

섬유 미세플라스틱 저감과 순환 구축을 위한 동향 분석



김영미

- 2000. 숭실대학교 섬유공학과 학사
- 2015. 숭실대학교 유기신소재파이버공학과 석사
- 2001-현재. (재)FITI시험연구원 가공성능 평가팀 팀장
- 2018-현재. ISO/TC 38 WG22, WG34 (Microplastics) Expert
- 2023-현재. TMC Signatory Member



박춘숙

- 2000. 배화여자대학 의상학과 전문학사
- 2019. 한국방송통신대학교 의류패션학과 학사
- 1999-현재. (재)FITI시험연구원 가공성능 평가팀 책임연구원



주은미

- 2020. 세종사이버대학교 패션비즈니스&아트 학사
- 2001-현재. (재)FITI시험연구원 가공성능 평가팀 선임연구원

1. 서 론

미세플라스틱(microplastic)과 미세섬유(microfiber)에 대한 인식은 2004년 Thompson 등이 발표한 연구 “Lost at Sea: Where is All the Plastic”에서 해안가 퇴적물에 있는 플랑크톤에서 발견된 작은 플라스틱 조각들로부터 시작되었다[1]. 그것은 다양한 형태와 색상을 가진 지름 약 20 μm 인 미세섬유 플라스틱들로 밝혀졌다. 이후 북동태평양, 오대호, 캐나다 북극지역 해안가 등에서 미세섬유가 발견되었으며. 이들은 해양뿐만 아니라 식수, 토양, 심지어 인체에서도 발견되면서 심각한 환경 오염원으로 주목받기 시작했다[2-4]. 미세섬유는 섬유 제품의 제조, 염색, 가공, 사용, 폐기 등 전 주기적 단계에서 배출되며, 낚시 장비, 담배 필터, 마스크 등의 다양한 경로를 통해 환경에 유입된다. 이러한 미세섬유는 해양 동물의 섭취를 통해 생태계에 악영향을 미칠 뿐만 아니라, 염료 및 첨가제의 독성으로 인한 잠재적 위험성도 존재한다[5-6]. 최근에는 실내 공기나 오염된 물과 음식을 통해 인간에게도 노출될 수 있음이 밝혀지면서, 섬유 미세플라스틱의 저감 및 관리가 중요한 과제로 부각되고 있다[7-8]. 이에 따라, 섬유산업 전반에서 미세플라스틱 방출을 억제하고, 순환 경제를 구축하기 위한 정책적, 기술적 노력이 필요하다[9].

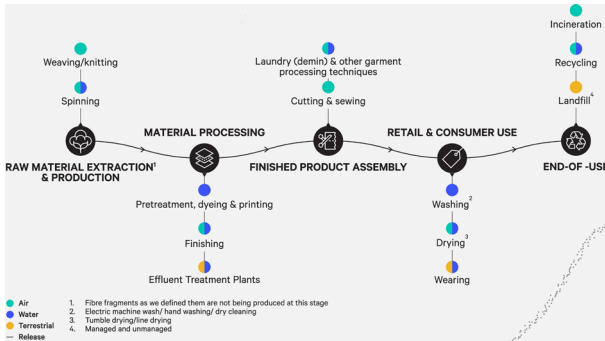


Figure 1. 섬유조각이 패션 및 공급망을 따라 이동하는 과정.
(출처: TMC & Fashion for Good, Behind the break, 2025)

2. 국내외 미세섬유 플라스틱 동향 및 정책

2.1. 미세섬유 플라스틱 발생 현황 및 정의

전 세계 섬유 생산량은 1975년 약 34백만 톤에서 2023년 124백만 톤으로 급격하게 증가했으며, 2030년에는 160백만 톤에 이를 것으로 예상된다. 이와 같은 증가는 천연섬유 생산량보다 합성섬유 생산량이 점점 커지고 있기 때문이다. 2000년대 이후에는 면섬유 생산량 증가보다는 폴리에스터의 생산량이 크게 증가하였다. 2030년까지 폴리에스터와 나일론의 생산량이 더욱 증가할 것으로 예상된다[10].

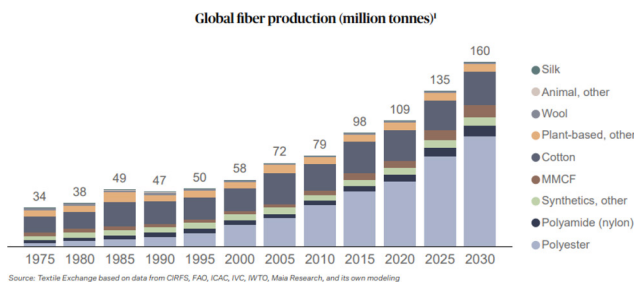
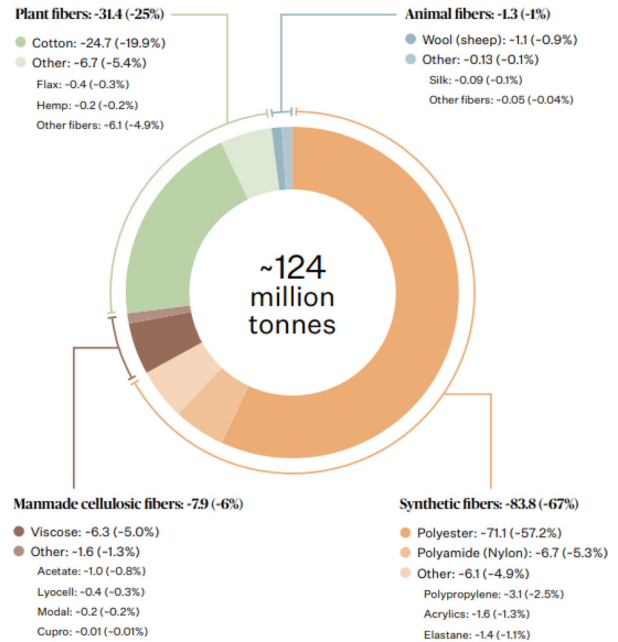


Figure 2. 세계 섬유 생산량(1975~2030).
(출처: Textile Exchange, Preferred fibre and Materials Market Report, 2024)

또한, 2023년 세계섬유 생산량 124백만 톤 중 합성섬유가 83.8백만 톤(67%)을 차지하고, 재생셀룰로스 섬유가 7.9백만 톤(6%), 식물성 천연섬유 섬유가 31.4백만 톤(25%), 동물성 천연섬유가 1.3백만 톤(1%)이다. 합성섬유 중 폴리에스터가 전체 섬유 생산량의 57.2%로 매년 증가되고 있다. 이처럼 합성섬유의 증가는 미세섬유 플라스틱 방출의 주요 원인이고 방출량 또한 증가하여 더욱 심각해질 전망이다[10].

