플라스틱의 양 또한 증가하는 것으로 보고하였다. 또한, 세척 과정 이후에 섬유형태와 색을 갖고 있는 미세플라스틱의 비율이 증가하는 것을 관찰하였다[33]. 이는 가공 공정에 따라서 미세플라스틱의 양과 종류에 영향을 주는 것으로 판단된다.

### 음료수

음료는 일반적으로 알코올성 음료와 비알코올성 음료로 구분하며, 대표적인 비알코올성 음료에는 차, 커피, 청량음료 등이 있다. 음료는 다른 가공제품과 달리 물을 주원료로 사용하여 제품을 생산하기 때문에, 음료 제조에 사용하는 물의 오염은 음료 제품의 오염과 밀접한 연관을 갖게 된다. Shruti 등[53]은 멕시코에서 판매되고 있는 31개의 음료를 대상으로 미세플라스틱의 오염을 조사하였다. 19개의 청량음료 중에서 16개의 제품에서 미세플라스틱이 검출되었고, 8개의 에너지 음료 중에서는 5개의 제품에서 검출되었으며, 4개의 차음료에서는 미세플라스틱이 모두 검출되었다. 청량음료, 에너지 음료 및 차음료에서 검출된 미세플라스틱의 양은 리터 당 40, 14, 11개의 입자로 분석되었고, 검출된 미세플라스틱의 종류로는 폴리아미드(PA), 폴리에스테르 아미드(polyester amide, PEA)로 보고하였다. 또한, 에쿠아도르에서 생산되는 14개의 청량음료에서는 리터 당 32개의 미세플라스틱 입자가 검출되었고 주요 플라스틱 종류로는 폴리에틸렌(PE), 폴리악릴아미드(polyacryl amide, PAA), 폴리프로필렌(PP)으로 분석되었다[17]. 폴리아미드는 직물에 많이 이용되고 있는 플라스틱으로, 폴리아미드 계열의 미세플라스틱은 의류 제품의 세탁과정 중에 많이 발생하며, 이로 인해 물을 오염시키는 것으로 알려져 있다. 따라서, 음료에서 발견된 미세플라스틱은 음료 생산 시에 사용하는 물로부터 유래한 것으로 판단되며, 음료의 제조 시에는 물의 관리가 매우 중요한 것으로 예측된다[53].

### 맥주

맥주는 맥아, 호프 및 물을 주원료로 하여 생산하는 대표적인 알코올성 음료로서, 독일 맥주에 존재하는 미세플라스틱에 대한 연구가 2014년도부터 진행되어 왔다[35, 36, 64]. Lachenmeier 등[29]은 39개의 맥주로부터 평균 16개의 플라스틱 섬유, 21개의 플라스틱 분해물 및 27개의 플라스틱 입자를 발견하였고, 펄스너 타입의 맥주에서는 PE와 PS 종류의 플라스틱이 동정되었다[64]. 미국에서 유

Table 3. Recent studies on the processed foods contaminated with microplastics (MPs)

