



수환경에서의 마이크로플라스틱 분류 및 정의

Categorization and definition of microplastics in the water environment

권범근¹·이상훈²·라현주²·백진³·김극태^{4*}

Bumgun Kwon¹·Sanghoon Lee²·Hynjoo Rah²·Jin Paek³·Keugtae Kim^{4*}

¹조선이공대학교 생명환경화공과, 광주광역시 동구 필문대로 309-1, 61453

²원택글로벌비스(주), 서울시 송파구 백제고분로 460, 05641

³성균관대학교, 경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 16419

⁴수원대학교 환경에너지공학과, 경기도 화성시 봉담읍 와우안길 17, 18323

¹Department of BioEnvironmental & Chemical Engineering, Chosun College of Science & Technology, 309-1, Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju, Republic of Korea

²Wintec Glovis, 460, Baekjegobun-ro, Songpa-gu, Seoul, Republic of Korea

³Graduate school of water resources, Sungkyunkwan University, 2066, Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

⁴Department of Environmental & Energy Engineering, Suwon University, 17 Wauan-gil, Bongdam-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

pp. 413-420

pp. 421-428

pp. 429-436

pp. 437-446

pp. 447-456

pp. 457-467

pp. 469-480

pp. 481-489

ABSTRACT

Since the discovery of the first artificial synthetic plastic, bakelite, polymer materials have been recognized as one of the most innovative fields of research. The plastic debris that is being piled up on the earth (called abandoned plastic litters) is now being observed everywhere on Earth, becoming an increasingly serious environmental threat. The term 'microplastics', created in 2004, now refers to plastic particles that are smaller than 5 mm, including all nano-sized plastic particles. However, there is no legal regulation, and there is still a lack of comprehensive definitions that practically include microplastic size standards. In this study, we will refer to "microplastics" as the English name, and look at how to identify these microplastics and propose new definitions that focus on their size. This study is expected to contribute to the domestic consensus on scientific definitions of microplastics.

Key words: Microplastics, Nanoplastics, Plastic debris, Definition, Categorization

주제어: 미세플라스틱, 나노플라스틱, 폐플라스틱, 정의, 분류

1. 서 론

1907년 최초의 합성 플라스틱인 베이클라이트(bakelite)가 발견되면서 인간의 일상생활에 커다란 혁명이 일

어났다 (ACS, 1993). 플라스틱 혁명 이래로 플라스틱은 우주복에서 건축, 식품 포장, 의료 기기 등 거의 모든 인간의 일상생활에 필요한 필수재료이다 (Kwon et al., 2015). 플라스틱 재료는 내화학성, 내부식성, 내안

Received 18 September 2019, revised 3 November 2019, accepted 8 November 2019.

*Corresponding author: Keugtae Kim (E-mail: kkt38@suwon.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.

정성(저밀도, 저열 및 전기 전도성 등), 특히 상대적으로 저렴한 가격 등의 특성으로 인해 광범위한 용도가 존재하고 대량 생산도 매우 수월하다 (Barnes et al., 2009; Thompson et al., 2009; Cole et al., 2011). 하지만 이 플라스틱 재료가 갖는 다양한 장점에도 불구하고 환경에 버려져 분해되지 않는 심각한 단점이 있다. 더욱이 분해되지 않는 플라스틱이 지구에 점차 쌓이면서 바로 세계 환경에 위협을 주고 있다 (UNEP, 2009).

특히, 육상, 해양, 담수 생태계에 버려진 플라스틱 조각 혹은 폐플라스틱(plastic debris, 혹은 plastic litter)은 동물(특히, 해양동물)의 생체 그물망에 얽히고 생체에 축적되어 질식, 열상, 소화 장애 등을 유발하면서 생태계에 악영향을 초래하고 있다 (Browne et al., 2008; Cole et al., 2013; Goldstein and Goodwin, 2013; Lusher et al., 2013; Besseling et al., 2014; Kaposi et al., 2014; Setälä et al., 2014). 또한, 비극성을 갖는 폐플라스틱의 표면은 유해한 잔류성유기오염물질(persistent organic pollutants, POPs)이 흡착되는 매개체로도 작용할 수 있다 (Mato et al., 2001; Besseling et al., 2013; Rochman et al., 2014). 그래서 버려진 플라스틱 조각은 전 지구적 걱정거리로 인식되고 있다.

버려진 플라스틱은 자연환경에서 풍화(weathering), 광산화반응(photooxidation), 가수분해(hydrolysis) 등의 과정을 통해 플라스틱이 매우 천천히 부수어지게 된다 (Bergman et al., 2015; Kwon et al., 2015; Wagner et al., 2018; Zeng et al., 2018). 이런 현상으로 인해 지난 수십 년에 걸친 플라스틱 이슈는 점차 확대되는 추세이며, 현재도 무수히 많은 연구가 전 세계적으로 수행되고 있다 (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Bergman et al., 2015; Zeng et al., 2018; Hartmann et al., 2019).

