

# 식품 환경 오염 미세플라스틱의 인체 영향과 위해평가 동향

Microplastics in foods: the hazardous characteristics and risk on human health

강미선<sup>1,2</sup> · 김현정<sup>1,2\*</sup>

Mi Seon Kang<sup>1,2</sup>, Hyun Jung Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>한국식품연구원 소비자안전연구단, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 식품생명공학

<sup>1</sup>Research Group of Consumer Safety, Korea Food Research Institute,

<sup>2</sup>Department of Food Biotechnology, University of Science and Technology

## Abstract

Microplastics with a size of less than 5 mm have emerged as an important environmental and food safety issue, as they have been detected not only in marine but also in terrestrial ecosystem and drinking water. Although many studies have been conducted on the exposure of microplastics and the effects on human health, the lack of standardized experimental methods for microplastics has been reviewed as a major problem. In order to overcome this, European countries such as the Netherlands and Germany are conducting a project to develop detection methods for microplastics as well as to establish the risk assessment methodologies for microplastics. Being the microplastics suggested to have

a substantially potential risk on human health, reliable risk assessments should be conducted considering the various sources of microplastics, chemical pollutants and biological factors. In addition, international standards and regulations should be applied.

Key words: microplastics, food contamination, human health effects, risk assessment

## 서론

1950년 첫 대량생산이 시작된 이후 플라스틱은 가격 효율성과 편리성을 장점으로 식품포장, 건설자재, 각종 기기의 부품 등 다양한 산업분야에 사용되어왔다. 세계적으로 플라스틱 생산량(섬유제외)은 2015

\* Corresponding author: Hyun Jung Kim

Research Group of Consumer Safety, Korea Food Research Institute, Wanju, 55365, Korea

Tel: +82-63-219-9271

Fax: +82-63-219-9876

E-mail: hjkim@kfri.re.kr

Received January 18, 2021; revised February 3, 2021; accepted February 10, 2021

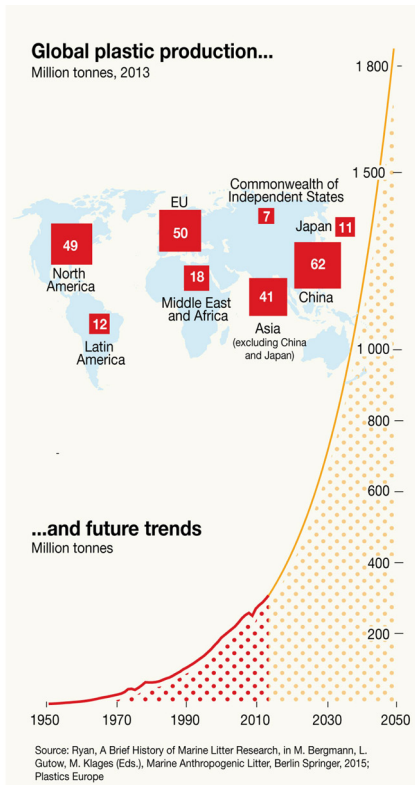


그림 1. 세계 플라스틱 생산량 (WHO, 2019)

년 322백만 톤에서 2017년 348백만톤으로 증가하였으며(Plastics Europe, 2018), 2025년에는 그 생산량

이 2배, 2050년에는 3배가 넘을 것으로 예측되었다 (FAO, 2017) (그림 1). 국내 플라스틱 생산량은 2016년 기준 21백만톤으로, 이 중 수출을 제외한 국내 수요 11백만 톤 중 플라스틱 폐기물 발생량은 약 10.1백만 톤으로 보고되었다(KEITI, 2018). 이러한 기하급수적인 생산량 증가에 수반되는 플라스틱 폐기물은 환경오염 및 생태계 교란 등을 일으키며, 최근에는 크기가 작은 플라스틱 폐기물인 미세플라스틱이 잠재적인 식품안전 위협요인으로 지목되고 있다.

미세플라스틱(Microplastic)은 일반적으로 길이나 지름이 5 mm 이하의 합성 고분자화합물을 지칭한다 (Arthur 등, 2009). 그러나 미세플라스틱의 크기에 대한 범위는 연구자에 따라 다르게 제시되는 경우가 많고, 이에 대해 국제적으로 합의된 정의는 현재까지 존재하지 않아 표준화된 표본추출(Sampling)의 부재 및 관련 연구의 객관적인 비교가 불가능한 점 등의 문제점이 지적되고 있다(FPF, 2020) (그림 2).