Processed foods	Samples	Level of microplastic contamination		Type of microplastics <sup>1</sup>	Analytical methods <sup>2</sup>	References
		MPs detection rate (%)	Abundance of MPs			
Canned food	20 brands of canned sardines and sprats	20	1-3 MPs/brand	PP, PET	μ-Raman, EDX	[26]
	50 canned tuna and mackerel from 7 brands	80	1.28±0.04 MPs/g	PET, PS, PP	LM and μ-Raman, EDX	[3]
Dried laver (nori)	16 Tuna in oil	100	442±84 MPs/100 g	PET, PS, nylon	FM, FT-IR	[17]
	16 Tuna in brine	100	692±120 MPs/100 g	PET, PS, nylon	FM, FT-IR	[17]
Beverages	24 brands of packaged nori	95.8	1.8±0.7 MPs/g	PES, rayon, PP	SOM, μ-FT-IR	[33]
	19 soft drinks	84.2	40±24.53 MPs/L	PA, PEA, ABS		
	8 energy drinks	62.5	14±5.79 MPs/L	PA, PEA	μ-Raman, EDX	[53]
	4 cold tea	100	11±5.26 MPs/L	PA, PEA		
Beer	14 soft drinks	100	32 MPs/L	HDPE/LDPE, PAA, PP	IM, FT-IR	[16]
	24 beers of German brands	100	2-79 fibers/L 6-109 fragments/L 2-66 granules/L	-	-	[35]
	39 beers of German brands	100	16±15 fibers/L 21±16 fragments/L 27±10 granules/L	-	-	[29]
	3 Pilsener beers	100	10-19 fibers/0.33 L	PE, PS	Raman	[64]
	12 beers	100	4.05 MPs/L	-	-	[27]
	26 beers from 13 Mexico brands	88.5	152±50.97 MPs/L	PA, PEA	μ-Raman, EDX	[53]
	8 craft beers	100	32 MPs/L	HDPE/LDPE, PAA, PP	IM, FT-IR	[16]
	7 industrial beers	85.7	47 MPs/L			
	23 milks from 8 Mexico brands	100	6.5±2.3 MPs/L	Polyethersulfone, poly-sulfone	μ-Raman, EDX	[28]
	10 skim milks (fat < 1%)	100	40 MPs/L	HDPE/LDPE, PAA, PP	IM, FT-IR	[16]
	8 milks in Switzerland	100	204-1004 MPs/0.1 L	PE, PES, PP, PTFE, PS	μ-Raman, EDX	[13]
	5 sugars from Germany, France, Italy, Spain	100	217±123 fibers/kg 32±7 fragments/kg	-	-	[34]
Sugar	5 brands of commercial sugars and 2 non-branded open sugars from Bangladesh	100	343.7±32.08 MPs/kg	ABS, PVC	SEM, FT-IR	[1]
Honey	19 honeys from Germany, France, Italy, Spain	100	166±147 fibers/kg 9±9 fragments/kg	-	-	[34]
	47 honeys from Germany	100	10-336 fibers/kg 2-82 fragments/kg	-	-	[36]
	5 honeys from Switzerland	100	32-108 fibers/kg	PET	FT-IR, μ-Raman	[38]
	8 craft honeys	100	67 MPs/L	HDPE/LDPE, PAA, PP	IM, FT-IR	[16]
	7 industrial honeys	100	54 MPs/L			

<sup>1</sup>ABS, acrylonitrile butadiene styrene; HDPE, high-density polyethylene; LDPE, low-density polyethylene; PA, polyamide; PAA, polyacrylamide; PE, polyethylene; PEA, polyester amide; PES, polyester; PET, polyethylene terephthalate; PP, polypropylene; PS, polystyrene; PTFE, polytetrafluoroethylene; PVC, polyvinyl chloride.

<sup>2</sup>EDX, Energy-dispersive X-ray spectroscopy; FM, Fluorescence microscope; FT-IR, Fourier-transform infrared spectroscopy; μ-FT-IR, Micro-Fourier-transform infrared spectroscopy; IM, Inverted microscope; Raman, Raman spectroscopy; SEM, Scanning electron microscope; SOM, Stereocopy; IM, Inverted microscope; LM, Light microscope; Raman, Raman spectroscopy; μ-Raman, Micro-Raman spectroscopy; SEM, Scanning electron microscope; SOM, Stereocopy; IM, Inverted microscope.