1972년 북대서양 중앙부의 해류인 사르가소해(Sargasso sea)에서 처음으로 플라스틱 입자들(0.1~2 mm)이 조사되었다 (Carpenter et al., 1972). 이후 시간이 흘러 통상적으로 자연환경에서 발견되는 플라스틱 입자는 크기 구분 없이 흔히 알려져 왔다. 그러다가 최근 30여 년간 플라스틱 입자에 의한 환경오염에 관한 다양한 연구는 폭발적으로 증가하게 되었지만, 환경에 버려진 이들 플라스틱 입자를 규제할 법적/사회적 장치가 부족하게 되었다. 특히, 잠재적으로 설명할 수 있는 법적인 규제가 부재하고, 더욱이 미세플라스틱(microplastics)의 크기 기준을 실용적으로 포함하는 포괄적인 정의도 여전히 부족하다 (Verschoor, 2015;

Frias and Nash, 2019; Hartmann et al., 2019).

이 연구에서는 ‘미세플라스틱’을 영문 발음대로 ‘마이크로플라스틱’이라고 서술할 것이다. 그 이유는 크게 두 가지가 있다. 첫째, 앞서 말한 바와 같이 현재 사용되는 미세플라스틱의 정의는 폭넓게 합의된 기준이 아니며, 실제 나노 크기의 플라스틱 입자를 측정하고 동정하는 것도 현재 기술 수준에서는 거의 불가능하기 때문이다. 둘째, μm 수준의 플라스틱 입자의 크기를 가늠케 하여 누구나 쉽게 그 크기를 유추하기가 쉽기 때문이다. 구체적이고 상세한 설명은 후술하기로 한다.

이 연구는 종래의 마이크로플라스틱 정의를 살펴보고, 환경에서 채취된 플라스틱 입자를 측정하는 방법을 고찰한다. 또한, 이 연구는 마이크로플라스틱의 크기에 중점을 둔 새로운 정의를 제안하는데 기여하고자 한다.

2. 마이크로플라스틱의 크기 정의에 관한 연구 흐름

2003년 63~500 μm 크기의 해양 플라스틱 쓰레기를 microlitter라는 용어가 처음 사용되었다 (Hartmann et al., 2019). 그 이후, Thompson et al. (2004)에 의해 마이크로플라스틱(microplastics)이라는 용어를 처음 사용하였다. 이 연구를 통해 해양에 미세하게 작은 플라스틱 조각(직경 약 ~20 μm 내외의 크기)이 축적되는 것을 유럽 해역의 퇴적물에서 발견하였다. 이 연구에서 마이크로플라스틱은 주로 microscopic plastic(s)이라는 용어로 더 많이 언급되었으며 microplastic(s)이라는 용어는 해당 연구논문에서 단지 한번 언급되었다. 이후 다수 연구자들에 의해 microplastics이라는 용어가 점차 확대되어 사용되었다. Arthur et al. (2009)은 마이크로플라스틱에 대한 상한 크기를 5 mm 이하로 작은 플라스틱 입자로 제안하였으며, 여기에는 나노 크기의 플라스틱 입자도 포함하여 제안하게 되었다. 이 연구를 통해 마이크로플라스틱이라는 용어가 더욱 확대되어 사용되었다.

마이크로플라스틱에 대한 정의는 Cole et al. (2011)에 의해 생성된 기원에 따라 1차 마이크로플라스틱과 2차 마이크로플라스틱으로 구분되었다 (Fig. 1). 1차 마이크로플라스틱은 미세한 크기로 이미 생산되었거나 이미 미세한 크기로 존재하는 플라스틱 입자를 말한다. 2차 마이크로플라스틱은 환경에서 잘게 부수어지고(disintegration), 단편화(fragmentation)와 같은 풍화



Micro plastics (small pieces of plastic, less than 5 mm in length)

