

## 세탁 중 세탁물 중량과 여과 기공 크기에 따른 미세플라스틱 분석

최솔아 · 권미연\* · 박명자\*\*† · 김주혜\*\*\*††

한양대학교 의류학과 한국생산기술연구원 휴먼융합연구부문 석사 ·  
한국생산기술연구원 휴먼융합연구부문 연구원\* · 한양대학교 의류학과 휴먼테크융합전공 교수\*\*† ·  
한국생산기술연구원 휴먼융합연구부문 수석연구원\*\*\*††

### Analysis of microplastics released from textiles according to filter pore size and fabric weight during washing

Sola Choi · MiYeon Kwon\* · Myung-Ja Park\*\*† · Juhea Kim\*\*\*††

Master's Degree, Dept. of Clothing & Textiles and Human Convergence Technology R&D Department, Hanyang University and Korea Institute of Industrial Technology · Researcher, Dept. of Human Convergence Technology R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology\* · Professor, Human-Tech Convergence Program, Dept. of Clothing & Textiles, Hanyang University\*\*† · Principal Researcher, Dept. of Human Convergence Technology R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology\*\*\*††

(2020. 12. 31 접수; 2021. 2. 8 수정; 2021. 2. 15 채택)

### Abstract

This study observed the release of microplastics according to washing weights and filtering conditions, measured microplastic generation rates, fiber lengths, and fiber diameters. This study attempted to present data for the development of filters that decrease microplastic generation. For test samples, polyester piled knit fabric (cut-pile) was selected, which currently has the highest amount of consumption in the clothing industry, but can easily cause marine pollution because of its low biodegradability. For test equipment, a drum washer was used and microplastics were collected using two filter pore sizes, 5  $\mu\text{m}$  and 20-25  $\mu\text{m}$ . Microplastic fibers weights and lengths were measured. The results of the experiment showed the following: 1) The release of microplastics differed according to the fabric weights and washing process; 2) washing fabric weights showed a differences in the collection amount according to the filter pore size (5  $\mu\text{m}$ , 20-25  $\mu\text{m}$ ); 3) observations of differences in the lengths of the microplastics that occur during the washing process by filter pore size were made. Fibers with shorter lengths appeared with filter pore sizes of 5 $\mu\text{m}$  in comparison to filter pore sizes of 20-25  $\mu\text{m}$ . The results from this study on microplastic generation by fabric during washing, demonstrated the following conclusions that can be used to reduce the release of microplastics. First, the release of microplastics according to fabric weights and washing courses are affected by physical force. Therefore, it is necessary to reduce the amount of physical force due to water flow, increase the fabric weight, or wash the material in low temperatures. Second, in the manufacturing of washing machines, microplastic filtration can be promoted or legislation supporting microplastic filtration can be introduced.

*Key Words:* microplastic(미세플라스틱), washing fabric weight(세탁물 중량), filter pore size(여과 기공 크기), piled knit fabric(파일편성물)

† Corresponding author ; Myung-Ja Park  
Tel. +82-2-2220-1192  
E-mail : mjapark@hanyang.ac.kr

†† Corresponding author ; Juhea Kim  
Tel. +82-31-3040-6221  
E-mail : juheakim@kitech.re.kr

\* 본 논문은 석사학위논문의 일부임.

\*\* 본 논문/특허 등(성과물)은 2020년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 창의형 융합 연구 사업(No. CAP-20-02-KITOX)의 지원을 받아 수행된 연구임.

\*\*\* This work was supported by the National Research Council of Science & Technology (NST) grant by the Korea government (MSTI) (No. CAP-20-02-KITOX).

## I. 서론

플라스틱 사용량의 증가와 함께 약 302백만 톤의 플라스틱 폐기물이 발생한 것으로 추정되었으며(Park, 2018), 플라스틱 제품이 다양한 경로로 조각나 미세화 되어 1 nm 이상 5 mm 미만의 크기를 가진 미세플라스틱의 형태로 해양오염의 원인이 되고 있다. 미세플라스틱은 농업 및 원예(비료 및 식물 보호 제품), 화장품, 세제와 섬유유연제 및 유지 관리 제품, 코팅 및 잉크, 건설 등 여러 분야에서 크기와 종류가 다양하고(European Chemicals Agency, 2019), 센 강에서 상당한 양의 섬유가 발견되고 진해군 하수처리장 방류수에서 26% 섬유 형태의 미세플라스틱 검출 결과가 나타나면서 섬유 형태의 미세플라스틱에 대한 관심이 집중되었다(Dris et al., 2015; Korea Institute of Ocean Science & Technology, 2015).

