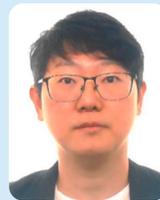


# 가전제품에서 배출되는 미세플라스틱 동향과 분석방법



최범진

- 2002. 한양대 화학공학과 학사
- 2004. 한양대 화학공학과 석사
- 2004-현재. (재)KATRI시험연구원 전기전자팀 팀장



김영수

- 2006. 인하대 섬유공학과 학사
- 2007-현재. (재)KATRI시험연구원 전기전자팀 책임연구원

## 1. 서 론

현재를 살아 가는 우리의 일상은 플라스틱을 빼놓을 수 없는 세상이 되었다. 매년 해양으로 유입되는 플라스틱 중에 1천만 톤 당 5조각 이상의 플라스틱이 바다를 순환하는 것으로 추정되고 있다. 이 조각들이 먹이사슬(food chain)을 통해 최상위 육식자(top predator)인 인류의 식탁으로 유입되어 우리의 건강이 위협받고 있는 실정이다.



Figure 1. 세탁기에서 배출되어 해양으로 흘러들어가는 폐플라스틱의 종류.

(출처 : This Is The First Ever Microplastics Filter For Washing Machines, Andrea D. Steffen, 2019. [www.intelligentliving.co](http://www.intelligentliving.co))

지구상에 플라스틱이 출현하게 된 것은 당구공으로부터 기원한다. 19세기까지의 당구공은 상아로 제작되었는데, 이로 인한 코끼리의 살상을 줄이고자 대체물질을 개발하게 되었으며 19세기 말 미국의 하이아트가 질산섬

유를 이용하여 합성한 셀룰로이드(celluloid)가 세상에 탄생하게 되었으며 이것이 플라스틱의 원조라 여겨지고 있다.(출처 : 셀룰로오스의 열가소화와 용융방사에 의한 섬유화 기술. 황선일(KISTI, 2012). 한국과학기술정보연구원, 한국 섬유공학의 자존심 지킨다. 임승순(한양대, 2016). 한양뉴스, 폭발하는 당구공과 최초의 인조섬유 ‘레이온’. 안동진(2021). 한국섬유신문)

하이아트에 의해 실용화에 성공한 셀룰로이드 다음 세대의 플라스틱으로는 페놀수지인 베이클라이트(bakelite)가 있다. 베이클라이트는 이름이 유사한 벨기에에 미국 화학자 베이클랜드가 발명하였는데, 그는 전기절연체로 적합한 물질을 찾던 중 베이클라이트를 개발하게 된다. 셀룰로이드는 필름의 재료로 이용되면서 영화산업을 이끌었고, 이후 플라스틱을 다양한 종류의 소비재에 많이 활용하며 플라스틱의 시대(plastic era)가 열리게 되었고, 화학산업의 점진적 발달에 힘입어 여러 화학물질을 이용하여 수많은 종류, 다양한 특성을 가진 플라스틱이 만들어지게 되었다.

다양한 플라스틱의 생산이 세계 각지에서 이루어지고 있고, 생산량은 나날이 증가하고 있는 상황으로 세계자연보전연맹(IUCN)에 따르면 해양으로의 미세플라스틱 연간 유입량은 100만 톤이며 이 중 35% 가량이 세탁물에서 배출되는 미세섬유이다. 미세섬유(microfiber)는 폴리에스터, 아크릴, 나일론 등의 합성섬유 소재의 의류에서 배출되며 하수처리장에서도 완전하게 제거되지 않는다.

세탁기에 못지않게 의류 건조기에서 배출되는 미세섬유도 미세플라스틱 해양 유입의 주요 출처로 지목되고 있다. 타인의 시선이 닿는 곳에 빨래를 널어 말리는 것을 꺼리는 영미권과 서유럽의 문화적 특성으로 인해 실내에서 세탁물을 건조할 수 있는 장치의 필요성에 따라 세상에 등장하게 된 의류 건조기는 작동 원리에 따라 크게 벤트방식, 콘덴싱방식(히트펌프 방식)으로 나뉘는데, 밀폐구조인 콘덴싱방식과 달리 벤트방식으로 작동하는 건조기는 미세섬유를 배출한다.

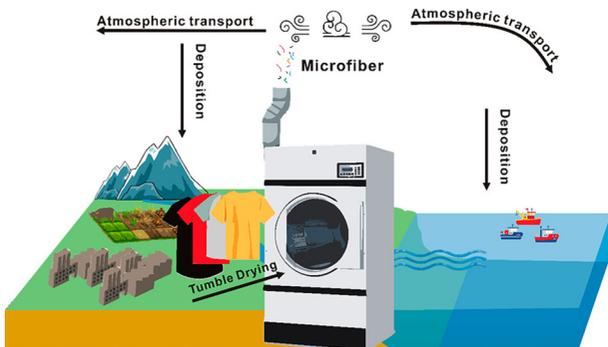


Figure 2. 의류 건조기에서 배출된 미세플라스틱의 해양 유입 모식도. (출처 : Danyang Tao et al., 2022 Environ. Sci. Technol. Lett. 2022, 9, 2, 120-126)

## 2. 미세플라스틱 동향 및 관련 정책

### 2.1. 국내외 미세플라스틱 발생 현황

전 세계적으로 1960년대 이후부터 플라스틱의 사용량이 급격하게 증가되었다. 1950년 2백만 톤에서 2015년 407백만 톤으로 65년 간의 생산량은 8,300백만 톤이 생산되어 약 200배 이상 급격히 증가된 것으로 보고되고 있다(Figure 3). 2015년 기준 약 302백만 톤의 플라스틱 폐기물이 발생한 것으로 추정된다.