미세플라스틱은 크기, 모양, 화학적 조성 등에 따라 다양하게 분류가 가능하며, 생성원인에 따라 크게 두 유형으로 분류된다. 1차 미세플라스틱(primary plastic)은 화장품 스크럽제, 산업용 연마재 등에 사용되는 마이크로비즈(microbeads) 및 의류의 미세섬유와 같이 사용 목적에 따라 의도적으로 미세하게 제조된 미세플라스틱을 가리키며, 2차 미세플라스틱

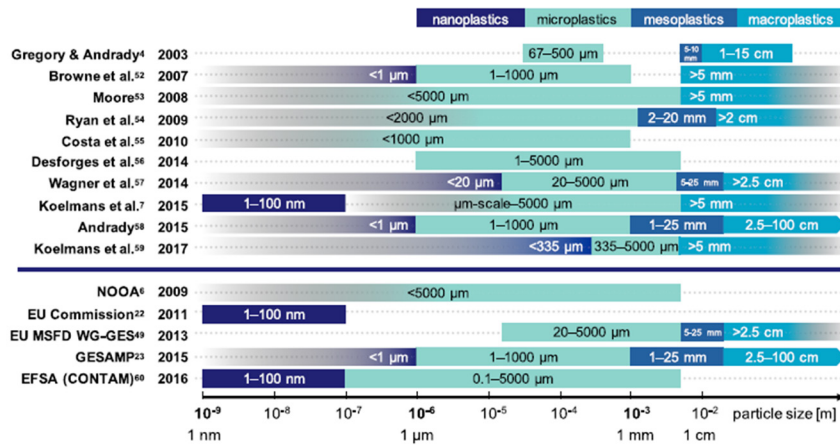


그림 2. 연구논문 및 기관 보고서에 사용된 플라스틱 크기 분류 예시 (Hartmann 등, 2019)

표 1. 식품의 미세플라스틱 오염실태 조사 결과 (KEI, 2019)

식품 종류	조사 대상 (국가)	검출 수준	주요 크기	참고문헌
갈색 새우	영국, 프랑스, 벨기에, 네덜란드	0.03~1.92 (n/g w.w)	200~1,000 $\mu$ m	Devriese 등 (2015)
청어류 통조림	20개 브랜드	0~3 (n/product)	190~3,800 $\mu$ m	Karami 등 (2018)
소금	중국 15개 브랜드	0.55~0.68 (n/g)	45~4,300 $\mu$ m	Yang 등 (2015)
	전 세계 12개 브랜드	0.05~0.81 (n/g)	평균1,090 $\mu$ m	Kosuth 등 (2018)
맥주	미국 12개 브랜드	0~14.3 (n/L)	평균980 $\mu$ m	Kosuth 등 (2018)
꿀	독일, 스페인, 프랑스 등 19개 브랜드	0.175 (n/g)	10~20 $\mu$ m	Liebezeit and Liebezeit (2013)
설탕	5개 브랜드	0.1~0.66 (n/g)	-	Kosuth 등 (2018)
	3개 브랜드	1.78~5.37 (n/L)	-	환경부 보도자료 (2017.11.24)
생수	국내 6개 브랜드	0~0.2 (n/L)	1.2 $\mu$ m~5mm (조사 범위)	환경부 보도자료 (2017.11.24)
	쿠바, 에콰도르, 영국, 프랑스, 독일, 인도, 인도네시아, 아일랜드, 이탈리아, 레바논, 슬로바키아, 스위스, 우간다, 미국	0~61 (n/L)	평균 960 $\mu$ m	Kosuth 등 (2018)
수돗물	국내 24개 정수장	0~0.6 (n/m <sup>2</sup> ) 0~0.0006 (n/L)	1.2 $\mu$ m~5mm (조사 범위)	환경부 보도자료 (2017.11.24)

(secondary microplastic)은 식품 포장재 등과 같은 큰 플라스틱 폐기물이 기계적, 인위적인 분해과정 또는 자연적인 풍화, 마모에 의해 발생하는 플라스틱을 지칭한다.

국내의 미세플라스틱 정량화를 주제로 한 Lee와 Kim (2017)의 연구에 따르면 개인 제품, 생산·수송 공정, 도로 사용처, 가정 배출 분진, 세탁 공정, 실외 분진, 인조 잔디, 음식물과 같은 폐기물 재활용 시설 등에서 배출된 미세플라스틱 잠재 발생량은 연간 총 6만 3,000~21만 6,000톤으로 추정되었으며, 이는 노르웨이, 스웨덴 보다 각각 25배, 10배 정도 높은 것으로 나타났다. 세계적으로 미세플라스틱의 환경 오염 및 인체 노출에 대한 우려가 커지고 있는 가운데, 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 2019년 음용수의 미세플라스틱에 관한 보고서를 발표하여 미세플라스틱의 인체 위험성 및 관련 연구 필요성을 시사하였다. 음용수 중 미세플라스틱 오염과 더불어 어류, 패류 등의 수산물에서 미세플라스틱의 생물농축(Bio-accumulation)은 먹이사슬 최종 섭취자인 인간에게 물리적, 화학적 위험을 야기할 것으로 예상되고 있으나 아직까지 이에 대한 연구는 제대로 이루어지

지 않은 실정이다(식품안전정보원, 2018). 따라서 본 논문에서는 식품 속 미세플라스틱의 오염 현황과 미세플라스틱의 물리·화학·생물학적 위해성을 확인하고, 미세플라스틱에 대한 노출로 발생할 수 있는 인체 영향과 식품안전에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 그리고 미세플라스틱 관리 및 규제를 위해 수행되어야 하는 위해성 평가에 대해 간략히 소개하고자 한다.