통되는 맥주에는 독일 맥주보다는 다소 낮은 범위의 미세플라스틱이 보고되어 리터 당 4.05개의 미세플라스틱 입자를 함유하는 것으로 연구되었다[27]. 멕시코 브랜드의 맥주에서는 가장 높은 미세플라스틱의 함량인 152개의 미세플라스틱 입자가 평균적으로 검출되었으며, 에쿠아도르의 경우에는 수제맥주에서 평균 32개의 미세플라스틱 입자가, 상업적 맥주에서는 평균적으로 47개의 미세플라스틱 입자가 검출되었다[17, 53]. 국가별 맥주에서 보고되는 미세플라스틱의 종류는 앞서 언급한 독일 필스너 타입의 맥주에서는 PE, PS가 검출되었고, 멕시코 맥주에서는 PA, PEA가 그리고 에쿠아도르 맥주에서는 PE, PAA, PP 등의 플라스틱이 검출되어 국가별로 다양한 종류의 플라스틱이 검출되었다[17, 27, 64]. 앞에서 언급한 음료에서는 제품의 생산 시에 사용되는 물이 제품의 플라스틱 종류 및 함량에 영향을 미치는 것으로 예측하고 있으나, 맥주에서는 국가별로 플라스틱이 종류가 상이한 경향을 나타내었다. 또한 Kosuth 등[27]은 맥주와 더불어 수도물을 동시에 비교하여 수도물에 존재하는 미세플라스틱의 함량은 5.45개의 입자를 나타내 맥주에 존재하는 미세플라스틱의 함량과 비슷한 수준을 보였으나, 같은 지역에서 생산되는 수도물과 맥주에서 검출되는 미세플라스틱 간의 연관성이 유의적으로 연관성이 없는 결과를 제시하였다. 특히, 같은 도시에서 같은 수도물을 사용하는 2개의 맥주에서 가장 낮은 수준과 가장 높은 수준의 미세플라스틱 함량을 보이고 있으며, 가장 높은 플라스틱 함량을 보이는 맥주 브랜드의 경우 미세플라스틱의 함량이 다른 여러 개의 주에서 생산되고 있으므로, 맥주 제조 시에 사용되는 물과 맥주에 존재하는 미세플라스틱과는 연관성이 없는 것으로 결론지었다. 따라서, 맥주 제조 시의 공정이 미세플라스틱의 함량 및 종류에 영향을 미치는 것으로 예측하고 있다. 이는 음료와는 상이한 결과 및 결론으로 판단된다.

### 우유

우유는 영양적으로 완전한 식품으로 건강을 유지하기 위한 식이로서 매우 중요한 역할을 하는 제품으로, 현재까지 미세플라스틱과 관련된 연구는 매우 미흡한 상황이며 연구자에 따라서 미세플라스틱의 함량이 상당히 큰 편차를 보이고 있는 제품중의 하나이다[13, 16, 28]. Kutralam-Muniasamy 등[28]은 23개의 우유로부터 리터 당 6.5개의 미세플라스틱이 발견되었다고 보고한 반면, Da Costa Filho 등[13]은 0.1 리터 당 204-1004개의 미세플라스틱이 검출된다고 보고하였다. 그러나, 이러한 차이는 우유의 생산 및 보관 과정과 연관성이 있는 것으로 예측되고 있다. Kutralam-Muniasamy 등의 연구[28]에서 polysulfone과 polyethylenesufone이 주요 미세플라스틱으로 검출되었으며 이러한 플라스틱 소재는 주로 식품이나 유제품에서

여과 시 사용되는 합성 폴리머로 여과 공정 중 필터로부터 기인하는 것으로 예측하고 있다. 또한, Da Costa Filho 등의 연구[13]에서는 액상 유제품에 비해 분말 형태의 유제품에서 더 많은 미세플라스틱이 검출되었고, 액상의 우유에서 가장 많이 검출되는 플라스틱 소재는 PE로 이는 착유에 사용되는 기계에 많이 사용되는 플라스틱 소재이다. 따라서, 우유 제품의 가공 및 포장 환경에 따라서 미세플라스틱의 함량 및 관련 플라스틱 종류가 영향을 받는 것으로 판단된다.