미세플라스틱의 길이가 3 nm-15 mm이며 길이 대 직경 비율이 3을 초과하는 경우 미세플라스틱 섬유로 정의되고 있는데, 단 화학적으로 변형되지 않는 천연 성분의 폴리머와 생분해성 폴리머는 미세플라스틱에서 제외되었다. 섬유 형태 미세플라스틱은 미생물의 체내에 흡수될 경우 미생물의 장을 휘감아 섭식 장애를 일으키고 성장 및 번식에 장애를 입힐 위험성이 제기되고 있다(Jemec et al., 2016). 따라서 미세플라스틱 섬유의 채집 및 저감을 위하여 가정 세탁 시 발생하는 미세플라스틱 섬유에 대한 연구가 필요하다.

세탁 배출원으로부터 미세플라스틱 발생을 직접 추정하는 연구는 Browne et al., (2011)의 연구에서 처음으로 시도되었다. 세탁 중 미세플라스틱 발생량에 대한 연구는 Folkö(2015)의 연구에서 시작하여 현재까지 정량화를 위한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 선행연구에서는 시험편으로 의류 제품 형태로 실험하거나, 기계적인 힘이 실제 세탁과 다른 룬터오미터에서 실험되었으므로(Almroth et al., 2018; De Falco et al., 2018; Cai et al., 2020), 실제 가정용 세탁기로부터 발생하는 미세플라스틱의 연구는 미흡한 실정이다.

세탁과 관련된 연구 중 세척성에 영향을 주는 요인은 크게 기계적인 요인과 화학적인 요인으로 분류된다. 미세플라스틱 발생량과 관련하여 화학

적 요인으로 세제의 사용여부와 기계적인 요인으로 반복세탁 횟수가 연구되고 있다(Napper & Thompson, 2016; Almroth et al., 2018; De Falco et al., 2018). 그러나 세탁조건은 다양하므로, 미세플라스틱 저감을 위하여 세탁 중 발생할 수 있는 다양한 요인에 대한 연구가 요구된다.

화학적 작용(세제)과, 기계적 작용(세탁물의 종류와 양, 시간, 온도 등)에 관련한 세척성 실험 연구에서 직물의 집합적인 거동보다 개별적인 거동에서 세척성에 더 큰 영향을 미친다는 결과가 나타났다(Cho et al., 2017). 세척성 실험은 기질로부터 오구의 제거 및 이탈에 영향을 미치는 요인에 대한 연구를 의미 하지만 오구의 제거는 원단으로부터 섬유의 이탈을 유발할 수 있어 Cho et al. (2017)의 연구 결과는 세탁물 중량에 따른 미세플라스틱 발생량과도 연관이 있음을 시사한다.

한편, 발생된 미세플라스틱의 분석을 위해서는 우선 미세플라스틱을 채집해야 한다. 일반적으로 해수 층에 잔류하는 미세플라스틱을 채집하기 위하여 동물플랑크톤 채집용 trawl net(mesh size=300  $\mu$ m)를 사용하고 trawl net를 통과하는 <300  $\mu$ m의 미세플라스틱을 채집하기 위한 식물플랑크톤 채집용 hand net(mesh size=20  $\mu$ m)를 사용하는 방법이 정립되어 있다(Chae et al., 2014). 세탁 후 미세플라스틱 채집을 위하여 Hartline et al. (2016)의 연구에서는 해양생태계에서 미세플라스틱 채집방식과 동일한 방식의 채집방법을 사용하였으나 다른 선행연구에서는 섬유 채집을 위해 사용된 여과지 기공 크기는 연구에 따라 다르게 나타났다.

세탁 폐수 중 미세플라스틱의 채집은 세탁 폐수를 모은 후 연동펌프를 사용하여 여과지에 여과하거나 배수구에 필터를 부착하여 여과하는 방식으로 채집되었다. 세탁 배수구에서 직접 채집하는 방식은 세탁 중 폐수를 바로 여과하여 외부의 오염을 최소화 할 수 있지만 여과지 기공 크기가 작을 경우 섬유가 막혀 배수가 어려워지고 배수되는 용수의 힘에 의해 여과지가 찢기거나 파손될 수 있기 때문에 비교적 큰 기공크기(25  $\mu$ m, 50  $\mu$ m)의 여과지를 사용하였다(Napper & Thompson, 2016; Gkirini, 2019). 폐수를 모은 후 미세플라스틱을 채집한 경우, 주로 룬터오미터 세탁기를 사용하였고 가정용 세탁기에 비해 여과 용수량이 적어 최소 0.45  $\mu$ m 부터 최대 5  $\mu$ m 까지 작은 기공

크기의 여과지가 사용되었다(Hernandez et al., 2017; De Falco et al., 2018). 한편, 큰 용량의 전기세탁기에서 폐수를 따로 모은 후 채집한 경우 10 μm 이상의 여과지를 사용하였으나 전체 용수 중 일부만을 여과하여 총 미세플라스틱 발생량을 추정하기 어렵다(McIlwraith et al., 2019).