Global fiber production in 2023
(in million tonnes and % of global fiber production)



Source: Textile Exchange based on data from CIRFS, FAO, ICAC, IVC, IWTO, Maia Research, and its own modeling.
Note: This chart includes recycled fibers. Other animal fibers included here are alpaca, angora, camel, cashmere, guanaco, llama, mohair, vicuña, and yak. Other plant fibers included here are jute, coir, sisal, abaca, ramie, kenaf, kapok, and agave. Leather, down, and rubber are not included as they are considered non-fiber raw materials for the purpose of this report.

Figure 3. 2023년 세계 섬유 생산량(million tones and %).
(출처: Textile Exchange, Preferred fibre and Materials Market Report, 2024)

현재 미세플라스틱의 표준화된 정의는 미세섬유 중에서도 인조섬유에 한하여 규정하고 있지만 기존 산업계에서는 일반적으로 미세섬유(microfiber)를 1데시텍스(dtex) 이하의 섬세한 합성사를 의미하며, 길이(length)보다는 직경(diameter)에 초점을 맞추는 경향이 있다. 패션 및 섬유산업에서는 미세섬유플라스틱에 대한 표준화된 정의와 방출량 기준 및 지수 부재로 인해 미세플라스틱 오염문제를 해결하는 데 장애 요인이 된다[9]. 현재까지 법안 및 표준에 따르면 '미세플라스틱(micropastic)'이란 물에 용해되지 않는 크기 5 mm 미만의 합성고분자 고체 물질이고, 섬유형태인 경우 길이는 15 mm 미만'이라고 정의할 수 있다.

2.2. 국가별 미세플라스틱 규제 및 정책 동향

미세플라스틱 종류와 발생 원인을 살펴보면 화장품과 페인트의 1차 미세플라스틱뿐만 아니라 플라스틱 제품을 만드는데 사용되는 펠릿과 플레이크, 섬유와 타이어를 포함한 더 큰 제품의 마모로 인해 발생하는 2차 미세플라스틱, 환경 내 더 큰 물질

Table 1. 미세플라스틱 정의[11-21]

기 구	정 의
European Commission	* Annex C(2024) 1459 final of Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council Microplastic: a small discreet object that is solid, insoluble in water and is partially or wholly composed of synthetic polymers or chemically modified natural polymers. Microplastic fibre: a microplastic object whose length is equal to or less than 15 mm and whose length to width ratio is greater than 3.
European Chemicals Agency (ECHA)	*European Commission Annex XVII of Regulation (EC) No.1907/2006 ‘Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals’(REACH) Microplastics - Consisting of solid polymer-containing particles, to which additives or other substances may have been added, and where $\geq 1\%$ w/w of particles have (i) all dimensions $1\text{ nm} \leq x \leq 5\text{ mm}$, or (ii), for fibres, a length of $3\text{ nm} \leq x \leq 15\text{ mm}$ and length to diameter ratio of >3 (ECHA, 2019); revised to “fibre-like particles under 15 mm in length and with a length to diameter ratio greater than 3 (European Commission, 2023).
European Food Safety Authority (EFSA)	*European Food Safety Authority EFSA (2016) Microplastics - Heterogeneous mixture of differently shaped materials referred to as fragments, fibres, spheroids, granules, pellets, flakes, or beads, in the range of 100 nm–5 mm.
US California State Water Board	*State Water Resources Control Board Resolution No 2020-0021. “Adoption of definition of “Microplastics in Drinking Water” Microplastics - solid polymeric material to which chemical additives or other substances may have been added, which are particles, which have at least three dimensions that are greater than 1 nm and less than 5,000 micrometers (μm). Polymers that are derived in nature that have not been chemically modified (other than by hydrolysis) are excluded.
US National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) and Environmental Protection Agency(EPA)	*Interagency Marine Debris Coordinating Committee (IMDCC) (2024) Microfibres - solid, polymeric, fibrous materials to which chemical additives or other substances have been added, and which have at least two dimensions that are less than or equal to 5 mm, length to width and length to height aspect ratio of greater than 3, and a length of less than or equal to 15 mm. fibres that are derived in nature that have not been chemically modified (other than by hydrolysis) are excluded.
The Microfiber Consortium	*TMC glossary of terms(2023) Microplastics - A small piece of plastic debris measuring 5mm or less
International Standards Organization(ISO)	*ISO 24187 Principles for the analysis of microplastics present in the environment ·large microplastic: any solid plastic particle insoluble in water with any dimension between 1 mm and 5 mm ·Microplastic: any solid plastic particle insoluble in water with dimension between $1\text{ }\mu\text{m}$ and $1\text{ }000\text{ }\mu\text{m}$ ($= 1\text{ mm}$)
	*ISO 5157 Textiles — Environmental aspects —Vocabulary *ISO 4484-2 Textiles and textile products —Microplastics from textile sources —Part 2: Qualitative and quantitative analysis of microplastics ·Microfibre: fibre with linear density less than 1 dtex or a diameter less than $10\text{ }\mu\text{m}$ ·Microplastics: material consisting of a solid polymer containing particles, to which additives or other substances may have been added, and where $\geq 1\%$ w/w particles have: a) all sizes $100\text{ nm} \leq x \leq 5\text{ mm}$; or b) for fibres, a length of $300\text{ nm} \leq x \leq 15\text{ mm}$ and a length/diameter ratio >3.
ASTM International	*ASTM D8332 Standard Practice for Collection of Water Samples with High, Medium, or Low Suspended Solids for Identification and Quantification of Microplastic Particles and fibres Microplastics: any solid, synthetic organic polymeric material to which chemical additives or other substances may have been added, which are particles largest dimension, and fibres no longer than 15 mm in length with an aspect ratio of at least 30:1 and $< 500\text{ }\mu\text{m}$ in its smallest dimensions.
American Association of Textile Chemists and Colorists	* AATCC TM212 Test Method for fibre Fragment Release During Home Laundering Fibre fragment: A short piece of textile fibre, broken from the main textile construction or through its subsequent breakage in the natural environment

의 조각화 등 여러 출처가 확인되었다. Figure 4의 주요 미세플라스틱 배출원 분석자료에 따르면 과거 대중은 플라스틱 빨대나 세안제의 마이크로비즈에 주목하지만 실제로 가장 많은 발생원인은 페인트, 타이어, 플라스틱 펠릿과 같은 산업적 경로임을 알 수 있다. 또한 향후 미세플라스틱 규제 정책, 연구, 산업 개선의 방향성의 우선순위를 제시하였다[22-23].