## 본론

### 1. 미세플라스틱의 식품 환경 오염

초기 미세플라스틱 연구는 최초로 그 존재가 인식된 이후 해양 및 담수 생태계를 중심으로 이루어졌으나 조사가 계속되면서 대기 및 육상생태계는 물론 최종적으로 인간에게서 미세플라스틱이 발견되는 등 생태계 전반에서 광범위하게 검출되어 전지구적 환경 오염 문제로 부상하였다. 여러 논문 및 보고서를 통해 미세플라스틱 입자는 주로 동물의 위장관에 축적되며, 다양한 해양생물 중 청어, 대구, 새우,

표 2. 미세플라스틱 관련 첨가제 및 환경 오염물질의 기능 및 영향 (그린피스, 2016)

화학물질	기능	잠재적 영향
비스페놀 A	폴리카보네이트 플라스틱 및 에폭시 수지 생산의 원료로 사용.	내분비계 교란 가능성이 있는 물질. 특히 태아 및 영유아의 성장과 발달에 유해.
프탈산에스테르(프탈레이트)-디에틸 헥실프탈레이트(DEHP), 디부틸프탈레이트(DBP), 디에틸프탈레이트 (DEP)	가소제 및 연화제로 사용되어 플라스틱, 특히 폴리염화비닐 (PVC)을 유연하게 만들. 향수와 화장품의 용매 및 향을 지속시키기 위해 사용.	일부 프탈레이트는 생식능력을 저해하며, 과다 섭취 시 간에 지장을 초래.
노닐페놀(NP)	플라스틱 제조 시 산화방지제, 가소제, 안정제 등으로 사용. 공업용 세제로 사용되는 노닐페 놀에톡시레이트 (NPEs)를 일부 분해해 만들어짐.	수중생물에게 극도로 유해. 특히 어류의 내분비계 교란을 일으키며 여성화를 초래. 기타 동물 및 인간의 생식과 성장에도 유해할 수 있음.
폴리브롬화디페닐에테르(PBDEs)	플라스틱, 발포 고무, 섬유 등의 발화 지연제로 사용. 플라스틱 제품에 첨가제로 사용되거나 환경에 잔류하다가 플라스틱 제품 표면으로 흡착될 수 있음.	내분비계 교란 가능 물질로 특히 갑상선 기능에 문제를 유발할 수 있음. 신경 발달 및 행동, 면역체계, 간 등에 유해할 수 있음.
폴리염화비페닐(PCBs)	일부 플라스틱의 난연제, 가소제 및 변압기의 절연체로 사용.	여러 동물의 면역체계, 생식능력, 신경계에 독성 초래. 간에 손상을 줄 수 있으며 암을 유발할 수 있음.
다환방향족 탄화수소(PAHs)	화석연료의 불완전 연소 시 발생 하는 물질. 석유 및 콜타르에도 존재.	한번 흡수되면 체내에 축적. 일부는 암과 돌연변이를 유발하고 생식능력을 저해.
살충제-디클로로디페닐 트리클로로 에탄(DDT), 헥사클로로시 클로헥산 (HCHs)	과거 농업 및 도시지역의 살충제로 사용되었으나, 지금은 말라리아 벡터 제어용으로 사용이 제한됨.	DDT는 수중생물에게 매우 치명적이며 내분비계 교란 및 생식능력을 저해. HCHs는 간과 신장에 치명적이며 일부는 내분비계 교란 물질 및 인체 발달 가능 물질로 추정.

홍합 등의 생선 및 조개류, 갑각류 등 인간이 섭취하는 해산물 중에서 미세플라스틱의 존재가 입증되었다(Toussaint 등, 2019; Barboza 등, 2018). 많은 경우 해양생물의 섭취단계에서 내장 등이 제외되므로 미세플라스틱 노출을 낮출 수 있으나 홍합과 같은 이매패류의 경우 미세플라스틱의 오염 및 노출 가능성이 높으며, 홍합에서의 미세플라스틱 농도는 g 당 0.5 ~ 4개 수준으로 알려져 있다(EFSA 2016). 이 외 꿀, 설탕, 소금, 맥주, 청어와 정어리 통조림, 생수, 수돗물 등의 식품에서도 미세플라스틱이 확인되었다(표 1). 소금의 미세플라스틱 검출 수준은 Yang 등 (2015)은 g당 0.55-0.68개, Kosuth 등 (2018)은 g당 0.05-0.81개로 보고하고 있으며 꿀과 설탕의 경우 g당 미세플라스틱이 각각 0.175개 및 0.1-0.66개 검출된 것으로 보고되고 있다(Liebezeit and Liebezeit, 2013). 한

편, Kosuth 등 (2018)은 맥주와 생수 1 리터 당 각각 0-14.3개 및 1.78-5.37개의 미세플라스틱이 오염되어 있음을 보고한 바 있다.