### 설탕

설탕은 식품에 가장 많이 첨가하여 사용되는 식품 소재 중의 하나로서 전세계적으로 소비량이 증가하고 있다[61]. 독일, 프랑스, 이탈리아, 스페인에서 생산되는 정제된 설탕에서 평균적으로 킬로그램 당 217개의 플라스틱 섬유와 32개의 분해물을 보고하였고[34], 이후에 현재까지는 방글라데시에서 평균 343.7개의 미세플라스틱이 검출되었다는 연구만 진행되고 있는 상황이다[1]. 방글라데시에서 검출된 미세플라스틱의 종류로는 ABS (acrylonitrile butadiene styrene)와 PVC가 주요 중합체로 알려져 있다. 이러한 미세플라스틱의 오염은 사탕수수 가공, 정제 및 포장 공정과 같은 다양한 공정을 통해서 발생하는 것으로 예측되고 있다[34].

### 꿀

꿀에 존재하는 미세플라스틱과 관련하여 여러 연구가 진행되어 왔다. 프랑스, 이탈리아, 스페인에서 생산되는 꿀에서는 166개의 플라스틱 섬유가 보고되었고, 또한 독일에서 생산되는 꿀에서는 킬로그램 당 10-166개의 플라스틱 섬유가 검출되는 것으로 보고하였다[34, 36]. 저자들은 발견된 셀룰로스 섬유가 양봉업자의 섬유에서 유래한 것으로 예상하고 있으나, 꿀 채취 과정에서 사용되는 cellulose nitrate 필터 또한 꿀에 존재하는 미세플라스틱의 오염원이 될 가능성이 있는 것으로 예측된다[56]. 스위스에서 채취된 꿀에서는 32-108개의 플라스틱 섬유가 발견되었으며, FT-IR과 라만 분광기를 이용하여 PET로 분석되었다[38]. 또한, 에콰도르에서 생산된 수제 꿀과 공장에서 생산된 꿀에서는 평균적으로 리터 당 각각 67개와 54개의 미세플라스틱이 검출된 것으로 보고되었다[16].

## 결론

플라스틱 소비량이 증가함에 따라 폐기되는 플라스틱에 의한 환경오염에 대한 우려가 갈수록 증가하고 있는 상황이다. 환경에 버려진 플라스틱은 자연 생태계뿐만 아니라 인간의 건강에도 영향을 미치고 있다. Cox 등[12]은 식품과 음료를 통해 남자 어린이는 113개, 여자 어린이는

106개, 성인 남성은 142개, 성인 여성은 126개의 미세플라스틱을 섭취하는 것으로 예측하고 있다. 또한, 인간의 분변에서는 그램 당 1-36개의 미세플라스틱 입자가 검출되었으며, 플라스틱 종류로는 9가지 종류의 플라스틱 종류가 존재하였으며 이 중에서 PP와 PET가 가장 많이 검출된 것으로 보고하고 있다[49, 66]. Lin 등[37]은 식품으로부터 섭취가 예상되는 미세플라스틱의 1일 섭취량을 예측하였으며 이로부터 생수, 우유가 다른 식품에 비해 상당히 높은 것으로 제시하였다. 또한, 가공식품에 존재하는 미세플라스틱의 양으로부터 고위험식품군, 중간위험식품군 및 저위험식품군으로 구분하였으며, 김과 통조림을 고위험식품군으로 분류하였다.