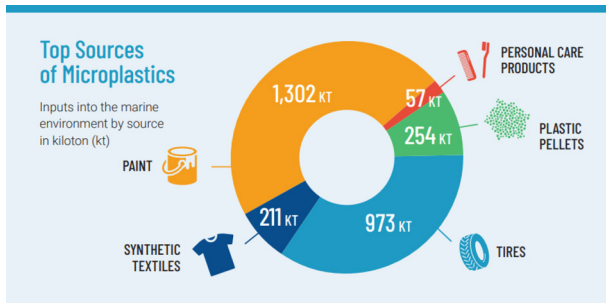


Figure 4. 미세플라스틱 주요 발생원.
(출처: Science, image modified from Thomson, R.C, et al., 2024)

2.2.1. 해외동향

2.2.1.1 유럽

유럽에서는 플라스틱 오염뿐만 아니라 섬유의 수명 주기 전반에 걸쳐 여러 단계에 걸쳐 미세섬유를 해결하기 위한 정책이 시행됨에 따라 미세섬유 플라스틱 오염의 영향이 점점 커지고 있다.

EU의 ‘Plastic Strategy’(2018), 유럽화학물질청(ECHA)은 미세플라스틱 배출을 최소화하려는 정책을 목표로 화장품과 같은 제품에 마이크로비즈와 같은 미세플라스틱 입자를 의도적으로 추가하는 것을 제한하고 있다. 유럽화학물질청은 소비자 제품에 의도적으로 첨가된 미세플라스틱 규제조치를 위해 제한작업서를 제출하였고, 2023년 채택하였다. 2024년 유럽연합 집행위원회(European Commission)는 규정 부속서 17 (EC) No.1907/2006 REACH(제한물질) 목록에 미세플라스틱을 추가하였다[24-26]. ‘미세플라스틱 오염을 줄이기 위한 펠릿 손실 방지(preventing pellet losses to reduce microplastic pollution, 2023)’ 규정은 플라스틱 전체 공급망에 걸쳐 배출을 금지하고 있다[27].

프랑스는 2022년에 시행된 ‘낭비 방지 및 순환경제법(Anti-Waste Law for a Circular Economy, AGEC law)’ 제23조에 2025년 1월 1일부터 판매되는 새 세탁기에는 합성섬유 조각을 포집하여 폐수로 방출되는 것을 방지하기 위해 필터 장착하거나 용액 사용을 의무화했다. 또한 질량 기준으로 50% 이상 합성섬유를 함유한 섬유제품에 대해 검증된 환경 라벨링을 의무화하고 있다[28].

2.2.1.2. 미국

미국의 ‘Save our seas 2.0 Act(2020)’는 미세플라스틱이 인간의 건강과 환경에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하고, 미세섬유 오염에 대한 근본 원인, 섬유 특성 및 화학 첨가물의 변화, 독성학적 영향, 미세섬유를 포집하여 제거할 수 있는 다양한 기술의 효과성 및 실현가능성에 대한 연구를 촉구하는 법안이다[29].

주(州)차원에서 발의된 법안인 미세플라스틱 및 합성 섬유 파편 문제를 해결하기 위한 라벨링 요건 법안들이 캘리포니아, 코네티컷, 뉴욕에서 발의되었으나 통과되지는 않았다. 그러나 ‘의류 섬유 오염에 관한 법안(conneticut’s HB 5360)’은 워킹그룹을 설립하여 패션 및 섬유산업에 발생하는 미세섬유에 대한 소비자 인식 제고에 중점을 두고 있다[30-31].

캘리포니아는 ‘주 전역 미세플라스틱 전략(the statewide microplastic strategy, 2022)’을 통해 수생시스템과 해안지역에서 미세플라스틱 오염을 관리하기 위한 로드맵을 제시하였다[32].

2.2.1.3. 오스트레일리아, 캐나다

오스트레일리아 ‘국가 플라스틱 계획(National Plastics Plan, 2021)’은 2030년까지 오스트레일리아에서 판매되는 세탁기에 미세섬유를 거를 수 있는 필터를 장착하게 했다[33].

캐나다는 ‘해양 플라스틱 현장과 제로 플라스틱 폐기물 전략(Ocean Plastics Charter and Zero Plastic Waste Strategy, 2018)’을 통해 플라스틱 폐기물과 오염 문제에 대한 대응을 선도해 왔다[35]. ‘온타리오주 법안 279(Bill 279, 2021)’는 온타리오 주 내 신규 가정용 세탁기에는 100 μ m 이하의 미세섬유 필터 장착을 의무화 하였다[34].

2.2.2. 국내동향

우리나라는 ‘생활화학제품 및 살생물제의 안전관리에 관한 법률’, ‘화장품법’, ‘약사법’, ‘폐기물관리법’, ‘자원순환기본법’, ‘자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률’에 근거한 고시 등의 행정입법에 의하여 미세플라스틱 사용에 대한규제가 일부 이루어지고 있다[35].

2024년 부산에서 열린 국제플라스틱협약은 플라스틱 오염문제 해결을 위해 법적 구속력을 갖춘 협약을 마련하기 위한 마지막 협상회의였으나 일부 국가들의 의견 차이로 체결은 되지 않았다. 주요 내용은 Table 3과 같다.

우리나라는 순환경제로의 전환 필요성 및 과학적 증거에 기반을 둔 플라스틱 오염 예방조치, 대체서비스 기반 일회용품 감량, 온전한 재활용, 재생원료, 대체재(바이오매스 플라스틱, 생분해성 플라스틱 등) 산업 육성을 내용으로 하는 ‘전주기 탈플라스틱 대책’을 마련하는 등 순환경제를 선도하는 사안에 중점을 둔다고 발표하였다[42].

Table 2. 국내 미세플라스틱 관련 규제[36-40]

소관부처/협회	법률/규약	내용
환경부	생활화학제품 및 살생물제의 안전 관리에 관한 법률	식품세정제, 제거제, 세탁세제, 표백제, 섬유유연제 등 생활화학제품에 미세플라스틱(세정, 연마, 박리 용도로 의도적으로 사용하고 물에 녹지 않는 5 mm 이하의 고체플라스틱)첨가 규제
식품의약품 안전처	화장품법	화장품의 제조 또는 수입 및 안전 관리에 미세플라스틱 사용 금지, 사용할 수 없는 원료를 목록화
식품의약품 안전처	약사법	의약품의 품목허가 및 신고제도의 체계 안에서 구강위생용 제품이나 제제에는 미세플라스틱을 첨가제로 사용 불가
대한화장품 협회	플라스틱 마이크로비즈 사용에 대한 자율 규약	세정제 등 화장품에 미세플라스틱 사용을 생산자가 자발적으로 제한하고 대체원료 사용

Table 3. 국제 플라스틱 협약 주요 내용[41]

항목	주요 내용
플라스틱 생산 규제	플라스틱 원료 생산 감축을 위한 법적 구속력 있는 기준 마련
유해 화학물질 규제	플라스틱 제조 과정 및 제품에서 사용되는 우려 화학물질의 감축 및 제거
문제성 플라스틱 규제	일회용 플라스틱, 미세 플라스틱 등 문제성 플라스틱의 감축 및 제거
제품 디자인 및 성능	플라스틱 제품의 디자인 및 성능을 개선하여 재활용 및 재사용성을 높이고 플라스틱 오염을 최소화
재원 및 기술지원	개발도상국을 포함한 국가들이 협약을 효과적으로 이행할 수 있도록 재원 및 기술 지원

2.3. 국내외 산학연 기술 및 연구 동향

2.3.1. 세탁기 제조업체 대응 현황

우리나라 대표 가전제품 제조사인 삼성과 LG는 미세섬유 배출을 저감시키기 위한 세탁 코스 개발, 외부 장착형 필터를 개발, 출시하여 미세플라스틱 오염 문제를 해결하기 위해 노력하고 있다.