바다표면의 물 샘플에서 발견된 미세플라스틱의 집중에 합성섬유 생산과정에서 발생된 양과 관련이 있다는 연구가 나타나고 섬유 형태로 인한 미세플라스틱의 위험성이 제기되면서 세탁 과정에서 미세플라스틱 방출에 대한 연구가 진행되고 있다. 세탁 중 발생할 수 있는 미세플라스틱 저감을 위하여 다양한 세탁 요인에 대한 연구가 진행되고 있으나 기계적 세탁 요인으로 인한 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 세탁 중 발생한 미세플라스틱 섬유 형태의 특이성으로 미세플라스틱 수집을 위한 필터 선택에 어려움이 있으며, 섬유 형태를 고려한 미세플라스틱 필터 선택이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 세탁물 중량을 달리하는 세탁방법과 여과지 기공 크기를 달리하는 여과방법에 따라 세탁 중에 미세플라스틱 발생량과 미세섬유 형태를 분석하여, 미세플라스틱 발생이 적은 세탁방법을 제안하고 세탁과 관련한 미세플라

스틱 실험에서 표준 세탁 방법을 정립하는데 기여하고자 한다. 또한, 미세플라스틱 섬유 형태의 결과와 여과방법에 따른 미세플라스틱 발생량을 분석하여, 가정용 세탁기 개발 시에 효과적인 필터 선택을 위한 기초자료로 제시하고, 미세플라스틱 방출의 저감을 위한 필터 개발에 도움이 되고자 한다.

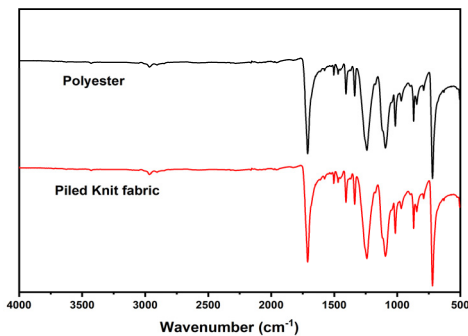
## II. 실험

### 1. 시료

시료는 가장 많이 사용되는 합성섬유인 폴리에스터로 제작된 터프트 파일핀(cut-pile)을 사용하였다. 시험편의 크기는 100 g 무게에 맞추어 시험편의 크기를 준비하였으며, 시험별 시험편의 개수를 추가하여 세탁물의 무게(200 g, 500 g, 1000 g, 2000 g)로 사용하였다. 시료가 절단된 부분에서 실이 빠지는 것을 방지하기 위하여 시료의 끝 부분을 흰색 폴리에스터 원사를 사용하여 오버로크 처리 하였다. 시험편의 평량을 KS K 0514(작은 시험편법)에 따라 측정하였으며, 시험편의 크기

〈Table 1〉 Characteristics of specimen

Specimen	Fabric weight (g/m <sup>2</sup> )	Fabric size (mm/100g)	Fabric thickness (mm)	Fiber diameter (μm)
Polyester Piled Knit (cut-pile)	298	500 × 600	0.66	8.87



(a) Fourier Transform Infrared Spectra



(b) Digital Microscope image of based fabric (×60)



(c) Digital Microscope image of pile fiber (×60)

〈Fig. 1〉 Analysis of specimen

및 평량을 <Table 1>에 나타내었다. 또한 시험편의 화학적 조성 및 편성구조를 확인하기 위하여 적외선 분광분석법(FTIR)으로 폴리에스터와 동일한 피크를 나타내는 것을 확인하였으며, 섬유성분을 검증하였으며, 디지털 현미경(Dino-Lite Digital Microscope, AM7915MZT, 정밀도  $\times 60$ 배율)을 사용하여 직물 구조 및 원사 형태를 확인하였다 (Fig. 1).