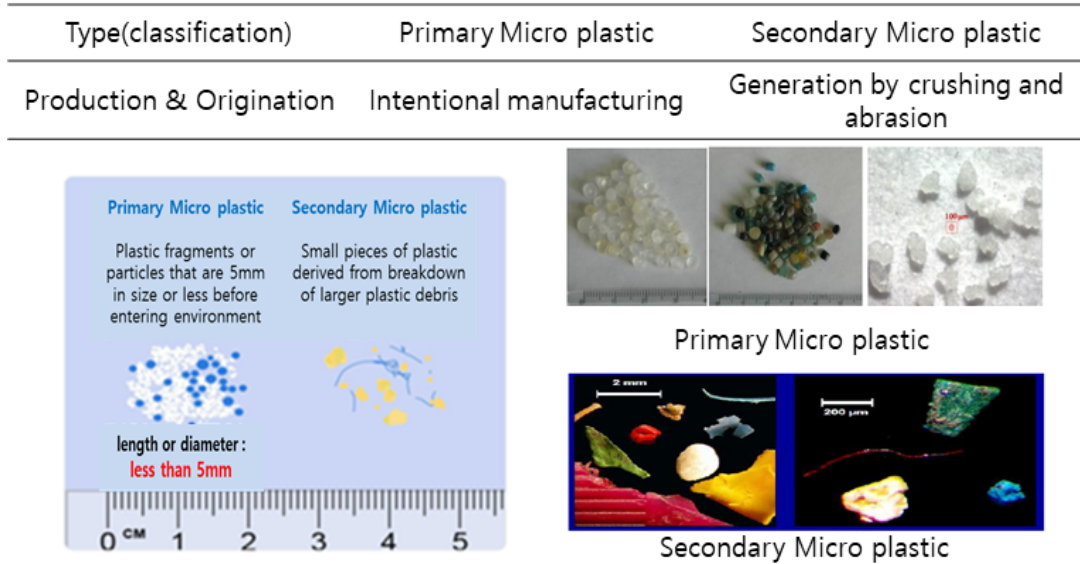


Fig. 1. Definition of microplastics (adapted from Greenpeace, accessed August 10, 2018).

(weathering) 과정을 통해 자연적이거나 인위적으로 생성되는 플라스틱 입자를 말한다. 2015년과 2016년, UN 해양환경전문가그룹(GESAMP, the Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection)은 마이크로플라스틱을 나노 크기 범위의 입자를 포함하는 직경 5 mm 이하의 플라스틱 입자로 정의하도록 권고되고, 그리고 이 마이크로플라스틱의 정의가 전 세계로 퍼져서 현재 흔하게 통용되고 있다.

다른 정의를 살펴보면, 여러 연구자에 의해 마이크로플라스틱의 최대 및 최소 크기 제한을 제안하고 있다. 예를 들면, 제기된 마이크로플라스틱의 크기 하한 한계를 1~20 µm로 설정하거나(De Witte et al., 2014; Ryan, 2015; Van Cauwenberghe et al., 2015), 또는 상한 한계를 500 µm에서 1 mm 또는 5 mm로 설정하기도 한다(Desforgers et al., 2014; De Witte et al., 2014). 이들 몇몇 연구는 마이크로플라스틱 입자의 크기를 독성학적 또는 모니터링 관점에서 1 mm 미만으로 규정하기도 한다(Verschoor, 2015). Frias et al. (2018)은 Arthur et al. (2009)의 상한 크기 5 mm와 Gigault et al. (2018)에 제기된 나노플라스틱 입자의 크기(1 nm~1 µm)를 고려하여 마이크로플라스틱의 크기를 1 µm~5 mm 이내의 범위로 정의하고 있다. 또한, 시료 채취방법, 마이크로플라스틱의 특성과 동정 방법에 기초하여 실제로 적용 가능한 하한 마이크로플라스틱의 크기는 100 µm 내

외 정도로 권고하고 있다(Frias et al., 2018).

이후 입자크기, 화학적 조성 등과 같은 물리-화학적 특성을 고려하는 포괄적인 마이크로플라스틱의 정의를 만들려는 시도가 있었다. 기존 연구를 통해 반영하는 포괄적인 정의가 Verschoor (2015)에 의해 제안되었는데, 여기에서는 마이크로플라스틱을 ‘합성 고체 입자 또는 고분자 매트릭스로 규칙적이거나 불규칙적인 모양과 크기가 5 mm 이하인 물에 불용성인 플라스틱 입자’라고 규정하기도 한다.

3. 마이크로플라스틱 분석방법

마이크로플라스틱의 영향을 더 잘 이해하기 위해서 다양한 연구가 다양한 환경 매체를 대상으로 수행되었다. 여기서 주목해야 할 연구의 핵심주제는 마이크로플라스틱을 측정하려는 표준화된 방법에 관한 것이고 이 주제는 전 세계적으로 관심이 점차 증가하는 실정이다. 가까운 장래에 마이크로플라스틱의 정의(크기, 모양, 유형, 물리-화학적 특성 등)에 관한 보다 명확한 합의가 이루어진다면 아마도 마이크로플라스틱을 표준화된 방법으로 측정하려는 과학적 합의가 수반될 것으로 예상된다.