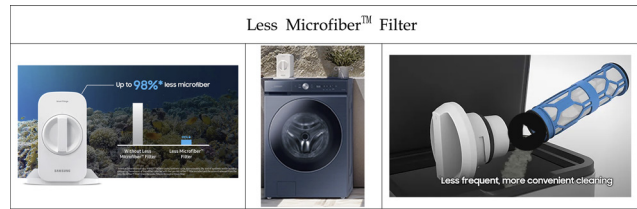


Figure 5. 미세플라스틱 저감 외부 장착형 필터.
(출처:삼성전자 홈페이지)

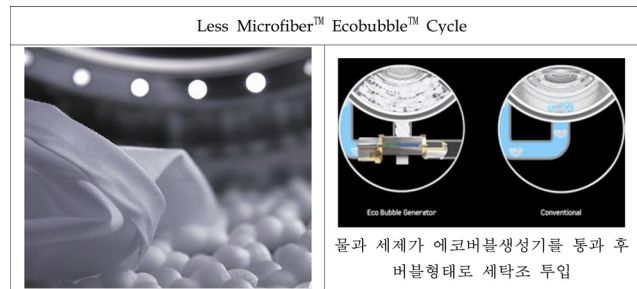


Figure 6. 미세플라스틱 저감 세탁코스.
(출처:삼성전자 홈페이지 뉴스룸)



Figure 7. 미세플라스틱 저감 세탁코스.
(출처:LG전자 국내 & 영국 홈페이지)

해외 제조업체는 세탁 후 배출된 미세플라스틱을 포집하는 필터를 외부에 장착하여 사용하는 세탁기를 출시하고 있다. 외부 장착형 필터는 필터 개발업체와 협력 개발하여 사용하고 있다. 현재 유럽에서 사용하고 있는 세탁기용 미세섬유 필터와 브랜드는 Table 4와 같다.

2.3.2. 미세섬유 오염 대응을 위한 연구개발 이니셔티브

해외 제조업체 미세섬유의 환경에서 미세섬유의 이동경로는 원료부터 최종 사용 후 폐기까지 연결되어 있어 미세섬유플라스틱 오염을 억제하기 위해서는 효과적인 섬유 순환전략과 밀접하게 연관이 있다. 이러한 전략을 성공적으로 구현하려면 정책지원, 산업 혁신, 소비자 교육을 결합하여 의미 있는 변화를 창출해야 한다. 이와 같은 개념으로 글로벌한 연구개발 협력체들이 선도적으로 이끌어가고 있다[51].

Table 4. 해외 세탁기 사례[43-45]

제조업체	특징	제품
스웨덴 일렉트로룩스 (Electrolux)	미세섬유를 최대 90%까지 포집하는 외부 장착형 필터 개발, 필터는 재활용 플라스틱 50% 이상 사용하여 제작	
독일보쉬 (Bosch), 지멘스 (Siemens)	영국의 클린테크 스타트업 Matter와 협력하여 가정용 세탁기에 외부장착형 미세 섬유 필터 사용	
스웨덴 AEG	미세섬유를 최대 90%까지 포집하는 외부 장착형 필터 (A9WHMIC1) 출시	

Table 5. 세탁기에 장착할 수 있는 필터 종류[46-50]

브랜드	제품명	특징	제품
PlanetCare	PlanetCare 2.0™	외부 장착형 필터로 배수 호스에 연결하여 미세섬유 플라스틱 포집, 설치, 사용 간편	
Filtrol	Filtrol™	린트 필터백으로 재사용 가능	
Gulp	Gulp™	영국 Matter사가 개발, 필터 교체 없음	
Xeros Technology	XF1™, XF2™ XF3™	XF1, XF2: 세탁기 배수구에 직접 연결 설치 XF3: 독립형 외부필터, 모든 세탁기 모델에 사용 가능	
CLEANR	CLEANR™ filter	세탁기 내·외부 장착 가능한 필터개발, 50 mm 크기의 미세섬유 플라스틱 90%이상 제거	

3. 미세플라스틱 시험방법과 표준화 동향

3.1. 시험방법 표준화 동향

ISO의 최근 발행표준은 섬유 공정 폐수, 의류 세탁수 등 다양한 매트릭스에서 섬유 산업에서 발생하는 미세플라스틱을 평가하기 위한 지침이다. ASTM은 물과 폐수에서 미세플라스틱의 수집, 샘플준비 및 정량화를 위한 분석에 중점을 두고 있다. 현재까지 개발된 표준화 현황은 Table 7과 같다.

3.2. 의류 완제품 가정용 세탁 시 미세섬유 방출량 시험(ISO 4484-3)

3.2.1 ISO 4484-3 시험방법, 표준세탁기 및 세탁조건

ISO 4484-3은 ISO 6330:2021 A형, B형 세탁기를 사용하여 의류 완제품에 대한 미세섬유를 방출량을 측정하는 시험방법이다. 세탁 과정을 통해 세탁기 배수 호스에 부착된 필터백으로 방출된 미세섬유를 멤브레인 필터로 진공 여과하여 방출된 섬유 질량을 측정한 후 최종적으로 방출된 미세섬유 질량과 최초

시험/인증 소개

Table 6. 미세섬유 오염 대응을 위한 연구개발 협력체[52-57]