해양 생태계의 생명체에 존재하는 미세플라스틱에 대한 연구는 매우 활발하게 진행되고 있는 것에 비하여 본 총설에서 다룬 것과 같이 가공식품에 존재하는 미세플라스틱과 관련된 연구는 아직까지 상당히 가공식품의 종류와 그 연구 숫자에 있어서 상당히 미흡한 상황이다. 환경에 존재하는 미세플라스틱은 인간의 건강에 직·간접적으로 영향을 주는 반면에, 식품에 존재하는 미세플라스틱은 인간이 직접적으로 소비하기 때문에 인간의 건강에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 현재까지는 다양한 가공식품이나 원재료에 존재하는 미세플라스틱의 양이나, 가공 공정에 따른 미세플라스틱 함량의 변화 및 가공식품의 섭취에 따른 위해평가 등에 대한 연구는 매우 부족한 상황이다. 따라서, 가공식품에 존재하는 미세플라스틱에 대한 연구를 통해서 식품을 통한 미세플라스틱의 인체 노출에 대한 광범위하고 다각적인 연구가 필요한 시점으로 판단된다. 또한 이러한 연구들을 통해서 가공식품에 존재하는 미세플라스틱을 건강에 해가 되지 않는 수준으로 유지하기 위한 규정이나 정책에 영향을 줄 수 있을 것으로 전망된다.

### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

### The Conflict of Interest Statement

The authors declare that they have no conflicts of interest with the contents of this article.

### References

- Afrin, S., Rahman, M. M., Hossain, M. N., Uddin, M. K. and Malafaia, G. 2022. Are there plastic particles in my sugar? A pioneering study on the characterization of microplastics in commercial sugars and risk assessment. *Sci. Total Environ.* **837**, 155849.
- Ahmad, A. F., Razali, A. R. and Razelan, I. S. M. 2017. Utilization of polyethylene terephthalate (PET) in asphalt pavement: A review. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **203**, 012004.
- Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Tajbakhsh, S., Darabi, A. H. and Spitz, J. 2020. Abundance, composition, and potential intake of microplastics in canned fish. *Mar. Pollut. Bull.* **160**, 111633.
- Al Mamun, A., Prasetya, T. A. E., Dewi, I. R. and Ahmad, M. 2022. Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. *Sci. Total Environ.* **858**, 159834.
- Anbymani, S. and Kakkar, P. 2018. Ecotoxicological effects of microplastics in biota: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **25**, 14373-14396.
- Avio, C. G., Gorbi, S. and Regoli, F. 2017. Plastics and microplastics in the oceans: from emerging pollutants to emerged threat. *Mar. Environ. Res.* **128**, 2-11.
- Awaad, A., Nakamura, M. and Ishimura, K. 2012. Imaging of size-dependent uptake and identification of novel pathways in mouse Peyer's patches using fluorescent organosilica particles. *Nanomed.: Nanotechnol. Biol. Med.* **8**, 627-636.
- Boucher, J. and Friot, D. 2017. Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources, pp. 8-10, IUCN: Gland, Switzerland.
- Chatterjee, S. and Sharma, S. 2019. Microplastics in our oceans and marine health. *Field Actions Sci. Rep.* **19**, 54-61.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T. S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Pollut. Bull.* **62**, 2588-2597.
- Conti, G. O., Ferrante, M., Banni, M., Favara, C., Nicolosi, I., Cristaldi, A., Fiore, M. and Zuccarello, P. 2020. Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environ. Res.* **187**, 109677.
- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F. and Dudas, S. E. 2019. Human consumption of microplastics. *Environ. Sci. Technol.* **53**, 7068-7074.
- Da Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J. B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchoaud, A. and Poitevin, E. 2021. Detection and characterization of small-sized microplastics ( $\geq 5 \mu\text{m}$ ) in milk products. *Sci. Rep.* **11**, 24046.
- Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B. and Ren, H. 2017. Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Sci. Rep.* **7**, 46687.
- Dessi, C., Okoffo, E. D., O'Brien, J. W., Gallen, M., Samanipour, S., Kaserzon, S., Rauert, C., Wang, X. and Thomas, K. V. 2021. Plastics contamination of store-bought rice. *J. Hazard. Mater.* **416**, 125778.
- Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A. and Fullana, A. 2020. Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants. *Sustainability* **12**, 5514.