마이크로플라스틱을 측정하기 위해 종래에 수행된 마이크로플라스틱의 분석은 크게 3가지 절차를 통해 수행된다(Fig. 2). 첫 번째 마이크로플라스틱 측정 절차

pp. 413-420

pp. 421-428

pp. 429-436

pp. 437-446

pp. 447-456

pp. 457-467

pp. 469-480

pp. 481-489

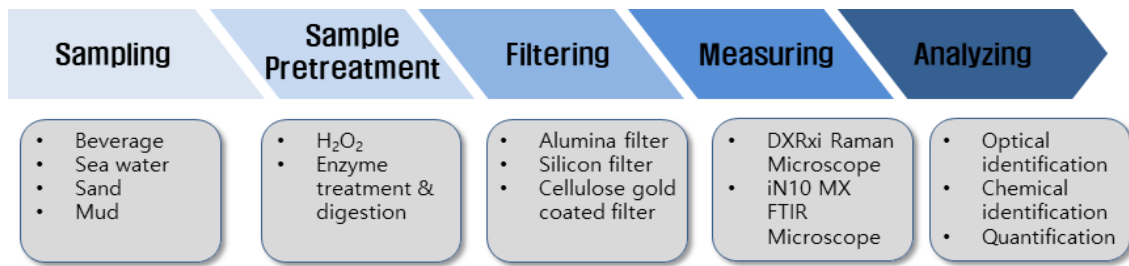


Fig. 2. Schematic diagram in analytical procedures for microplastics.

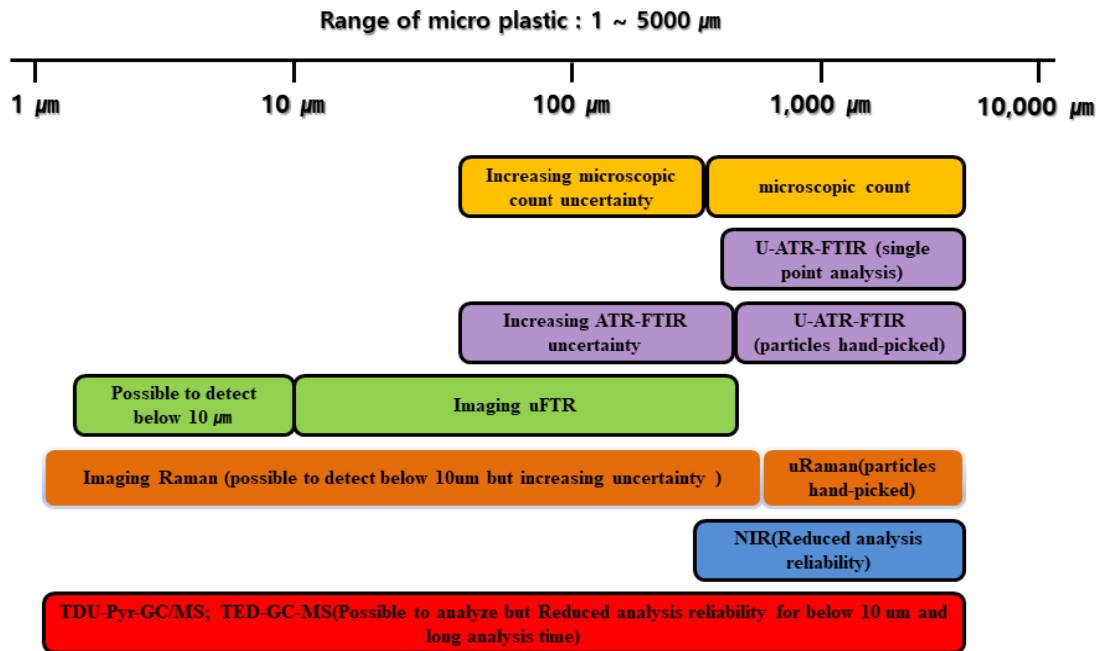


Fig. 3. Schematic diagram in analytical procedures for microplastics.

차는 시료 채취(sampling)로, 환경 내 매체 종류에 따라 사용되는 시료 채취 도구가 다르다. 예를 들면, 해수는 주로 망(neuston net/manta trawl/Bongo net/Avani trawl : 주로 100~330 μm)을 사용하였고(Gago et al., 2019), 마이크로플라스틱의 크기에 따른 분포를 측정하려면 다양한 씨브(sieve)를 사용하기도 한다 (Hidalgo-Ruz et al., 2012). 또한, 모래나 저니와 같은 퇴적물 매체에서 마이크로플라스틱 입자의 시료 채취는 벌크(bulk) 형태로 이루어지는데, 이때 사용되는 도구는 삽(shovel or spade)이나 그랩 혹은 코어 시료 채취기(grab or core sampler)를 사용하기도 한다 (Frias et al., 2018).

두 번째 마이크로플라스틱 측정 절차는 채취된 마이크로플라스틱의 전처리 절차이다. 이 절차에서는 환경 매체로부터 마이크로플라스틱을 분리(separation)하기

위한 절차가 주로 사용된다. 마이크로플라스틱 입자를 분리하는 방법은 유기물 제거(removal of organic matters), 밀도차에 의한 분리(density separation), 여과(filtration) 등이 있다 (Frias et al., 2018; Gago et al., 2019).