이니셔티브	소개 및 주요활동
 Cascale	· 지속 가능한 의류연합(Sustainable Apparel Coalition, SAC)으로 300개의 의류, 신발 및 섬유브랜드, 소매·제조업체, 소싱 에이전트, 무역업체로 구성된 글로벌 비영리 연합회 · Higgs Index를 개발하고 섬유 미세플라스틱 배출지수 개발 중
 TMC	· 텍스타일 마이크파이버 컨소시엄(The Microfibre Consortium, TMC)은 92개의 섬유 브랜드, 소매·제조업체, 비정부기구(NG), 시험기관으로 구성된 연구 주도의 지속 가능한 섬유 비정부기구 · Microfiber2030과 로드맵을 통해 미세섬유 방출저감 노력하고, 10개의 글로벌 시험기관을 통해 검증된 데이터를 제공
 CIA	· Cross Industry Agreement(CIA)는 의류의 글로벌 가치사슬과 관련한 다섯 개의 유럽산업협회(AISE, CIRFS, EOG, EURATEX 및 FESI)의 협력체 · 합성섬유 세탁 중 수중 환경으로 미세플라스틱 방출을 측정하고 줄이기 위한 표준화된 방법을 개발, 지원
 Ocean Wise	· 캐나다 해양보존 비정부기관 부문인 Ocean Wise Plastics Lab이 Microfibre Partnership(MEC, 파타고니아, REI, Arc'teryx, Aritzia, Joe Fresh 등)을 설립 · 미세섬유의 출처, 이동 연구를 통해 미세섬유에 대한 과학 기반 솔루션제공과 공개적 이용 가능한 Ocean Wise보고서 게재
 EOG	· Outdoor Industry Association and the European Outdoor Group(EOG)은 1500개 이상의 기업을 대표하는 아웃도어 산업협회와 유럽 아웃도어 그룹 · 패션, 섬유산업, 화학 제조업체, 가전산업, 수처리 시설 등 주요 산업 및 부문 간의 미세플라스틱 방출원인과 과학에 기반한 해결책을 제시하는데 필요한 데이터 수집을 촉진함
 Fashion for Good	· 암스테르담에 본부를 둔 Fashion for Good는 지속가능한 패션 산업을 위한 글로벌 플랫폼으로 패션 산업전문가(브랜드, 소매·제조업체)와 펀딩업체로 구성된 네트워크 · 섬유파편화(fiber fragment) 프로젝트를 주도하면서 섬유탈락의 근본원인, 기존 시험방법의 개선 및 검증, 미세섬유 오염을 줄이기 위한 업계 모범 사례 및 정책 제공

시험편 질량의 비율을 계산한다. ISO 4484-3 표준에 대한 시험 절차는 다음과 같다.

ISO 6330:2021에 명시된 자동 세탁기는 세탁물을 앞에서 넣을 수 있는 A형 표준세탁기, 세탁물을 위에서 넣을 수 있는 교반식 B형 표준세탁기, 세탁물을 위에서 넣을 수 있는 와류식 C형 표준세탁기이다. 그 중 FITI시험연구원에서는 A형 표준세탁기, B형 표준 세탁기로 미세섬유 방출시험 평가를 수행하여 세탁기 유형별 미세섬유 방출량과의 상관관계에 대해 비교 분석하였



Figure 8. ISO 4484-3 시험 절차.
(출처: FITI시험연구원 미세플라스틱 시험 홍보자료)

Table 7. 미세플라스틱 표준화 현황 [58-66]

표준 번호	표준명	내용
물과 폐수 및 환경에 있는 미세플라스틱 분석		
Article 13(6) of EU Directive 2020/2184	Methodology to measure microplastics in drinking water intended for human consumption	식수에 있는 20um~5mm 미세플라스틱과 20um~15mm 미세섬유를 측정하는 방법
ISO 24187:2023	Principles for the analysis of microplastics present in the environment	다양한 환경에서 발생한 미세플라스틱 분석 시 샘플링 및 정성, 정량분석
ASTM D8332-20	Standard Practice for Collection of Water Samples with High, Medium, or Low Suspended Solids for Identification and Quantification of Microplastic Particles and fibres	식수, 지표수, 폐수 유입수 및 방류수, 해양수 1,500L의 수집하여 미세플라스틱 분석
ASTM D8333-0	Standard Practice for Preparation of Water Samples with High, Medium, or Low Suspended Solids for Identification and Quantification of Microplastic Particles and fibres Using Raman Spectroscopy, IR Spectroscopy, or Pyrolysis-GC/MS	식수, 지표수, 폐수 유입수 및 방류수, 해양수에서 포집한 미세플라스틱을 분석하기로 정성-정량 분석
ASTM D8489-23e1	Standard Test Method for Determination of Microplastics Particle and Fibre Size, Distribution, Shape, and Concentration in Waters with High to Low Suspended Solids Using a Dynamic Image Particle Size and Shape Analyzer	10 mm ~ 100 mm 사이의 입자를 포함하는 샘플의 이미지 분석을 통해 섬유 농도, 크기 및 모양 분석
세탁 후 배출되는 미세플라스틱 분석		
ISO 4484-1:2023 AATCC TM212:2021	Microplastics from textile sources. Part 1:Determination of material loss from fabrics during washing	천 시험편 세탁 후 배출되는 미세플라스틱 질량 측정
ISO 4484-2:2023	Microplastics from textile sources. Part 2:Qualitative and quantitative analysis of microplastic	세탁 후 배출되는 미세플라스틱 정성·정량 분석
ISO 4484-3:2023	Microplastics from textile sources. Part 3:Measurement of collected material mass released from textile end products by domestic washing method	천이나 의류의 가정용 세탁기에서 배출되는 미세플라스틱 질량 측정
DIN SPEC 19292-2024-12	Textiles - Test method for determination of fiber shedding potential during simulated washing	미세섬유 방출량을 등급화 하여 육안관정으로 방출량 측정

다. 세탁조건은 국내 의류브랜드들의 품질매뉴얼에서 가장 많이 적용하는 조건을 선택하여 실시하였다.



Figure 9. ISO 6330 A형 표준세탁기(좌), B형 표준세탁기(우).
(출처: James Heal & SDL Atlas 홈페이지)

3.2.2. 의류 완제품 미세섬유 방출 시험결과 비교

이 시험방법은 세탁 시간 및 16L, 40L의 세탁수에서 미세섬유를 포집하는데 상당한 시간이 소요되어 완제품 적용시험이 제한적이다. 그럼에도 불구하고 FITI시험연구원에서는 세탁

기 종류별, 반복 세탁에 따른 실제 배출 범위 정도를 알아보기 위해 합성섬유 함량이 많은 10종류의 완제품으로 시험 설계하였다.

세탁기 유형별 의류 완제품 시험 결과에 따르면 세탁 시 방출되는 미세섬유 양의 차이는 최저 0.1 mg/kg, 최고 16.2 mg/kg, 평균 4.6 mg/kg이고, 파일직물로 제조된 의류가(#1~#4) 세탁 후

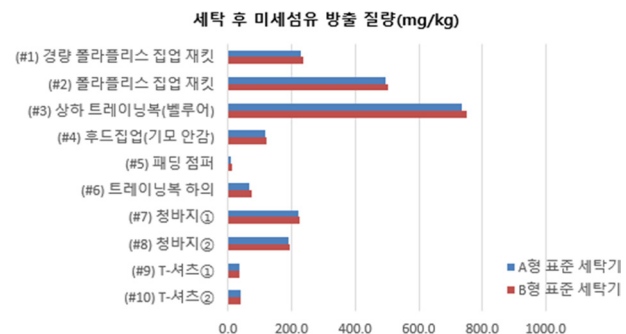


Figure 10. A형 및 B형 표준세탁기 유형별 의류 완제품 시험 결과.