17. Diaz-Basantes, M. F., Nacimba-Aguirre, D., Conesa, J. A. and Fullana, A. 2022. Presence of microplastics in commercial canned tuna. *Food Chem.* **385**, 132721.
18. Donaldson, K., Stone, V., Gilmour, P., Brown, D. and MacNee, W. 2000. Ultrafine particles: Mechanisms of lung injury. *Philos. Trans. Royal Soc. A* **358**, 2741-2749.
19. Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V. and Tassin, B. 2017. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environ. Pollut.* **221**, 453-458.
20. Ensign, L. M., Cone, R. and Hanes, J. 2012. Oral drug delivery with polymeric nanoparticles: the gastrointestinal mucus barriers. *Adv. Drug Deliv. Rev.* **64**, 557-570.
21. Fu, Z. and Wang, J. 2019. Current practices and future perspectives of microplastic pollution in freshwater ecosystems in China. *Sci. Total Environ.* **691**, 697-712.
22. Galloway, T. S. 2015. Micro- and nano-plastic and human health. pp. 343-366. In: Bergmann, M., Gutow, L. and Klages, M. (eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Cham: London, UK.
23. Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F. J. and Tassin, B. 2018. Microplastics in air: are we breathing it in? *Curr. Opin. Environ. Sci. Health* **1**, 1-5.
24. Kallenbach, E. M. F., Rødland, E. S., Buenaventura, N. T. and Hurley, R. 2022. Microplastics in terrestrial and freshwater environments. pp. 87-130. In: Bank, M. S. (ed.), *Microplastic in the Environment: Pattern and Process*. Environmental Contamination Remediation and Management. Springer Cham: London, UK.
25. Kannan, K. and Vimalkumar, K. 2021. A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Front. Endocrinol.* **12**, 724989.
26. Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Karbalaeei, S. and Salamatinia, B. 2018. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Sci. Total Environ.* **612**, 1380-1386.
27. Kosuth, M., Mason, S. A. and Wattenberg, E. V. 2018. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS One* **13**, e0194970.
28. Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I. and Shruti, V. C. 2020. Branded milks - Are they immune from microplastics contamination? *Sci. Total Environ.* **714**, 136823.
29. Lachenmeier, D. W., Kocareva, J., Noack, D. and Kuballa, T. 2015. Microplastic identification in German beer - An artefact of laboratory contamination? *Dtsch. Lebensm. Rundsch.* **111**, 437-440.
30. Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A. and Rothen-Rutishauser, B. 2019. Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. *Environ. Sci. Technol.* **53**, 1748-1765.
31. Lehtiniemi, M., Hartikainen, S., Nääki, P., Engström-Öst, J., Koistinen, A. and Setälä, O. 2018. Size matters more than shape: ingestion of primary and secondary microplastics by small predators. *Food Webs* **17**, e00097.
32. Li, J., Liu, H. and Paul Chen, J. 2018. Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Res.* **137**, 362-374.
33. Li, Q., Feng, Z., Zhang, T., Ma, C. and Shi, H. 2020. Microplastics in the commercial seaweed nori. *J. Hazard. Mat.* **388**, 122060.
34. Liebezeit, G. and Liebezeit, E. 2013. Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Addit. Contam. A* **30**, 2136-2140.
35. Liebezeit, G. and Liebezeit, E. 2014. Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Addit. Contam. A* **31**, 1574-1578.
36. Liebezeit, G. and Liebezeit, G. 2015. Origin of synthetic particles in honeys. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* **65**, 143-147.
37. Lin, Q., Zhao, S., Pang, L., Sun, C., Chen, L. and Li, F. 2022. Potential risk of microplastics in processed foods: Preliminary risk assessment concerning polymer types, abundance, and human exposure of microplastics. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **247**, 114260.
38. Mühlischlegel, P., Hauk, A., Walter, U. and Sieber, R. 2017. Lack of evidence for microplastic contamination in honey. *Food Addit. Contam. A* **34**, 1982-1989.
39. OECD. 2022a. Global Plastics Outlook: Plastics use by application, OECD Environment Statistics (database). available from <https://doi.org/10.1787/234a9f22-en> (accessed 2022).
40. OECD. 2022b. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options, OECD Publishing, Paris, France.
41. OECD. 2022c. Global Plastics Outlook: Plastics use by region, OECD Environment Statistics (database). available from <https://doi.org/10.1787/bab5b88f-en> (accessed 2022).
42. OECD. 2022d. Global Plastics Outlook: Plastics use by region - projections, OECD Environment Statistics (database). available from <https://doi.org/10.1787/913b14f3-en> (accessed 2022).
43. Prata, J. C. 2018. Airborne microplastics: consequences to human health? *Environ. Pollut.* **234**, 115-126.
44. Prata, J. C., Da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C. and Rocha-Santos, T. 2020. Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects. *Sci. Total Environ.* **702**, 134455.
45. Rahman, A., Sarkar, A., Yadav, O. P., Achari, G. and Slobodnik, J. 2020. Potential human health risks due to environmental exposure to microplastics and knowledge gaps: a scoping review. *Sci. Total Environ.* **757**, 143872.
46. Revel, M., Châtel, A. and Mouneyrac, C. 2018. Micro (nano)plastics: a threat to human health? *Curr. Opin. Environ. Sci. Health* **1**, 17-23.
47. Ryu, J. H. and Cho, C. 2019. Current status of microplastics and impact on human health. *KIC NEWS* **22**, 1-12.
48. Schirizzi, G. F., Pérez-Pomeda, I., Sanchis, J., Rossini, C., Farré, M. and Barceló, D. 2017. Cytotoxicity effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environ. Res.* **159**, 579-