세 번째 마이크로플라스틱 측정 절차는 전처리 절차를 마친 플라스틱 시료를 물리-화학적으로 동정하고 분류하는 과정이다. 이 절차는 마이크로플라스틱의 동정(identification), 크기(size), 색(color), 형태(type), 화학적 성분 분석(chemical analysis)을 주로 포함하게 된다. 마이크로플라스틱의 동정은 fourier transformed infrared spectroscopy(FTIR), micro-FTIR(μ-FTIR), attenuated total reflection FTIR(ATR-FTIR), Raman spectroscopy (Raman), micro-Raman(μ-Raman), Pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry(Py-GCMS) 등을 통해 주로 이루어지고, 이



들 분석기 중에서 20 μm 이상의 마이크로플라스틱은 FTIR이 주로 이용되고 있으며 1~20 μm 마이크로플라스틱은 Raman spectroscopy(Raman)가 주로 사용되고 있다 (Hanke, 2013; Frias et al., 2018, 2019). 마이크로 플라스틱의 크기에 따른 분석방법 및 단점을 정리하면 그림 3과 같다 (Hanke, 2013). 현재의 미세플라스틱 분석 기술 동향은 광학센싱 기법을 통한 다양한 미세플라스틱의 정성분석 가능성이 발표되고 있으나 정확한 재질분석은 그 기술평가가 필요한 단계이며 입자 크기에 대한 샘플 분석의 한계와 장비의 고가로 인한 모니터링 진입장벽이 높은 실정이다. 이에 대한 한계점을 넘기 위해서는 넓은 광학범위를 수용할 수 있는 저가의 광원 연구가 필요하다.

앞서 언급된 Py-GCMS는 마이크로플라스틱의 입자를 세는 것이 아닌 질량분석을 통해 마이크로플라스틱 입자의 종류를 동정하는 보완적 분석 도구로 활용될 수 있다.

4. 결과 및 고찰

지금까지 수행된 연구 결과를 종합해 보면, 포괄할 정도로 광범위한 '마이크로플라스틱' 정의에 대한 명확한 합의는 여전히 없어서 필요한 기준을 설정해야 한다. 이 기준 설정 과정은 몇 가지 방법론적 과제, UN 회의, 학술대회, 세미나 등의 검토를 통해 일반적으로 이루어져 오고 있다 (Frias and Nash, 2019; Hartmann et al., 2019). 덧붙여, 마이크로플라스틱과 같은 형태의 마이크로비드(microbead)의 사용 금지를 미국 캘리포니아주, 영국, 캐나다, 뉴질랜드 등 여러 국가에서 도입되었다 (Frias and Nash, 2019). 또한, 아일랜드, 이탈리아, 인도, 대만, 한국 등 여러 국가에서 마이크로플라스틱에 관한 규제법안을 추진 중인 국가도 있다. 그래서 마이크로플라스틱에 대한 법적인 규제를 하려면 사회적 합의를 통해 과학적인 근거를 제시해야 한다.

마이크로플라스틱이 처음 소개되었을 때, 가능한 모든 사항을 고려하여 설정하지 못할 수 있다. 크기뿐만 아니라 용해도와 같은 물리·화학적 특성 또는 화학 성분도 고려되지 못했다 (Wright et al., 2013; Verschoor, 2015). 현재까지 가장 많이 사용되는 마이크로플라스틱의 정의는 상술한 바와 같이 Arthur et al. (2009)에 의한 5 mm 이하이다. 이 설정 기준은 생물학

적으로 섭취가 쉬울 것으로 여겨져 정해진 것으로, 위장관의 물리적 막힘 이외에 플라스틱 쓰레기(plastic litter)라는 가능한 생태학적 효과를 고려한 선택이었다 (Verschoor, 2015).

전 세계적으로 수행된 마이크로플라스틱의 모니터링 결과를 비교할 수 있고 상호 평가도 가능하게 마이크로플라스틱의 크기를 일정한 범주로 나누어서 마이크로플라스틱을 정의하기도 한다 (Hanke, 2013; Frias and Nash, 2019). 이 크기의 설정 문제에 대해 하나의 권장 사항으로 앞으로는 세 가지 크기의 마이크로플라스틱 데이터를 보고하는 것이다. 즉, 현재 시료 채취 및 분석방법을 반영하는 분류와 유사하게 마이크로플라스틱의 크기 정의를 1) $1 \leq 100 \mu\text{m}$; 2) $100 \leq 350 \mu\text{m}$; 3) $350 \mu\text{m} \sim \leq 5\text{mm}$ 로 나눈다. 이를 통해 다양한 연구자들에 의해 수행된 모니터링 결과를 쉽게 비교/평가할 수 있다 (Frias and Nash, 2019).

또한, 환경 매체별 모니터링 가능한 마이크로플라스틱의 크기 기준을 개별적으로 설정하는 것도 하나의 방법일 수 있다. 예를 들면, 지표수에서 마이크로플라스틱을 모니터링하면, 100~300 μm 크기로 설정할 수도 있다 (Frias and Hash, 2019).