Cox 등 (2019)은 기존 연구(n=26)의 데이터를 종합하여 미국의 성별과 연령에 따라 식품으로 섭취되는 미세플라스틱의 입자수를 추정하였다. 그 결과 연간 미세 플라스틱 섭취량은 39,000~52,000개 입자 범위로 추정되었으며, 여아의 섭취량이 가장 낮았고, 성인남성의 섭취량이 가장 높은 것으로 확인되었다. 이러한 추정치는 대기 중의 미세플라스틱 흡입을 고려하였을 때 74,000~121,000개 입자 범위로 증가하였다. 또한, 권장하는 물 섭취량 전체를 병에 든 생수로만 섭취하였을 때와 수돗물만을 마셨을 경우, 각각 연간 90,000개와 4,000개 미세플라스틱 입자를 추가로 섭취할 수 있다고 보고하였다.



## 2. 미세플라스틱의 위해성 및 인체영향

앞서 제시한 바와 같이 수산물 뿐 아니라 가공 식품, 대기 중에도 존재하는 미세플라스틱으로 인한 인체 노출의 우려가 커지고 있으나, 아직까지 미세플라스틱이 함유된 식품의 독성 연구는 미흡한 실정이다(Toussaint 등, 2019; Wright and Kelly, 2017; KEI, 2019). 미세플라스틱의 독성 연구는 주로 동물실험을 통해 얻어진 것이 대부분이다. 이를 참고하였을 때 생체 내에서 미세플라스틱 입자는 입자 크기에 따라 순환계와 다른 조직으로 이동하고, 산화 스트레스, 세포 독성, 염증 또는 면역 반응을 일으키며, 유해화학물질 및 미생물의 매개체 역할을 하며, 호흡기 병변 또는 장 장벽과 장내 마이크로바이옴의 균형을 파괴할 가능성도 제시되고 있다(FPF, 2020). 그러나 환경에서 발견되는 미세플라스틱 입자는 일반적으로 실험실에서 쉽게 재현할 수 없는 재료, 모양 및 크기의 혼합물로 구성되므로 시험결과는 실제 노출 시 나리오와는 상이할 수 있다.

플라스틱은 주로 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리염화비닐(PVC), 폴리스티렌(PS), 폴리카보네이트(PC), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET) 등의 열가소성 플라스틱이 전세계 플라스틱 생산량의 91%를 차지하고 있다(KAST, 2018). 이러한 합성 고분자 화합물은 생체 내에서 분해되지 않고, 주변의 유기오염물질(POPs, persistent organic pollutants) 및 중금속을 흡착하여 체내로 운반하는 역할을 하기 때문에 인간의 건강에 악영향을 줄 수 있다(KEI, 2018, WHO, 2019). 미세플라스틱은 물리적 입자 크기가 매우 작아 체내 점막이나 혈관으로 흡수, 농축되어 건강을 해칠 위험이 있다. 유럽식품안전청(EFSA)은 폴리스티렌 나노입자가 장 상피를 통해 체내로 흡수될 수 있으며, 장내물질(지질, 탄수화물, 단백질)과의 상호작용에 따라 흡수 정도가 달라진다고 보고하였다(EFSA, 2016). 그러나 체내에서 1.5  $\mu\text{m}$  보다 큰 입자는 모세혈관으로 침투할 수 없으며, 이보다 큰 입자들은 체내 여과 시스템을 통해 배설되는 것으로 알려져 있다(Yoo 등, 2011).

플라스틱 제조에 사용되는 가소제, 난연제 등의 화학첨가물(프탈레이트, 비스페놀A, 노닐페놀 등)은 환경호르몬의 일종으로 내분비 교란, 유전독성, 성기능장애 등을 유발한다고 알려져 있어(Cole 등, 2011), 미세플라스틱 섭취로 인한 유해화학물질 노출량 추정 및 독성평가 연구 필요성이 커지고 있다(표 2). 유엔환경계획(UNEP)의 2018년 보고서에 따르면, 플라스틱 첨가물과 같은 내분비 교란물질과 유방암, 당뇨병, 대사증후군, 심혈관 및 생식장애 사이의 연관성에 대한 역학조사 결과가 다양한 연구진들에 의해 보고되었다. 또한 산모의 경우 내분비계 시스템이 태아의 뇌 발달에 영향을 미칠 수 있으며, 임신 후반기에 특정 프탈레이트에 노출될 경우 남아의 신경활동 장애와 비정상적인 성발달과의 연관성에 관한 연구결과가 보고되었다(UNEP, 2018). 그러나 이러한 환경호르몬은 미세플라스틱 외에도 다양한 경로를 통해 노출될 수 있기 때문에 미세플라스틱의 위해성 평가를 위해서는 정확한 노출량 계산과 신뢰할 수 있는 용량-반응 평가 모델이 필요하다.