- 587.
49. Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T. and Liebmann, B. 2019. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Ann. Intern. Med.* **171**, 453-457.
  50. Senathirajah, K., Attwood, S., Bhagwat, G., Carbery, M., Wilson, S. and Palanisami, T. 2021. Estimation of the mass of microplastics ingested - A pivotal first step towards human health risk assessment. *J. Hazard Mat.* **404**, 124004.
  51. Shakiba, M., Rezvani Ghomi, E., Khosravi, F., Jouybar, S., Bigham, A., Zare, M., Abdouss, M., Moaref, R. and Ramakrishna, S. 2021. Nylon – a material introduction and overview for biomedical applications. *Polym. Adv. Technol.* **32**, 3368-3383.
  52. Sharma, S. and Chatterjee, S. 2017. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **24**, 21530-21547.
  53. Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I. and Kutralam-Muniasamy, G. 2020. First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. *Sci. Total Environ.* **726**, 138580.
  54. Taylor, M. L., Gwinnett, C., Robinson, L. F. and Woodall, L. C. 2016. Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Sci. Rep.* **6**, 33997.
  55. Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S. and Swan, S. H. 2009. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philos. Trans. Royal Soc. B* **364**, 2153-2166.
  56. Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., RioEchevarria, I. M. and den Eede, G. V. 2019. Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain. *Food Addit. Contam. A* **36**, 639-673.
  57. Turcotte, S. E., Chee, A., Walsh, R., Grant, F. C., Liss, G. M., Boag, A., Forkert, L., Munt, P. W. and Lougheed, M. D. 2013. Flock worker's lung disease: Natural history of cases and exposed workers in Kingston, Ontario. *Chest* **143**, 1642-1648.
  58. Vianello, A., Jensen, R. L., Liu, L. and Vollertsen, J. 2019. Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a breathing thermal manikin. *Sci. Rep.* **9**, 8670.
  59. Volkheimer, G. 1977. Persorption of particles: physiology and pharmacology. *Adv. Pharmacol.* **14**, 163-187.
  60. Walkinshaw, C., Lindeque, P. K., Thompson, R., Tolhurst, T. and Cole, M. 2020. Microplastics and seafood: lower trophic organisms at highest risk of contamination. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **190**, 110066.
  61. Walton, J., Bell, H., Re, R. and Nugent, A. P. 2021. Current perspectives on global sugar consumption: definitions, recommendations, population intakes, challenges and future direction. *Nutr. Res. Rev.* **9**, 1-22.
  62. Wang, C., Liu, Y., Chen, W. Q., Zhu, B., Qu, S. and Xu, M. 2021. Critical review of global plastics stock and flow data. *J. Ind. Ecol.* **25**, 1300-1317.
  63. Wang, Y., Huang, J., Zhu, F. and Zhou, S. 2021. Airborne microplastics: A review on the occurrence, migration and risks to humans. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **107**, 657-664.
  64. Wiesheu, A. C., Anger, P. M., Baumann, T., Niessner, R. and Ivleva, N. P. 2016. Raman microspectroscopic analysis of fibers in beverages. *Anal. Methods* **8**, 5722-5725.
  65. Xu, C., Zhang, B., Gu, C., Shen, C., Yin, S., Aamir, M. and Li, F. 2020. Are we underestimating the sources of microplastic pollution in terrestrial environment? *J. Hazard. Mat.* **400**, 123228.
  66. Zhang, N., Li, Y. B., He, H. R., Zhang, J. F. and Ma, G. S. 2021. You are what you eat: microplastics in the feces of young men living in Beijing. *Sci. Total Environ.* **767**, 144345.