상술한 바와 같이 Arthur et al. (2009)에 의한 5 mm 이하를 흔히 마이크로플라스틱으로 정의하여 나노플라스틱(nanoplastics)도 포함하고 있다. Gigault et al. (2018)에 따르면, 나노 플라스틱을 플라스틱의 조각화(또는 미세화)로 인한 생성되는 입자로 1 nm~1 μm 범위이며, 이들 입자는 마치 콜로이드 입자처럼 거동하는 것으로 정의한다. 과학적 증거는 없으나 일반적으로 나노물질의 크기 상한값을 100 nm로 규정하고 있다 (Hartmann et al., 2019). 그래서 나노물질과의 중복을 피하기 위해서라도 마이크로플라스틱의 크기 정의를 보다 분명하게 설정할 필요가 있다.

현재까지 논의된 다양한 마이크로플라스틱의 정의를 고려하여 보면, 마이크로플라스틱의 크기는 하한 크기 수십 혹은 수백 μm 로 정의하는 것이 타당해 보인다. 그 이유는 마이크로플라스틱의 모니터링을 위한 현재 분석기술의 수준을 고려해야 하기 때문이다. 즉, 종래에 진행되었거나 진행 중인 시료 채취 도구와 플라스틱의 종류를 동정 가능한 분석기술의 현실을 고려해야 한다. 현재 해수와 같은 물에서 시료 채취는 주로 일정한 크기의 망($\geq 100 \mu\text{m}$)을 이용하는 점과 마이크로플라스틱의 종류를 동정하기 위한 분석기기

pp. 413-420

pp. 421-428

pp. 429-436

pp. 437-446

pp. 447-456

pp. 457-467

pp. 469-480

pp. 481-489

상 마이크로플라스틱의 크기가 적어도 20 μm 이상이어야 실제 측정이 가능한 것으로 알려져 있다. 예를 들면, 관찰 가능한 플라스틱 입자의 크기가 처리의 기술적 한계, 즉 $\mu\text{-FTIR}$ 의 측정 가능한 크기 범위는 20~100 μm 이다 (Frias et al., 2018). 아마도 마이크로플라스틱의 식별을 통해 마이크로플라스틱의 최소 크기 범위의 제한이 1~20 μm 로 보여진다. 그래서 인간과 환경에 미치는 마이크로플라스틱의 배출(량) 혹은 그 영향을 평가하고 절감하기 위한 마이크로플라스틱의 크기 기준은 매우 중요하게 된다.

명확하고 구체적이며 실행 가능한 마이크로플라스틱의 크기 기준은 법적인 마이크로플라스틱의 환경적 영향을 평가하는데 핵심적인 관점이 될 수 있다. 게다가 이 기준이 있어야 산업체의 자발적으로 또는 행정당국의 마이크로플라스틱의 환경오염도를 평가하기 위한 일관성 있는 모니터링도 가능하며 행정 정책적 효과를 평가하는데 공헌할 수 있다.

마이크로플라스틱 정의와 관련된 다른 이슈는 마이크로플라스틱의 유형(type), 모양(shape), 색(color)이다 (Frias and Nash, 2018; Hartmann et al., 2019). 가장 일반적으로 보고되는 마이크로플라스틱 유형은 알갱이(pellet), 단편(fragment), 섬유(fibres), 필름, 필라멘트(filament), 스펀지, 폼(form) 등으로 분류하며, 모양은 원추, 디스크, 원 또는 타원, 구형, 부정형 등으로 나누기도 한다. 하지만 위에서 언급된 마이크로플라스틱의 유형과 모양 분류는 국가마다 다른 용어를 사용한다. 또한, 마이크로플라스틱의 색은 색의 차별화가 주관적이고 색을 이용한 마이크로플라스틱을 동정하는 것도 불가능하다. 색은 마이크로플라스틱을 구별할 수 없어서 중요하지 않을 수 있다 (Lusher et al., 2017). 하지만 마이크로플라스틱의 색을 기록하는 것이 필요할 수 있다. 예를 들면, 수생 생물에 관한 연구에서 어떤 생물 종이 색상에 따라 잠재적으로 마이크로플라스틱을 섭취하는 것으로 보고된다 (Frias et al., 2018).

끝으로, 가장 최근에 발표된 플라스틱 쓰레기를 정의(definition)하고 분류(categorization)하는 체계를 개발하기 위한 원칙, 가정, 및 고지 사항은 다음과 같다 (Hartmann et al., 2019).

- (1) 정의/분류 체계는 끊임없이 진화함에 따라 현재의 방법론 및 분석 능력에 얽매이지 말아야 한다.
- (2) 정의/분류 체계는 크기 이외의 특성이 플라스틱

쓰레기로 인한 문제에 영향을 미치지 때문에 플라스틱의 크기를 유일한 기준으로 제한하지 말아야 한다.