미세플라스틱의 유기 오염물질 매개체 역할에 대해서는 그 의견이 상반되는 경우가 많아 현재까지 논쟁이 이어지고 있다. 일부 연구결과들은 해양 중 미세플라스틱이 노닐페놀 및 페난트렌, 파이렌 등의 오염물질을 흡착하여 해양생물(갯지렁이, 홍합 등)로 운반 및 전달을 할 수 있다고 보고하였다(Andrady, 2011; Browne 등, 2013). 그러나 기존 연구들이 실제 해양환경을 반영하지 못하는 점, 오염물질 노출에 있어 미세플라스틱의 기여도가 매우 작다는 점 등의 문제점이 지적되었으며(Koelmans 등, 2019), 또한 현재까지 미세플라스틱에 의한 유기오염물질의 전달을 증명하는 연구가 없다는 의견도 존재한다(Burns and Boxall, 2018). 그러나 이러한 해양생물에서 미세플라스틱의 생물농축이 인간에게 어떠한 물리화학적 영향을 미치는지에 대해서는 관련 연구가 진행될 필요가 있다.

미세플라스틱은 플라스틱 자체의 물리적, 유해물질의 화학적 위해 뿐만 아니라 생물학적 위해성 또한 포함하고 있다. 플라스틱스피어(Plastispheres)는 플라스틱 표면에 미생물이 부착, 성장하여 만들어진 미



표 3. 미세플라스틱의 생물학적 위해 관련 연구 예시 (WHO, 2019)

연구 구분	주요 내용	참고문헌
플라스티스피어	하수처리시설에서 방출된 미세플라스틱은 하수 관련 미생물의 장거리 이동을 가능하게 할 수 있음.	McCormick AR 등(2016); Oberbeckmann 등(2018)
	장관계 바이러스, 원생동물 등의 유해 유기체는 바이오필름에 축적되어 다른 병원균을 지니거나 감염성을 유지할 수 있으므로, 미세플라스틱은 유해 유기체의 매개체로 작용할 수 있음.	Atanasova 등 (2018); Sun 등 (2018)
항균 저항성	미세플라스틱에 부착된 항균 저항성 균주는 자유생활 세균 또는 자연집합체 (natural aggregates) 관련 바이오필름에 비해 더 광범위한 종에 더 빈번하게 항균 저항성 유전자를 확산함.	Arias-Andres 등 (2018)
	미세플라스틱에의 부착은 하수처리시설에서 항균 저항성 유전자를 포함한 세균의 생존을 용이하게 함.	Eckert 등 (2018)

생물 군집을 가리키는 말로, 미세플라스틱은 이러한 미생물들이 바이오필름을 형성하는 표면을 제공할 수 있다(WHO, 2019). 미생물은 플라스틱과 같은 소수성 및 무극성 표면에 잘 부착하며, 거친 플라스틱 표면에 바이오필름을 더 잘 형성하는 등 미세플라스틱의 표면 특성에 따라 바이오필름을 구성하는 군집에 영향을 끼친다. 또한 환경 중의 영양성분, 염도, 온도, 자외선량, 산소량 등의 조건에 따라 플라스틱 및 미세플라스틱에서 미생물의 바이오필름 형성이 영향을 받는 것으로 보고되어 있다(WHO, 2019). 이러한 미세플라스틱의 특성은 유해 미생물이 체내로 이동하는 경로를 제공하여 잠재적인 생물학적 위해 요소가 될 수 있으며, 체내로 이동한 미생물은 인체 내에서 장내 미생물 군집 변화, 항생제 저항성 세균의 확산 등의 문제를 일으킬 수 있으며, 관련 내용은 표 3에 제시한 바와 같다. 한편, 여러 연구에서 해양 미세플라스틱에서 *Vibrio* spp. 등의 잠재적 병원성세균의 발생이 보고되고 있어(Imran 등 2019; Kirstein 등 2016) 추가 연구 필요성을 시사하고 있다.

담수에서 미세플라스틱과 관련된 바이오필름이 검출된 사례가 있으나, 음용수의 경우 여과 및 정제 과정을 거치기 때문에 검출된 사례는 매우 제한적이다. 또한 담수와 음용수의 경우 미세플라스틱과 관련한 바이오필름의 인체 부작용에 대한 명확한 증거가 부족하기 때문에 아직까지 잠재적 위험성은 낮다고 볼 수 있다(US EPA, 2016; Li 등, 2018).

### 3. 미세플라스틱 위해평가 연구

여러 식품에서 미세플라스틱 분석기술 및 오염도 관련 연구가 진행됨에 따라 식품 환경에서의 미세플라스틱 오염과 그 영향을 다루는 위해평가가 많은 연구자들의 관심을 받고 있다.

식품과 관련하여 건강에 위해를 받을 가능성과 위험의 정도는 위해평가(Risk assessment) 과정을 통하여 정량적 또는 정성적으로 산출한다. 위해평가는 유해물질이 인간에 노출됨으로써 발생하는 알려지지거나 잠재적 가능성이 있는 부작용(adverse health effects)에 대한 과학적 평가로, 위험성 확인(hazard identification), 위험성 결정(hazard characterization), 노출평가(exposure assessment), 위험도 결정(risk characterization)의 단계를 거쳐 진행된다. 당초 위해평가는 국제식품규격위원회(Codex)에서 WTO 체제하에서 객관적이고 과학적인 식품안전관리의 방법으로 위해분석(Risk analysis)을 제시한 것으로부터 식품안전관리를 위한 방안으로 도입되었다. 이후 위해평가 결과는 국가적 안전관리 규제를 위한 정책 결정단계에서 그 역할이 점차 확대되고 있다. 위해평가의 일반적인 절차 및 내용은 표 4에 나타난 바와 같다(김, 2013).