## 2. 세탁

세탁방법에 따른 미세플라스틱 발생량을 알아보기 위하여 세탁 중량을 200 g, 500 g, 1000 g, 2000 g 으로 달리하여 세탁하였다. 세탁기기는 가정용 세탁에 사용되고 있는 9 kg 용량의 드럼식 세탁기(F9WK, LG electronics)를 사용하였다. 세탁은 세탁 부하 직물(dummy load) 없이 표준코스로 진행하였고 세탁 온도와 시간은 세탁 과정별 세탁코스  $40\pm 2^\circ\text{C}$ , 행굼코스  $20\pm 2^\circ\text{C}$ 에서 세탁 40분, 행굼1 10분, 행굼2 10분, 행굼3 20분으로 총 1시간 20분 동안 하였다. 세탁용수는 수돗물을 사용하였으며 세제는 사용하지 않았다. 실험 세탁이 끝난 후 세탁기기에 미세플라스틱 잔여물이나 다른 오염물이 남지 않도록 직물 없이 3회 공세탁하였으며, 같은 실험을 2회 씩 반복하였다.

## 3. 미세플라스틱의 수집

섬유 직경이 작고 길이가 긴 미세플라스틱 섬유의 특이성이 미세플라스틱의 채집에 미치는 영향을 알아보기 위하여 섬유 직경보다 크기가 작은  $5\ \mu\text{m}$  여과지(지름 185 mm)와 기공 크기가 큰  $20\text{-}25\ \mu\text{m}$  여과지(지름 185 mm)를 사용하여 여과하였다. 세탁 중 버려지는 폐용수를 세탁과정별로 20 L 용기에 받아 보관한 후 섬유가 뭉쳐지거나 벽에 달라붙지 않도록 용수를 고르게 잘 저어준 뒤 정량여과지( $5\ \mu\text{m}$ ,  $20\text{-}25\ \mu\text{m}$ )에 여과하였다.

5 L 삼각플라스크에 부흐너 깔때기를 조합한 후 깔때기 위에 여과지를 올려놓은 뒤 삼각플라스크에 진공 펌프를 연결하여 압력을 주어 여과 속도를 촉진하였다. 20 L 용기에 보관되어 있던 세탁 중 폐용수는 수동식 이동 펌프를 이용하여

여과지에 여과하였으며, 용수를 모두 여과한 후 용기에 남아있는 잔여 섬유를 모두 제거하기 위하여 1 L의 수돗물로 20 L 용기를 행군 후 행군 물도 함께 여과하였다. 사용한 삼각 플라스크와 부흐너 깔때기 및 수동식 이동펌프는 다음 실험 전 각각 6 L의 수돗물을 사용하여 세척하였다.

## 4. 미세플라스틱의 측정

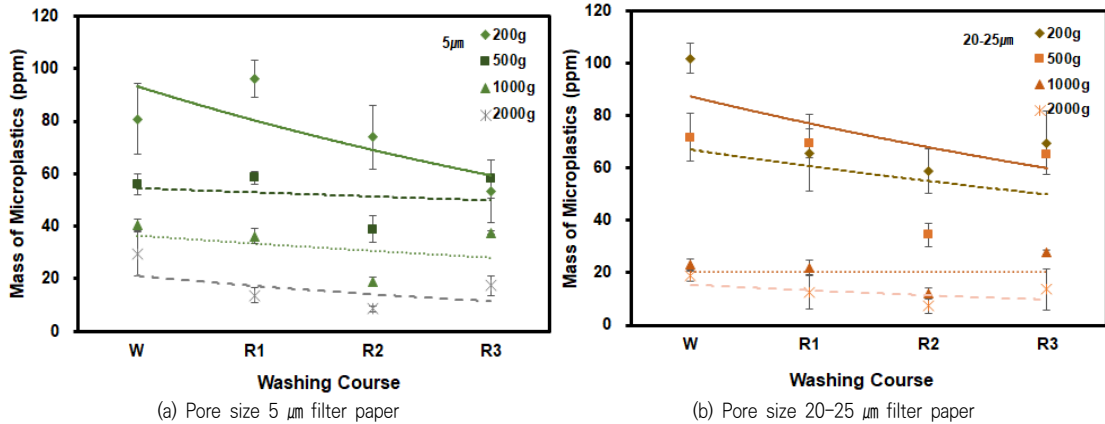
채집된 미세플라스틱의 측정은 무게, 길이, 직경을 측정하여 비교하였다. 미세플라스틱 무게의 측정은 세탁용수를 여과하기 전과 후의 여과지를 온도  $26\pm 2^\circ\text{C}$ , 습도 20% RH에서 24시간 건조한 후 같은 온도와 습도에서 정밀 저울을 이용하여 무게를 측정 후 PPM 식에 따라 무게를 구하여 비교하였다. 미세플라스틱 길이의 측정은 디지털 현미경을 사용하여 여과지에서 섬유가 고르게 퍼져있는 부분 세 곳을 무작위로 촬영한 후( $\times 40$ ) Image J 프로그램(National Institutes of Health, NIH)을 사용하여 미세플라스틱의 길이를 측정하였다. 마지막으로 직경은 광학현미경(Olympus U-25LBD, Japan)을 사용하여 여과지 사진을 촬영한 후( $\times 200$ ) KOPTIC HKBasic 프로그램을 사용하여 측정하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