Table 8. A형 및 B형 표준세탁기별 세탁조건[68]

A형 표준세탁기((Front-loading type)			B형 표준세탁기(Agitator type)	
사이클		N(정상)	사이클	Normal(정상)
세탁 수위(L)		16	수위(L)	72 ± 4
회전 속도 (r/min)	세탁	800 ± 20	교반 속도(strokes/min)	86 ± 2
	탈수	52 ± 1	세탁 시간(min)	16
회전 시간(s)	드림 작동	12.0 ± 0.1	최종 탈수 속도(r/min)	660 ± 15
	드림 정지	3.0 ± 0.1	최종 탈수 시간(min)	5
세탁 시간(min)		15	세탁 온도(°C)	41 ± 3
최종 탈수 시간(min)		5		
세탁 온도 (°C)		40 ± 3		

Table 9. 시험분석 의류 완제품 정보

NO.	제품	종류	섬유혼용률
#1	경량 폴라플리스 집업 재킷	편성물, 파일 직물	100% 폴리에스터
#2	폴라플리스 집업 재킷	직물	배색: 100% 나일론
		편성물, 파일 직물	안감: 100% 폴리에스터
#3	상하 트레이닝복(벨루어)	편성물, 파일 직물	겉감: 59% 폴리에스터, 41% 면
		편성물, 파일 직물	배색: 100% 폴리에스터
#4	후드집업(기모 안감)	편성물	겉감: 60% 면, 40% 폴리에스터
		편성물, 파일 직물	안감: 100% 폴리에스터
#5	패딩 점퍼	직물	겉감: 100% 폴리에스터
		직물	배색: 100% 나일론
		직물	안감: 100% 나일론
		솜	충전재: 100% 폴리에스터
#6	트레이닝복 하의	편성물	69% 폴리에스터, 31% 면
#7	청바지①	직물	64% 면, 33% 폴리에스터, 2% 폴리우레탄, 1% 레이온
#8	청바지②	직물	91% 면, 7% 폴리에스터, 2% 폴리우레탄
#9	T-셔츠①	편성물	100% 폴리에스터
#10	T-셔츠②	편성물	81% 나일론, 19% 폴리우레탄



#1



#2



#3



#4



#5



#6



#7



#8



#9



#10

미세섬유 방출량이 가장 많다. 그 다음으로 사람들이 많이 입는 청바지(#7~#8)는 면섬유가 50% 이상 포함되어 미세섬유 방출량이 두 번째로 많다. 우모섬유 방출을 막기 위해 코팅된 원단으로 제조된 다운제품에서는 미세섬유가 거의 나오지 않았다. 또한 동일 시료로 A형과 B형 세탁 시험 시 미세섬유 방출량을 비교하면 세탁기 유형별 차이는 크지 않음을 확인하였다.

3.2.3. 원단의 의류 완제품 모사 시험(FITI시험연구원)

ISO 4484-3 의류 완제품에 대한 가정용 세탁 시 미세섬유 방출 시험을 진행하기 위해서는 최소 6벌의 의류 완제품이 필요하지만 시험분석을 위해 표준 요구수량으로 완제품을 제공한다는 것은 현실적으로 어려운 상황이다. 따라서 FITI시험연구원에서는 ISO 4484-3 표준을 준용하여 원단으로 완제품을 모사한 시험편을 제작하여 방출량 평가를 할 수 있는 시험 방법을 선제적으로 서비스하고 있다. 이 시험방법에 따라 합성섬유 편성물 10종에 대한 A형 및 B형 세탁기별 시험을 수행하였고, 또한 세탁횟수에 따른 미세섬유 방출량 측정을 위해 3회 반복세탁을 실시하였다.

Table 10. 시험분석 원단 정보

NO.	종류	섬유혼용률
#1	편성물	100% 폴리에스터
#2	편성물	100% 폴리에스터
#3	편성물	100% 폴리에스터
#4	편성물	100% 폴리에스터
#5	편성물	100% 폴리에스터
#6	편성물	80% 폴리에스터, 20% 폴리우레탄
#7	편성물	92% 폴리에스터, 8% 폴리우레탄
#8	편성물	88% 폴리에스터, 12% 폴리우레탄
#9	편성물	92% 폴리에스터, 8% 폴리우레탄
#10	편성물	92% 폴리에스터, 8% 폴리우레탄

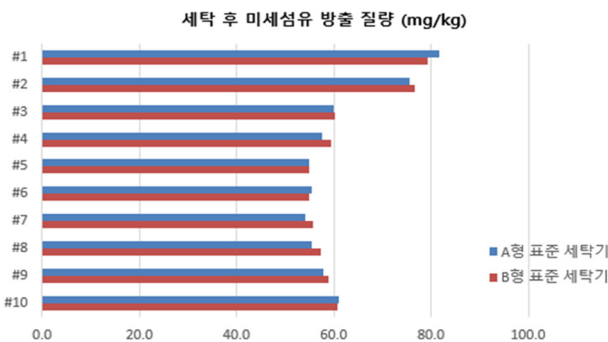


Figure 11. A형 및 B형 표준세탁기 유형별 의류 완제품 모사(원단) 시험 결과.

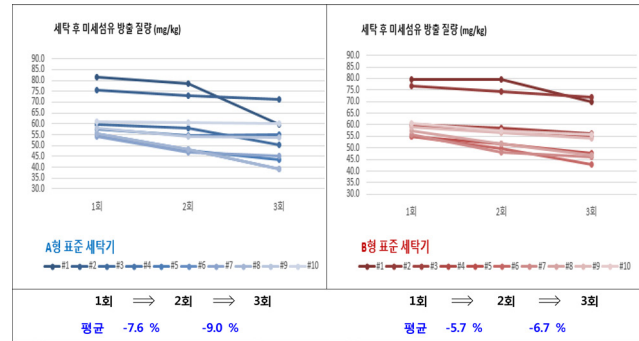


Figure 12. 시험 횟수에 따른 표준 세탁기 유형별 원단 시험 결과. (좌)A형 표준세탁기. (우)B형 표준세탁기

시험결과는 세탁 시 방출되는 미세섬유의 양의 차이는 최저 0.3 mg/kg, 최고 3.9 mg/kg, 평균 1.5 mg/kg으로 위의 의류 완제품 보다는 미세섬유가 덜 방출되었다. A형과 B형 표준세탁기별 차이는 의류 완제품 시험결과와 마찬가지로 크지 않음을 확인하였다. 또한 세탁횟수를 추가하여 반복세탁을 수행하였을 때 미세섬유는 계속 방출되지만 1회, 2회, 3회 세탁 횟수가 많아질수록 방출되는 미세섬유양이 일정하거나 감소하는 경향을 보여주었다.