화학적 위해평가 역시 위험성 확인-위험성 결정-노출 평가-위해도 결정의 순서로 이루어진다. 일반적으로 화학적 위해평가는 단일 화학물질을 대상으로 하여 대부분 그 위험성이 명확하게 알려져 있고 표준

표 4. 위해평가의 절차 및 내용

위해평가 단계	수행내용
위험성 확인 (Hazard Identification)	독성실험 및 역학연구 등을 활용하여 화학적·생물학적·물리적 위해요인의 유해성, 독성 및 그 정도와 영향 등을 파악하고 확인하는 과정
위험성 결정 (Hazard Characterization)	위해요소의 노출량과 유해영향 발생과의 관계를 정량적으로 규명하는 단계로 동물실험 등의 불확실성 등을 고려하여 인체안전기준을 결정
노출평가 (Exposure Assessment)	식품 등을 통하여 사람이 섭취하는 위해요소의 양 또는 수준을 정량적 및 (또는) 정성적으로 산출하는 과정
위해도 결정 (Risk Characterization)	위험성 확인, 위험성 결정 및 노출평가 결과를 근거로 하여 평가대상 위해요인이 인체건강에 미치는 유해영향 발생과 위해정도를 정량적 또는 정성적으로 예측하는 과정

화된 분석법을 통해 노출량을 추정하기 쉬운 반면, 미세플라스틱의 경우 플라스틱을 구성하는 단량체의 종류, 플라스틱 구성 물질, 크기, 표면 특성 등에 따라 정성적, 정량적 특성이 달라지기 때문에 위험성 확인에 어려움이 있고, 화장품, 치약 등의 생활 제품, 식수, 식품, 대기 등 다양한 경로를 통해 섭취 또는 흡입되기 때문에 노출량 추정에 어려움이 있다. 이러한 특성은 미세플라스틱의 인체 영향 여부 및 독성, 역학 자료 등의 조사에도 영향을 미쳐 기존의 화학적 위해평가 방법으로는 한계가 있다. WHO는 현재까지 미세플라스틱 입자의 흡수 및 독성에 관한 연구는 PE, PET, PS 등으로 제한적이므로, 미세플라스틱의 화학조성 및 입자 크기, 모양 등을 고려한 추가 연구의 필요성을 시사하였다(WHO, 2019).

세계보건기구(WHO)는 음용수를 통한 미세플라스틱 노출의 잠재적인 인체 건강영향에 대해 i) 음용수 노출을 통해 미세플라스틱 입자의 물리적 위험과 관련한 건강 영향은 낮으며, ii) 음용수를 통한 미세플라스틱의 화학적 위해 가능성이 낮고, iii) 음용수에서 미세플라스틱 관련 생물막으로 인한 인체 건강 위험도도 낮은 것으로 잠정적으로 보고하고 있다. 현재 확보된 정보를 바탕으로 음용수에서 미세플라스틱의 노출 및 독성에 대해 명확한 결론을 내리는 것은 불가능하며 미세플라스틱의 위해성에 대해 신뢰성 있는 추가 정보의 필요성을 제시하고 있다(WHO, 2019). 그 외에도 유럽식품안전청(EFSA), 유엔식량농업기구(FAO) 등의 국제기구도 현재까지 산발적

으로 이루어진 노출 및 독성 자료들은 미세플라스틱의 위해성 평가에 이용되기에 그 근거가 부족하다고 보고하였다(EFSA, 2016; Lusher 등 2017; SAPEA, 2019; VKM, 2019).

그러나 미세플라스틱 존재가 국제적 환경오염 사안으로 대두되고, 매해 증가하는 플라스틱 폐기물로 인한 미세플라스틱 노출 위험 또한 증가함에 따라 관련 규제를 위해 미세플라스틱의 특성을 고려한 위해평가방안이 논의가 되고 있다. 네덜란드의 과학연구진흥원(NOW)은 미세플라스틱 연구 관련 프로젝트를 통해 미세플라스틱의 검출법 개발, 위험 및 영향평가 기술 개발, 담수 환경에서 플라스틱의 미래 위험 예측을 목적으로 연구를 수행하였으며, 독일의 경우 미세플라스틱 분석법을 개발하고 있는 것으로 알려져 있다(KEI, 2019). 국내에서는 2017년 화장품, 치약에서 미세플라스틱 사용 금지 조치를 시작으로(식약처 고시 제2017-3호), 한국환경정책평가연구원(KEI)에서는 2019년부터 미세플라스틱의 위해성평가 방법론 검토 및 맞춤형 관리 방안을 목표로 연구를 진행 중이다. 이러한 연구들을 통해 미세플라스틱의 위해평가를 위한 명확하고 표준화된 방법이 수립된다면 추후 식품산업에서 미세플라스틱의 규제방안 마련에 도움이 될 것으로 사료된다.