### 1. 세탁물 중량에 따른 미세플라스틱 발생량

세탁물 중량에 따른 미세플라스틱 발생량을 알아보기 위하여 세탁물 중량을 200 g, 500 g, 1 kg, 2 kg로 달리하여 세탁 중 미세플라스틱 발생량을 알아보았다. 세탁 중량에 따른 미세플라스틱 발생량을 세탁 과정에 따라 여과지 별로 <Fig. 2>에 나타내었다.

<Fig. 2>에서 보는 바와 같이, 세탁물의 중량이 증가할수록 미세플라스틱의 발생량은 현저하게 감소하는 경향을 보였다. 세탁코스별로 살펴보면, 세탁과정에서 미세플라스틱 발생량이 가장 많았으며, 세 차례 행굼과정이 진행될수록 발생량이 감소하였다.



(Fig. 2) Release of microplastics according to fabric weight as washing course

여과지 기공 크기에 따라 살펴보면, 5 μm 여과지에서는 200 g 세탁 중량에서 세탁 과정이 진행될수록 미세플라스틱 발생량이 현저하게 감소하는 경향이 나타났으며, 500 g, 1 kg, 2 kg 중량에서는 약간 감소하는 경향이 나타났다. 한편, 20-25 μm 여과지에서는 200 g, 500 g 세탁물 중량에서 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 1 kg, 2 kg 중량에서는 약간 감소하는 경향이 나타났다.

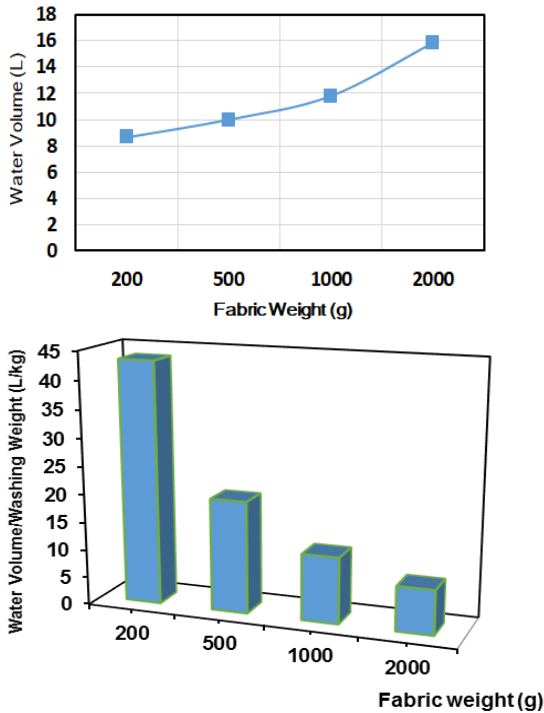
부하량에 따른 드럼세탁기 내 직물 거동을 분석한 Namara et al. (2012)의 연구결과 세탁 부하량이 증가할수록 tracer particle의 움직임이 규칙적이고 확고하며 변동이 적어져 기계력이 떨어진다는 결과에 따라 세탁물 중량이 증가할수록 물리적인 힘 중 기계력이 적어져 미세플라스틱 발생량이 감소한 것으로 생각된다.

세탁물 중량에 따른 미세플라스틱 발생량의 차이를 세탁 용수량의 결과로부터 유추하기 위하여 세탁물 중량별로 세탁 용수량을 측정하였다. 세탁물에 대한 용수량(L/kg)을 비교한 결과, 세탁물 중량이 증가 할수록 상대적 세탁 용수량은 감소하는 것을 확인하였다(Fig. 3). 이는 세탁물 중량이 증가 할수록 세탁물에 가해지는 물리적인 힘(용수량)이 적어져 미세플라스틱 발생량이 줄어드는 것으로 사료된다.