4. 미세플라스틱 저감을 위한 전략 및 방향

섬유 및 패션산업에서 미세플라스틱을 저감하려면 생산단계, 소비자 사용, 폐기물 처리단계 등에서 발생하는 미세섬유 방출량을 더 적게 지속가능한 제품을 만들 수 있는 다각적인 접근이 필요하다.

4.1. 기술적 접근

- (1) 섬유 디자인 개선: 내구성이 강하고 내마모성이 우수한 소재와 생분해성 소재를 사용하고, 재활용이 쉬운 단일 소재를 활용하여 제품의 수명 종료 후에도 분리와 재활용이 용이한 디자인 개발
- (2) 섬유 제조 과정: 폴리에스터, 나일론 등 합성섬유 표면가공을 통해 마찰로 인한 섬유 손실 줄이거나 물 사용량을 줄이고 섬유 손실을 최소화 하는 염색법 적용
- (3) 세탁기 필터링 기술: 세탁이나 건조 후 미세섬유를 포집하는 기술 확대
- (4) 폐수처리: 폐수처리장에서 미세플라스틱을 포획할 수 있는 활성탄 필터링, 나노필터, 전기응집 기술 도입
- (5) 하수처리: 하수처리공정에서 발생하는 슬러지와 같은 고체 유기물질에서 미세플라스틱 유출을 방지하기 위한 필터 사용 및 개선된 처리 공정 필요[51]

4.2. 소비자 사용 및 정책적 접근

(1) 세탁 습관 개선: 고온세탁과 강한 회전속도는 섬유 손상을 가속화하므로 실온세탁과 부드러운 세탁 코스를 권장

(2) 생산자책임확대제도(Extended Producer Responsibility, EPR)를 통해 섬유의 전 생애주기에 대한 환경적 책임지도록 법제화 필요, 의류 폐기물 관리 및 재활용으로 전환 가능한 시스템 설계 필요[68]

(3) 세탁기 필터설치 지원 정책: 소비자가 직접 세탁기에 미세섬유 필터를 설치하도록 유도한 캠페인 실시나 정부 보조금을 통해 필터 설치를 지원

(4) 순환경제 비즈니스 모델 계획: 패스트패션(Fast Fashion)의 소비를 억제하고, 지속 가능한 소비 패턴을 유도, 중고의류 거래 플랫폼 및 의류 대여 서비스 활성화

(5) 미판매 재고의 폐기를 금지하고 기부 및 재활용으로 전환 가능하게 지속 가능성 정보 공개

(6) 폐수처리 강화: 비용 효율적인 정화 기술을 도입하고 지자체와 협력하여 파일럿 단위 시행

5. 결 론

섬유 미세플라스틱 저감과 순환 경제 구축을 위한 정책적, 기술적 노력이 전 세계적으로 진행되고 있다. 유럽연합은 플라스틱 전략과 REACH 규정을 통해 미세플라스틱 사용을 제한하고, 프랑스는 2025년부터 모든 세탁기에 미세섬유 포집 필터를 의무화하는 법안을 도입했다. 미국, 캐나다, 오스트레일리아 역시 국가 차원의 정책을 마련하여 미세플라스틱 배출을 규제하고 있다. 한국 또한 다양한 법적 규제를 통해 미세플라스틱 오염 저감을 추진 중이며, 전주기 탈플라스틱 대책을 발표하여 순환 경제로의 전환을 목표로 하고 있다. 그러나 아직까지 국내 미세섬유 방출에 대한 시험 표준 개발 구체적인 규제 시행은 미비한 실정이다. 기술적인 측면에서는 미세섬유 방출을 줄이기 위한 세탁기 필터 개발, 저감형 세탁 코스, 재활용 가능한 단일 소재 사용 등이 주요하게 논의가 필요하다. 향후 섬유 미세플라스틱 오염을 근본적으로 해결하기 위해서는 산업계, 정책 입안자, 소비자가 협력하여 지속 가능한 제품 디자인, 생산자책임제도의 강화, 소비자 행동 변화가 요구된다. 이를 통해 섬유 미세플라스틱의 발생을 억제하고, 선순환 구조를 구축함으로써 환경 보호와 함께 지속 가능한 패션산업으로 전환할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. R. C. Thompson, Y. Olsen, R. P. Mitchell, A. Davis, S. J. Rowland, A.

- W. G. Jhon, D. McGonigle, and A. E. Russel, "Lost at sea: Where is all the plastic?", *Science*, 2004, **304**, 838.
2. J. P. W. Desforges, M. Galbraith, N. Dangerfield, and P. S. Ross, "Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean", *Marine Pollution Bulletin*, 2014, **79**(1-2), 94-99.
3. M. Eriksen, S. Mason, S. Wilson, C. Box, A. Zellers, W. Edwards, H. Farley, and S. Amato, "Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes", *Marine Pollution Bulletin*, 2013, **77**(1-2), 177-182.
4. J. Grbić, P. Helm, S. Athey, and C. M. Rochman, "Microplastics entering northwestern Lake Ontario are diverse and linked to urban sources", *Water Research*, 2020, **174**, 115623.
5. G. Kutralam-Muniasamy, F. Pérez-Guevara, I. Elizalde-Martínez, and V. C. Shruti, "An overview of recent advances in micro/nano beads and microfibres research: Critical assessment and promoting the less known", *Science of The Total Environment*, 2020, **740**, 139991.
6. D. Kim, H. Kim, and Y. J. An, "Effects of synthetic and natural microfibres on *Daphnia magna* – Are they dependent on microfibre type?", *Aquatic Toxicology*, 2021, **240**, 105968.
7. M. Kosuth, S. A. Mason, and E. V. Wattenberg, "Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt", *PLOS ONE*, 2018, **13**(4), e0194970.
8. A. Vianello, R. L. Jensen, L. Liu, and others, "Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a Breathing Thermal Manikin", *Scientific Reports*, 2019, **9**, 8670.
9. Behind the break, Exploring Fibre Fragmentation, TMC & Fashion for Good, 2025.
10. Textile Exchange, Preferred fibre and Materials Market Report, 2024.
11. European Commission, Annex C(2024) 1459 final of Directive(EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council.
12. European Chemicals Agency(ECHA), European Commission Annex XVII of Regulation(EC) No.1907/2006 'Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals'(REACH).
13. European Food Safety Authority(EFSA), European Food Safety Authority EFSA, 2016.
14. US California State Water Board, State Water Resources Control Board Resolution No 2020-0021. "Adoption of definition of "Microplastics in Drinking Water".
15. US National Oceanic & Atmospheric Administration(NOAA) and Environmental Protection Agency(EPA), Interagency Marine Debris Coordinating Committee(IMDCC), 2024.
16. The Microfiber Consortium, TMC glossary of terms(2023).
17. ISO 24187:2023 Principles for the analysis of microplastics present in the environment.
18. ISO 5157:2023 Textiles - Environmental aspects - Vocabulary.
19. ISO 4484-2:2023 Textiles and textile products -Microplastics from textile sources -Part 2: Qualitative and quantitative analysis of microplastics.
20. ASTM D8332-20 Standard Practice for Collection of Water Samples with High, Medium, or Low Suspended Solids for Identification and Quantification of Microplastic Particles and fibres.