## 초록 : 가공식품에서의 미세플라스틱: 새로운 식품안전에 대한 위협

김지후<sup>1</sup> · 이해영<sup>2</sup> · 김동섭<sup>3,4</sup> · 이충열<sup>4</sup> · 이희섭<sup>1,4\*</sup>

(<sup>1</sup>부산대학교 식품영양학과, <sup>2</sup>동의대학교 바이오응용공학부, <sup>3</sup>부산대학교 식품공학과, <sup>4</sup>부산대학교 장수웰빙연구소)

폴리아미드 수지인 나일론 66이 개발되어 칫솔모에 적용된 이래로 플라스틱 소비는 매년 급격하게 증가하고 있으며, 이와 더불어 폐기되는 플라스틱의 양이 증가하고 있다. 플라스틱의 분해에 의해 생성되는 다양한 플라스틱 분해물 중에서 5 mm 이하 크기에 해당하는 미세플라스틱은 환경 내에서 광범위하게 분포하고 있으며, 이로 인해 환경뿐만 아니라 동물과 나아가 인간에게 위협이 되는 존재가 되고 있다. 미세플라스틱이 인체로 유입되는 경로로는 물과 식품을 통한 섭취, 공기로 부더의 흡입 및 피부 접촉으로 알려져 있으며, 인체에 유입된 미세플라스틱은 인간의 건강에 영향을 주고 있다. 최근 들어 미세플라스틱과 관련된 연구중에서 식품과 관련된 연구들이 보고되기 시작하고 있으며, 통조림 식품, 김, 음료, 맥주, 우유, 설탕, 꿀 등의 가공식품에 미세플라스틱의 존재 및 이와 관련된 플라스틱 종류에 대한 분석 연구가 진행되고 있는 상황이다. 본 총설에서는 미세플라스틱의 발생 동향, 인체 유입 경로와 인체 위험성, 그리고, 제한적이긴 하지만 최근 보고되고 있는 가공식품에 존재하는 미세플라스틱에 대하여 제시하였다. 현재까지 가공식품에 존재하는 미세플라스틱과 위해평가와 관련된 연구는 미비한 실정이지만, 미세플라스틱은 환경에만 영향을 주는 위해 인자에서 식품에도 영향을 끼치는 위해 인자로 점차 인식되고 있는 상황이며 향후의 연구들을 통해 가공식품 내 존재하는 미세플라스틱에 대한 규제에 영향을 줄 것으로 전망된다.