용수량에 따른 미세플라스틱 발생량을 알아본 Kelly et al., (2019)의 연구 결과에서 용수량을 300 ml, 600 ml로 다르게 하여 티그오터

미터에서 같은 크기(약 20 g, 5×5 cm)의 시험편으로 1회 세탁한 결과, 600 ml 용수량을 사용하였을 때 훨씬 더 많은 미세플라스틱 발생량이 나타났으므로, 세탁 시 용수량이 미세플라스틱 발생량의 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 드럼식 세탁기의 세탁방식은 수평 드럼통의 회전 운동에 의하여 세탁물을 회전 낙하시켜 세탁을 하는 방식으로 수평축으로 따라 드럼통이 정회전 또는 역회전을 주기적이거나 비주기적으로 반복하는 기계적 작동 방식이므로, 세탁중량이 적을수록 세탁기 내 낙하가 크고 용수에 의해 가해지는 물리적인 힘을 더 많이 받아 미세플라스틱 발생량이 증가한 것으로 판단된다.

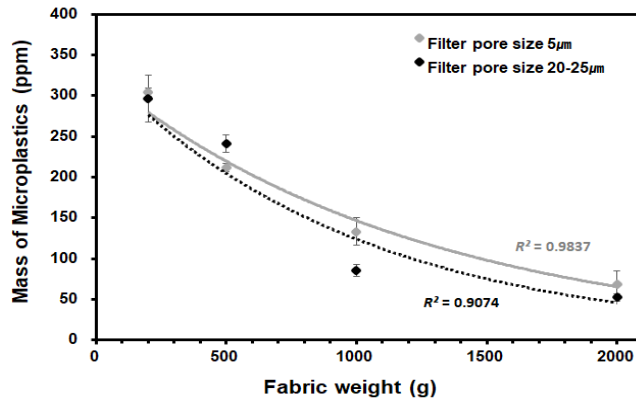
세탁 코스에서는 다른 코스에 비해 세탁시간(40분)이 행굼시간(10-20분)보다 길어 물리적인 힘을 받는 시간이 길고 세탁온도(40±2℃)가 행굼온도(20±2℃)보다 높아 외부로부터 받는 열에너지가 커져 섬유 결합력이 약해지기 쉬워 미세플라스틱 발생량이 가장 큰 것으로 생각된다. 세탁과정이 진행될수록 세탁물이 물리적인 힘을 받는 시간이 짧아지고 온도가 낮아져 미세플라스틱 발생량이 점차 감소하였지만 탈수 시간이 긴 행굼3(20분)의 코스에서는 물리적인 힘을 받는 시간이 길어져 다른 행굼1, 행굼2(10분) 코스에 비해 미세플라스틱 발생량이 다소 증가한 것으로 사료된다.



〈Fig. 3〉 Water volume according to fabric weight during washing

2. 여과 기공 크기에 따른 미세플라스틱 채집량

여과 기공 크기를 달리하여 여과 방법에 따른 미세플라스틱 채집량의 차이를 알아보기 위하여 여과지 기공 크기가 다른 5  $\mu\text{m}$  여과지와 20-25  $\mu\text{m}$  여과지를 사용하여 여과지별로 섬유를 채집한 총 결과 값을 〈Fig. 4〉에 나타내었



〈Fig. 4〉 Amount of microplastics according to two different types of filter papers

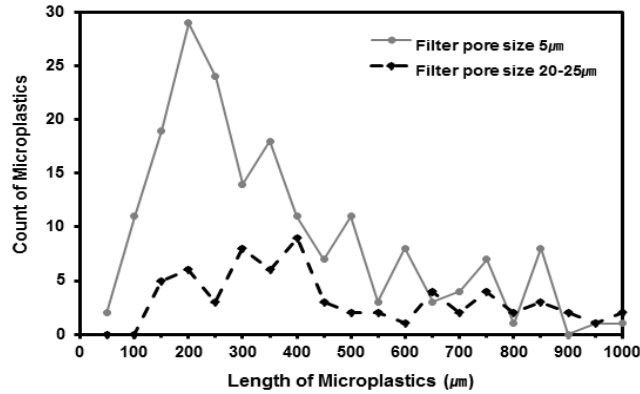
다. 교정곡선의 함수 값을 〈Fig. 4〉 나타냈으며, 두 여과지 경우 모두 교정곡선의 R2값이 높게 나타났다(5  $\mu\text{m}$ =0.9837, 20-25  $\mu\text{m}$ =0.9074). 채집 결과, 기공 크기가 작은 5  $\mu\text{m}$  여과지에서 기공크기가 큰 20-25  $\mu\text{m}$  여과지 보다 채집량이 높게 나타났으며, 세탁물 중량이 증가할수록 채집량의 차이가 크게 나타나는 경향을 보였다.