(3) 정의는 재료가 플라스틱 인지 여부를 결정하기 위해 재료의 물리적 및 화학적 특성을 사용하는 과학적 기준에 기초할 수 있다.

(4) 플라스틱 물체를 분류하는 데 필요한 생물학적 관련 특성이 잘 이해되지 않았기 때문에 간혹 플라스틱 분류는 완전히 과학에 기초 될 수 없다.

(5) 따라서, 어떤 분류는 어느 정도까지는 임의적이며 합의로 형성되고 실용적인 관점에 따른 관례에 기초해야 한다.

(6) 그러므로, 제안된 정의/분류 체계는 공통 용어를 구축하려는 합의를 촉진하는 것을 목표로 하는 권고안이 된다.

(7) 학계에서의 합의 구축은 일회성 결정이 아니라 역동적인 과정이다. 그래서 제안된 체계는 비판과 수정의 대상이 돼야 한다.

(8) 기존에 있는 정의나 또 다른 정의/분류 체계의 존재와 상관없이, 과학 데이터는 가장 광범위하게 다양한 방식으로 항상 보고되어야 한다. 다시 말하자면, 과학의 최신 상태에 따라 항상 보고되어야 한다.

(9) 분해 가능한 물질은 광물화되기 전에 더 작은 조각을 형성할 것이기 때문에, 어떤 물질이 분해 가능성이나 분해 상태에 따라 정의/분류 체계에서 배제되지 않는다.

(10) 플라스틱 오염에 대한 기본 지식을 생산하는 커뮤니티에서 공통 용어가 형성되어야 하기에, 이 체계의 주요한 관중은 연구자들.

위에서 언급된 체계는 정책 입안자와 규제 커뮤니티의 출발점 역할을 할 수 있다.

5. 결 론

환경에서 플라스틱의 존재는 매우 심각한 걱정거리이다. 오랫동안 플라스틱에 관한 연구가 수행되었으나, 여전히 마이크로플라스틱에 대한 합의된 정의가 부족하여 불분명한 의사소통과 불완전한 자료를 생성하였다. 특히, 현시점에 마이크로플라스틱의 배출량을 줄이기 위한 법적이고 행정적인 조치들이 필요하다. 이런 조치들을 취하기 전에, 마이크로플라스틱의 분명한 정의가 가장 우선해서 설정되어야 한다. 이 연구

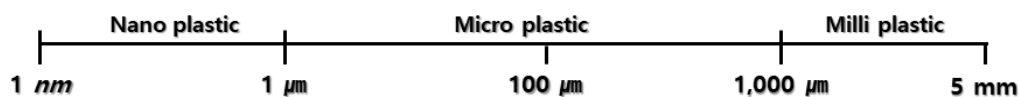


Fig. 4. Redefinition of microplastics.

는 마이크로플라스틱을 식별하는 방법을 살펴보고 동시에 그 크기에 중점을 둔 새로운 정의를 제안하도록 유도하는 것으로, 다시 말하자면 마이크로플라스틱의 정의에 관해 과학적 합의를 국내적으로 활성화하는데 이바지하는 것이다. 현재의 마이크로플라스틱 분석기술의 수준을 고려하고 마이크로플라스틱의 크기에 중점을 둔다면, 미세플라스틱의 크기가 미루어 짐작이 가능한 마이크로미터(μm) 크기인 마이크로플라스틱으로 설정하듯이 플라스틱 입자의 크기에 따라 나노/마이크로/밀리미터 플라스틱(Fig. 4)으로 정의하는 것이 합당할 것으로 생각된다. 이 연구가 지속적인 국내 토론을 통해 마이크로플라스틱 정의에 대한 합의에 도달하기 위해 앞으로 추가적인 기술 발전이 필요하다.