21. AATCC TM212-2021 Test Method for fibre Fragment Release During Home Laundering.
22. R. Thompson, W. Courteney-Jones, J. Boucher, S. Pahl, K. Raubenheimer, and A. Koelmans, "Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned?", *Journal of Bio-X Research*, 2024, **386**(6720).
23. Thompson, R.C, et al. (2024). Science.
24. European Commission. (n.d.) Plastics strategy. Available at: https://environment.ec.europa.eu/strategy/plastics-strategy_en#documents
25. European Chemicals Agency. (n.d.). Microplastics. Available at: <https://echa.europa.eu/hot-topics/microplastics>
26. Europa.eu. (2024). Register of Commission Documents. Available at: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2023\)645&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2023)645&lang=en)
27. Europa.eu. (2024). Register of Commission Documents. Available at: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2023\)645&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2023)645&lang=en)
28. Ministère de la Transition Écologique. (2020). Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire. Available at: <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-anti-gaspillage-economie-circulaire>
29. Congress.gov. (2020) S.1982 - Save Our Seas 2.0 Act. Available at: <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/senate-bill/1982>
30. Connecticut General Assembly. Raised Bill No. 341, February Session 2018, LCO No. 1411 - An Act Concerning Clothing Fiber Pollution. Available at: <https://www.cga.ct.gov/2018/TOB/s/2018SB-00341-R00-SB.html>
31. California Ocean Protection Council. (2022). Statewide Microplastic Strategy. Available at: https://www.opc.ca.gov/webmaster/ftp/pdf/agenda_items/20220223/Item_6_Exhibit_A_Statewide_Microplastics_Strategy.pdf
32. California Ocean Protection Council. (2022). Statewide Microplastic Strategy. Available at: https://www.opc.ca.gov/webmaster/ftp/pdf/agenda_items/20220223/Item_6_Exhibit_A_Statewide_Microplastics_Strategy.pdf
33. Australian government, Department of agriculture, water and the environment, National Plastics Plan, 2021
34. Government of Canada. (2018). Canada's Zero Plastic Waste Agenda. Available at: <https://www.canada.ca/en/environmentclimate-change/services/managing-reducing-waste/reduce-plastic-waste/canada-action.html>
35. Legislative Assembly of Ontario. (2021). Bill 279, Environmental Protection Amendment Act (Microplastics Filters for Washing Machines), 2021. 42nd Parliament, 1st Session. Available at: <https://www.ola.org/en/legislative-business/bills/parliament-42/session-1/bill-279>
36. 국제 플라스틱 규제의 태동과 국내 플라스틱 규제법의 개선방안, 2024.
37. 환경부, 생활화학제품 및 살생물제의 안전관리에 관한 법률, 2024.
38. 식품의약품안전처, 화장품법, 2025.4.1.
39. 식품의약품안전처, 약사법, 2020.4.7.
40. 대한화장품협회, 플라스틱 마이크로비즈 사용에 대한 자율 규약, 2016.
41. <https://greenium.kr/news/59514/>, 국제 플라스틱 협약 주요쟁점, 2024.12.26.
42. <http://www.netzeronews.kr/news/articleView.html?idxno=1754>, 탈플라스틱과 재생원료 사용 활성화 국제포럼, 2024.11.27.
43. <https://www.electroluxgroup.com/en/electrolux-launches-microplastic-filter-to-help-tackle-rising-tide-of-plastic-pollution-34151/>, 2022.3.31.
44. 가정용 세탁기용 미세섬유 필터 출시, Cleaners monthly, 2024.9.11.
45. <https://www.aeg.co.uk/care/inspiration/microplastic-filter?srsltid=AfmBOoppDTneHSpjBc7dmb5hE6lhc0W23BIMQsWfLoWG0EkLe6nTAxf>
46. <https://planetcare.org/>
47. <https://www.filtrol.net/>
48. <https://www.gulp.online>
49. <https://xerostech.com>
50. <https://www.cleanr.life/>
51. Anna M. Posacka, Peter S. Ross. 2024. Tackling microfibre pollution through science, policy and innovation, a framework for canadian leadership, Ocean Diagnostics & Raincoast conservation foundation.
52. <https://cascale.org>
53. <https://www.microfibreconsortium.com>
54. <https://euratex.eu>
55. <https://ocean.org/>
56. <https://www.europeanoutdoorgroup.com>
57. <https://www.fashionforgood.com/>
58. Article 13(6) of EU Directive 2020/2184 Methodology to measure microplastics in drinking water intended for human consumption.
59. ASTM D8332-20 Standard Practice for Collection of Water Samples with High, Medium, or Low Suspended Solids for Identification and Quantification of Microplastic Particles and fibres.
60. ASTM D8333-20 Standard Practice for Preparation of Water Samples with High, Medium, or Low Suspended Solids for Identification and Quantification of Microplastic Particles and fibres Using Raman Spectroscopy, IR Spectroscopy, or Pyrolysis-GC/MS.
61. ASTM D8489-23e1 Standard Test Method for Determination of Microplastics Particle and Fibre Size, Distribution, Shape, and Concentration in Waters with High to Low Suspended Solids Using a Dynamic Image Particle Size and Shape Analyzer.
62. ISO 4484-1:2023 Microplastics from textile sources. Part 1:Determination of material loss from fabrics during washing.
63. ISO 4484-2:2023 Microplastics from textile sources. Part 2:Qualitative and quantitative analysis of microplastic.
64. ISO 4484-3:2023 Microplastics from textile sources. Part 3: Measurement of collected material mass released from textile end products by domestic washing method.
65. AATCC TM212-2021 Test Method for Fiber Fragment Release During Home Laundering.
66. DIN SPEC 19292-2024-12 Textiles - Test method for determination of fiber shedding potential during simulated washing.
67. ISO 6330:2021 Textiles — Domestic washing and drying procedures for textile testing.
68. EUROPEAN COMMISSION, EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles, 2022.