본 연구에서 사용한 시료의 섬유직경은 8.87  $\mu\text{m}$  이므로, 섬유직경보다 작은 5  $\mu\text{m}$ 의 여과지에서 더 많은 길이의 섬유가 채집되었으며, 섬유직경보다 큰 20-25  $\mu\text{m}$  이상의 필터에서는 섬유가 더 많이 빠져나간 것으로 생각된다.

3. 여과 기공 크기에 따른 미세플라스틱 길이

여과 방법에 따른 미세플라스틱 채집량의 차이를 알아보기 위하여 세탁 폐수에서 섬유 여과 시 여과지 기공 크기가 다른 여과지를 사용하여 (pore size 5  $\mu\text{m}$  > 20-25  $\mu\text{m}$ ) 섬유를 채집한 결과 여과지 기공 크기가 작은 5  $\mu\text{m}$ 에서 더 많은 섬유가 채집되었음을 확인하였다. 기공크기가 5  $\mu\text{m}$ 인 여과지에서 더 짧은 길이의 섬유들이 검출되는지 확인하기 위하여 미세플라스틱 길이를 측정된 결과의 길이 분포 별 섬유 개수를 히스토그램으로 〈Fig. 5〉에 나타냈으며, 검출된 섬유의 기초통계량을 〈Table 2〉에 요약하였다.

5  $\mu\text{m}$  여과지에서는 100-300  $\mu\text{m}$  길이에서 가장 많은 섬유 분포를 나타내었으며, 20-25  $\mu\text{m}$  여과지에서는 400  $\mu\text{m}$  길이에서 섬유분포가 높게 나타났



(Fig. 5) Frequency distribution diagram of microplastics length according to two types of filter papers

(Table 2) Descriptive statistics of fiber length and diameter of microplastics released

Filter Paper Pore Size	Fiber Length(μm)							Diameter(μm) (n=10)	
	n	M	SD	Md	SE	min.	max.	M	SD
5 μm	227	608.44	645.63	337.20	42.85	47.42	3910.75	8.87	0.53
20-25 μm	84	770.11	775.58	488.48	84.62	118.18	4751.87		

고 100 μm 이하 길이의 섬유는 관측되지 않았다. 또한 측정된 섬유 평균 길이(5 μm: 608.44 μm, 20-25 μm: 770.11 μm)와 최솟값(5 μm: 47.42 μm, 20-25 μm: 118.18 μm)은 5 μm에서 더 짧게 측정되었다.

여과 기공 크기별 미세플라스틱 길이 분포도의 차이는 첫째, 시료 섬유의 직경(8.87 μm)이 작고 둘째, 진공 펌프를 사용하여 여과 할 때 걸리는 압력에 의한 차이로 생각된다. 동일한 압력을 주어 미세플라스틱을 채집을 촉진 할 때 기공크기가 작은 5 μm은 20-25 μm에 비하여 압력을 작게 받아 100-300 μm에서 분포가 나타난 것으로 사료된다. 기공크기 20-25 μm에서는 5 μm에 비하여 압력을 더 받고, 섬유직경도 기공 크기보다 작아 짧은 크기의 섬유들이 빠져나가기 쉬워 400 μm에서 피크점이 나타났으며, 400 μm 이상에서는 길이 분포의 경향의 차이가 미미하게 나타났다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 미세플라스틱 발생원 중 세탁 중에 발생하는 미세플라스틱 발생량을 측정하기 위하

여 세탁물 중량을 달리한 세탁방법과 여과 기공 크기를 달리한 여과방법에 따른 미세플라스틱 발생량 및 채집량을 알아보았다. 세탁 중 미세플라스틱 발생량에 영향을 끼치는 요인 및 형태 특성 분석결과로부터 도출한 결론은 다음과 같다.

세탁물 중량에 따른 세탁코스별 미세플라스틱 발생량은 세탁물 중량이 증가할수록 미세플라스틱 발생량이 감소하며, 세탁물이 받는 세탁 용수의 물리적인 힘에 영향을 받는다. 따라서 세탁 중 미세플라스틱 발생량을 줄이기 위해서는 1회 세탁 시 세탁물의 중량을 크게 하여 세탁용수에 의한 물리적 힘을 작게 받는 세탁 방식을 선택한다.