References

- American Chemical Society(ACS). (1993). *The Bakelizer*. National Historic Chemical Landmarks, Washington, D.C.
- Arthur, C., Baker, J.E., and Bamford, H.A. (2009). "Effects, and fate of microplastic marine debris", *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence*, 9-11 September, 2008, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA.
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C. and Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 364, 1985-1998.
- Bergmann, M., Gutow, L. and Klages, M. (2015). *Marine anthropogenic litter*.
- Besseling, E., Wang, B., Lüring, M. and Koelmans, A.A. (2014). Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*, *Environ. Sci. Technol.*, 48, 12336-12343.
- Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E.M., van den Heuvel-Greve, M.J. and Koelmans, A.A. (2013). Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *arenicola marina* (L.), *Environ. Sci. Technol.*, 47, 593-600.
- Brito, P., de Stigter, H.C., Costa, A.M., Mil-Homens, M. and Richter, T.O. (2012). Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments, *Mar. Drug.*, 10(8), 1812-1851.
- Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway T.S. and Thompson, R.C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *mytilus edulis* (L.), *Environ. Sci. Technol.*, 42, 5026-5031.
- Carpenter, E.J. and Smith, K.L. (1972). Plastics on the Sargasso sea surface, *Sci.*, 175, 1240-1241.
- Cole, M., Lindeque, P. Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J. and Galloway, T.S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton, *Environ. Sci. Technol.*, 47, 6646-6655.
- 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.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C. and Galloway, T.S. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *calanus helgolandicus*, *Environ. Sci. Technol.*, 49, 1130-1137.
- Dekiff, J.H., Remy, D., Klasmeier, J. and Fries, E. (2014). Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney, *Environ. Pollut.*, 186, 248-256.
- Desforges, J.W., Galbraith, M., Dangerfield, N. and Ross, P.S. (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean, *Mar. Pollut. Bull.*, 79(1-2), 94-99.
- De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermersch, G., Cooreman, K. and Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): comparison between commercial and wild types, *Mar. Pollut. Bull.*, 85(1), 146-155.
- Frias, J. and Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition, *Mar. Pollut. Bull.*, 138, 145-147.
- Gago, J., Filgueiras, A., Pedrotti, M.L., Caetano, M. and Frias, J. (2019). Standardised protocol for monitoring microplastics in seawater, Deliverable 4.1.
- Gigault, J., ter Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P-Y., Gaffre, F., Phi, T-L., Hadri, H.E., Grassl, B. and Reynaud, S. (2018). Current opinion: what is a nanoplastic?, *Environ. Pollut.*, 235, 1030-1034.
- Goldstein, M.C. and Goodwin, D.S. (2013). Gooseneck barnacles

- (Lepas spp.) ingest microplastic debris in the North Pacific subtropical gyre, *J. Life Environ. Sci.*, 1(e184).
- Hartmann, N.B., Huffer, T., Thompson, R.C., Hasselov, M., Verschoor, A., Dagaard, A.E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M.P., Hess, M.C., Ivleva, N.P., Lusher, A.L. and Wagner, M. (2019). Are we speaking the same language? recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris, *Environ. Sci. Technol.*, 53(3), 1039-1047.
- Hanke, G. (2013). Guidance on monitoring of marine litter in European seas. A guidance document within the common implementation strategy for the marine strategy framework directive, J.R.C. MSDF Technical Subgroup on Marine Litter, Report no. EUR 26113 EN, 128.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C. and Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification, *Environ. Sci. Technol.*, 46, 3060-3075.
- Kaposi, K.L., Mos, B., Kelaher, B.P. and Dworjanyn, S.A., (2014). Ingestion of microplastic has limited impact on a marine larva, *Environ. Sci. Technol.*, 48, 1638-1645.
- Kwon, B.G., Koizumi, K., Chung, S.Y., Kadera, Y., Kim, J.O. and Saido, K. (2015). Global styrene oligomers monitoring as new chemical contamination from polystyrene plastic marine pollution, *J. Hazard. Mater.*, 300, 359-367.
- Lambert, S. (2018). In *Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants?*, 1-23.
- Lusher, A.L., M. McHugh and Thompson, R.C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel, *Mar. Pollut. Bull.*, 67, 94-99.
- Lusher, A.L., Welden, N.A., Sobral, P. and Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates, *Anal. Methods*, 9, 1346.
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H. and Kanehiro, H. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment, *Environ. Sci. Technol.*, 35, 318-324.
- Rochman, C.M. (2018). Microplastics research—from sink to source, *Science*, 360(6384), 28-29.
- Ryan, P.G. (2015). A brief history of marine litter research *Marine anthropogenic litter*, Springer, Cham., 1-25.
- Setälä, O., V. Fleming-Lehtinen and Lehtiniemi M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web, *Environ. Pollut.*, 185(0), 77-83.
- Thompson, R.C., Olson, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D. and Russel, A.E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?, *Sci.*, 304(5672), 838.
- Thompson R.C., Moore, C.J., Saal, F.S. and Swan, S.H. (2009). *Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends*, *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 1, 1-14.
- UNEP. (2009). *Marine litter: A global challenge*. United Nations Environment Programme, Nairobi, 234.
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J. and Janssen, C.R. (2013). Microplastic pollution in deep-sea sediments, *Environ. Pollut.*, 182, 495-499.
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins, J. and Janssen, C.R. (2015). Microplastics in sediments: a review of techniques, occurrence and effects, *Mar. Environ. Res.*, 111, 5-17.
- Verschoor, A.J. (2015). Towards a definition of microplastics: Considerations for the specification of physico-chemical properties.
- Wagner, M., Lambert, S., et al., (2018). *Freshwater Microplastics - Emerging*
- Zeng, E.Y. (2018). *Microplastic Contamination in Aquatic Environments: An Emerging Matter of Environmental Urgency*.