### 결론 (요약)

현대사회에서 가장 흔하게 사용되는 소재인 플라



스틱은 세계적으로 연간 3억톤 이상이 생산되고 있다. 이에 따른 플라스틱 폐기물의 증가는 전지구적 환경오염의 원인이 되어 인류가 해결해야 할 문제로 남아있다. 해양으로 유입되는 대량의 플라스틱 쓰레기들은 그 자체로 생태계 파괴의 주범이 되지만 최근 크기가 5 mm 이하인 미세플라스틱은 해양생물 뿐 아니라 육지 생물과 식수에서도 검출되어 환경 및 식품 안전 분야의 새로운 이슈로 부상하였다.

미세플라스틱의 노출과 인체 영향에 대해서 많은 연구 결과들이 쏟아져 나오고 있지만, 정확한 위해성에 대해서는 아직까지 논쟁이 계속되고 있다. 이러한 논쟁은 미세플라스틱에 대한 국제적 정의의 부재에서 시작하여, 미세플라스틱의 추출 및 정제, 정량화 과정에 대한 표준화된 실험 방법의 필요성은 미세플라스틱을 다룬 여러 보고서에서 공통적으로 지적하고 있는 문제점이다. 최근 이를 극복하고자 해양생물군과 담수 및 음용수에서 미세플라스틱을 다룬 연구논문을 대상으로 미세플라스틱 표본의 사이즈, 표본 처리 및 보관법, 대조군 유무, 검출법 등의 실험과정을 비교하고 그 결과를 정량적으로 평가하는 등 미세플라스틱 실험법의 표준화를 위한 노력이 계속되고 있다(Hermsen 등, 2018). 또한 네덜란드, 독일 등의 유럽국가에서는 미세플라스틱 검출법 개발 등의 연구를 진행하고 있으며, 국내에서도 미세플라스틱의 위해성 평가 방법론 도출을 위한 연구가 진행 중이다.

여러 연구결과들을 바탕으로 미세플라스틱이 가지고 있는 잠재적인 위험성을 고려했을 때 미세플라스틱에 의해 우려되는 안전성을 확보하기 위해서는 미세플라스틱의 다양한 노출원, 관련된 화학물질과 생물학적 요인 및 실제 환경을 반영할 수 있는 시험법 개발이 중요하다. 아울러 미세플라스틱의 위해성 평가를 위해서는 정확한 노출량 계산과 신뢰할 수 있는 용량-반응 평가 모델의 개발이 필수적이다. 이를 통한 객관적이고 명확한 위해성 평가와 이에 근거한 국제적으로 합의된 규제 및 예방안 마련이 요구된다.

## References

- 그린피스 과학연구팀. 우리가 먹는 해산물 속 플라스틱(2016)  
 김현정. 식품안전관리를 위한 미생물 위해평가. *식품과학과 산업* 46.1: 26-35 (2013)  
 식품안전정보원. 글로벌 식품 안전 포커스(3분기) (2018)  
 식품안전정보원. 음용수의 미세플라스틱 요약보고서 (WHO, 2019.8) (2019)  
 한국과학기술원(KAST). 플라스틱 오염 현황과 그 해결책에 대한 과학기술 정책(2018)  
 한국환경산업기술원(KEITI). 국내외 플라스틱 문제현황 및 해결방안(2018)  
 한국환경정책평가연구원(KEI). 미세플라스틱 관리 동향 및 정책제언(2018)  
 한국환경정책평가연구원(KEI). 미세플라스틱의 건강 피해 저감 연구 (2019)  
 환경부. 환경부, 수돗물 중 미세플라스틱 함유실태 조사결과 발표. 보도자료. Available from: <https://www.me.go.kr/home/web/index.do?menuId=286>  
 Andrary AL. Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin* 62.8: 1596-1605 (2011)  
 Arias-Andres M, Klümper U, Rojas-Jimenez K, Grossart HP. Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution* 237: 253-261 (2018)  
 Arthur C, Baker J, Bamford H. Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris, Sept 9-11, 2008. National Oceanic and Atmospheric Administration (2009)  
 Atanasova ND, Dey R, Scott C, Li Q, Pang XL, Ashbolt NJ. Persistence of infectious enterovirus within free-living amoebae-A novel waterborne risk pathway?. *Water Research* 144: 204-214 (2018)  
 Bakir A, Rowland SJ, Thompson RC. Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution* 185: 16-23 (2014)  
 Barboza LGA, Vethaak AD, Lavorante BR, Lundebye AK, Guilhermino L. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine pollution bulletin* 133: 336-348 (2018)  
 Browne MA, Niven SJ, Galloway TS, Rowland SJ, Thompson RC. Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Current biology* 23.23: 2388-2392 (2013)  
 Burns EE, Boxall AB. Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. *Environmental toxicology and chemistry* 37.11: 2776-2796 (2018)  
 Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin* 62.12: 2588-2597 (2011)



- Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human consumption of microplastics. *Environ. Sci. Technol.* 53: 7068-7074 (2019)
- Devriese LI, Van der Meulen MD, Maes T, Bekaert K, Paul-Pont I, Frère L, Robbens J, Vethaak AD. Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Marine pollution bulletin* 98.1-2: 179-187 (2015)
- Eckert EM, Di Cesare A, Kettner MT, Arias-Andres M, Fontaneto D, Grossart HP, Corno G. Microplastics increase impact of treated wastewater on freshwater microbial community. *Environmental Pollution* 234: 495-502 (2018)
- EFSA (European Food Safety Authority). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood (2016)
- FPF (Food Packaging Forum). Dossier-Microplastics (2020)
- Hartmann NB, Hüffer T, Thompson R, Hassellöv M, Verschoor A, Daugaard A, Rist S, Karlsson T, Brennholt N, Cole M, Herrling M, Hess M, Ivleva N, Lusher A, Wagner M. Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environ. Sci. Technol.* 53: 1039-1047 (2019)
- Hermesen E, Mintenig SM, Besseling E, Koelmans AA. Quality criteria for the analysis of microplastic in biota samples: a critical review. *Environ. Sci. Technol.* 52.18: 10230-10240 (2018)
- Imran M, Das KR, Naik MM. Co-selection of multi-antibiotic resistance in bacterial pathogens in metal and microplastic contaminated environments: An emerging health threat. *Chemosphere* 215: 846-857 (2019)
- Karami A, Golieskardi A, Choo CK, Larat V, Karbalaei S, Salamatinia B. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Science of the Total Environment* 612: 1380-1386 (2018)
- Kirstein IV, Kirmizi S, Wichels A, Garin-Fernandez A, Erler R, Löder M, Gerdt G. Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Marine environmental research* 120: 1-8 (2016)
- Koelmans AA, Nor NHM, Hermesen E, Kooi M, Mintenig SM, De France J. Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality. *Water research* 155: 410-422 (2019)
- Kosuth M, Mason SA, Wattenberg EV. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS one* 13.4: 1-18 (2018)
- LEE HS, KIM YJ. Estimation of microplastics emission potential in South Korea-For primary source. *The Sea* 22.3: 135-149 (2017)
- Li J, Liu H, Chen JP. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research* 137: 362-374 (2018)
- Liebezeit G, Liebezeit E. Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A* 30.12: 2136-2140 (2013)
- Lusher AL, Hollman PCH, Mendoza-Hill JJ. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 615 (2017)
- McCormick AR, Hoellein TJ, London MG, Hittie J, Scott JW, Kelly JJ. Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages. *Ecosphere* 7.11: e01556 (2016)
- Oberbeckmann S, Kreikemeyer B and Labrenz M. Environmental factors support the formation of specific bacterial assemblages on microplastics. *Frontiers in Microbiology* 8: 2709 (2018)
- Plastics Europe. *Plastics-the facts 2017: an analysis of European plastics production demand and waste data* (2018)
- SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies). *A scientific perspective on microplastics in nature and society* (2019)
- Sun M, Ye M, Jiao W, Feng Y, Yu P, Liu M, Jiao J, He X, Liu K, Zhao Y, Wu J, Jiang X, Hu F. Changes in tetracycline partitioning and bacteria/phage-mediated ARGs in microplastic-contaminated greenhouse soil facilitated by sphorolipid. *Journal of Hazardous Materials* 345: 131-139 (2018)
- Toussaint B, Raffael B, Angers-Loustau A, Gilliland D, Kestens V, Petrillo M, Rio-Echevarria IM, Van den Eede G. Review of micro-and nanoplastic contamination in the food chain. *Food Additives & Contaminants: Part A* 36.5: 639-673 (2019)
- UNEP (United Nations Environment Programme). *Exploring the potential for adopting alternative materials to reduce marine plastic litter* (2018)
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). *A summary of literature on the chemical toxicity of plastics pollution to aquatic life and aquatic-dependent wildlife. State of the Science White Paper* (2016)
- VKM (Norwegian Scientific Committee for Food and Environment). *Microplastics; occurrence, levels and implications for environment and human health related to food. Opinion of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment* (2019)
- WHO (World Health Organization). *Microplastics in drinking-water* (2019)
- Wright SL, Kelly FJ. Plastic and human health: a micro issue?. *Environ. Sci. Technol.* 51.12: 6634-6647 (2017)
- Yang D, Shi H, Li L, Li J, Jabeen K, Kolandhasamy P. Microplastic pollution in table salts from China. *Environ. Sci. Technol.* 49.22: 13622-13627 (2015)
- Yoo JW, Doshi N, Mitragotri S. Adaptive micro and nanoparticles: temporal control over carrier properties to facilitate drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*, 63.14-15: 1247-1256 (2011)