여과지 기공 크기가 다른 5 μm, 20-25 μm 여과지를 사용하여 미세플라스틱을 채집한 결과, 시료 섬유의 직경(8.87 μm)보다 기공 크기가 작은 것이 (5 μm) 더 큰 것보다(20-25 μm) 더 많이 채집되었으며 세탁물 중량이 커질수록 여과 기공 크기에 영향을 받는다. 따라서 세탁 중 발생한 미세플라스틱 채집을 위한 여과 기공 크기 선택 시 기공 크기를 미세플라스틱 크기보다 작게 하는 방식을 제안하지만 기공크기가 작을수록 여과 시간이 오래 걸려 여과시간을 줄이는 방법도 함께 고려해야한다.

여과 기공 크기별 미세플라스틱 길이 분포도를 비교한 결과 시료 섬유 직경(8.87  $\mu\text{m}$ )보다 작은 여과지 기공 크기 5  $\mu\text{m}$ 에서 기공 크기 20-25  $\mu\text{m}$ 보다 짧은 길이의 섬유들이 검출되었다. 여과지 별 길이 분포도의 차이는 섬유의 직경과 기공 크기 차이에 의한 압력 차이로 인한 것으로 사료되며 세탁 중 발생한 섬유 형태의 미세플라스틱 채집을 위한 필터 선택 시 여과지 기공 크기를 고려한 필터 개발을 제안한다.

위의 연구 결과는 세탁 중 의류소재로부터 발생하는 미세플라스틱 감소 방안을 제안하고 미세플라스틱 섬유 특성을 분석함으로써 미세플라스틱 채집 및 저감을 위한 필터 개발을 위한 후속 연구를 제안하며, 이는 환경 문제 해결에 기여할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- Almroth, B. M. C., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., & Persson, N. K. (2018). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1191-1199.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175-9179.
- Cai, Y., Yang, T., Mitrano, D. M., Heuberger, M., Hufenus, R., & Nowack, B. (2020). Systematic study of microplastic fiber release from 12 different polyester textiles during washing. *Environmental Science & Technology*, 54(8), 4847-4855.
- Chae, D. H., Kim, I. S., Song, Y. K., Kim, S. W., & Kim, S. K. (2014). Development of analytical method for microplastics in seawater. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 19(1), 88-98.
- Cho, Y., Yun, C., & Park, C. H. (2017). The effect of fabric movement on washing performance in a front-loading washer IV: under 3.25-kg laundry load condition. *Textile Research Journal*, 87(9), 1071-1080.
- De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., ... & Mossotti, R. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 236, 916-925.
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599.
- European Chemicals Agency. (2018). intentionally added microplastics(ANNEX XV). Retrieved from <https://echa.europa.eu/documents/10162/05bd96e3-b969-0a7c-c6d0-441182893720>
- Folkö, A. (2015). *Quantification and characterization of fibers emitted from common synthetic materials during washing*. Stockholms Universitet och Käppalaförbundet.
- Gkirini, A. (2019). *Microplastic Release after Laundry of Synthetic Garments*(Unpublished doctoral dissertation). Chalmers University of Technology, Sweden.
- Hartline, N. L., Bruce, N. J., Karba, S. N., Ruff, E. O., Sonar, S. U., & Holden, P. A. (2016). Microfiber masses recovered from conventional machine washing of new or aged garments. *Environmental Science & Technology*, 50(21), 11532-11538.
- Hernandez, E., Nowack, B., & Mitrano, D. M. (2017). Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing. *Environmental science & technology*, 51(12), 7036-7046.
- Jemec, A., Horvat, P., Kunej, U., Bele, M., & Kržan, A. (2016). Uptake and effects of microplastic textile fibers on freshwater



- crustacean *Daphnia magna*. *Environmental Pollution*, 219, 201-209.
- Kelly, M. R., Lant, N. J., Kurr, M., & Burges, J. G. (2019). Importance of water-volume on the release of microplastic fibers from laundry. *Environmental science & technology*, 53(20), 11735-11744.
- Korea Institute of Ocean Science & Technology. (2015). *A study on microplastic pollution in the coastal environments* (BSPE99192-10622-4). Retrieved from <http://www.kiost.ac.kr/kor.do>.
- Namara, M. C., Gabriele, A., Amador, C., & Bakalis, S. (2012). Dynamics of textile motion in a front-loading domestic washing machine. *Chemical Engineering Science*, 75, 14-27.
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1-2), 39-45.
- McIlwraith, H. K., Lin, J., Erdle, L. M., Mallos, N., Diamond, M. L., & Rochman, C. M. (2019). Capturing microfibers—marketed technologies reduce microfiber emissions from washing machines. *Marine pollution bulletin*, 139, 40-45.
- Park, J. H. (2018). 미세플라스틱 오염 현황 및 주요 국가의 관리 방안과 시사점. *Journal of Water Policy & Economy*, 31, 77-88.