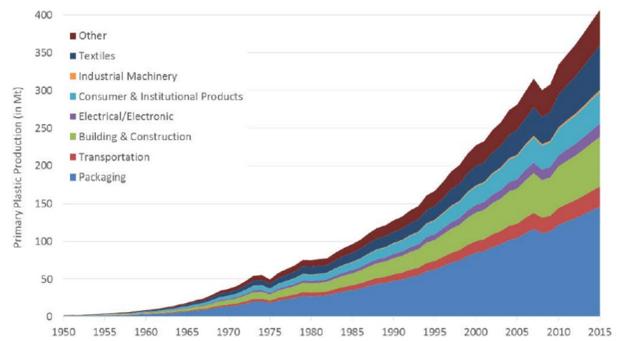


Figure 3. 전 세계 용도별 플라스틱 생산량. (출처 : Geyer, Jamback, and Law(2017). 홍수열(Nodate) p.4)

국내에서도 플라스틱 원료 생산량은 2016년 기준 21백만 톤이며, 이 중 수출량을 제외하고 11백만 톤을 국내에서 사용하고 있다. 또한 플라스틱 폐기물 발생량은 약 10.1백만 톤으로 보고되고 있다. (출처 : 국내외 플라스틱 폐기물 문제 현황 및 해결방안(KEITI, 홍수열, 2018, p.7)

### 2.2. 국내외 미세플라스틱 관리 동향 및 산업 동향

#### 2.2.1. EU

유럽연합(EU)은 미세플라스틱이 비의도적으로 환경에 배출되는 것을 줄이기 위해 미세플라스틱 전반을 규제하는 데 대한 전문가 의견 수렴을 진행 중이다. 유럽집행위원회는 이를 바탕으로 올 4분기 관련 제안서를 채택한다는 계획이다. 라벨링, 표준화, 인증 및 규제 조치에 중점을 두고 미세플라스틱 배출량 관리 조치들이 검토될 전망이다.

유럽위원회(European Commission)는 ECHA<sup>1)</sup>에 인체 건강이나 환경에 위험을 초래하는 물질을 제한하기 위한 REACH 절차에

<sup>1)</sup>ECHA(European Chemicals Agency) : 유럽화학물질청. REACH(Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)로 불리는 유럽연합 규제 구현체의 기술적, 행정적인 부분을 관리하는 유럽연합의 기관

따라, 제품에 의도적으로 첨가된 미세플라스틱에 대한 EU 차원의 규제 조치를 마련하는 과학적 증거를 평가하도록 요구하였다. 이에 ECHA는 모든 종류의 소비자제품에 의도적으로 첨가된 미세플라스틱의 제한 준비서 작업(REACH Annex XV restriction dossier)에 착수하였고 제한 보고서를 제출까지 마친 상태이다. 이 보고서에 포함된 내용을 바탕으로 미세플라스틱의 사용이 위험을 초래하는지 여부를 결정하고, 잠재적 제한의 사회경제적 영향을 평가하는 데 사용될 것으로 보고되고 있다.

또한, 유럽식품안전청은 식품 내 미세플라스틱 및 나노플라스틱에 대한 과학적 증거를 검토하고 있다. 나노플라스틱은 미세플라스틱의 파편으로 생성되기도 하고 산업공정에서 많이 사용되는 공학 소재(engineered material)에서 유래된다. 크기는 0.001~0.1 μm로 미세플라스틱에 비해 작으며, 크기가 작을수록 생물체 내에서 부작용 및 전위(dislocation)가 우려되므로 주목해야 한다.

EU 국가 중에서도 특히 영국과 프랑스는 세탁에서 발생하는 미세플라스틱을 줄이기 위해 세탁기 필터 의무화를 추진하고 있다. 프랑스는 ‘낭비 방지 및 순환경제법’을 제정하여 2025년 1월 1일부터 자국 내 판매되는 모든 세탁기에 미세플라스틱을 거를 수 있는 합성섬유 필터를 장착할 것을 의무화했다. 영국의 해양보호협회는 새롭게 생산되는 가정용·상업용 세탁기에 미세섬유 필터 설치를 의무화하는 법안(‘Microplastic Filters (Washing Machines) Bill’)을 발의한 상태이다.

### 2.2.2. 미국

미국은 「연방식품·의약품·화장품법(Federal Food, Drug, and Cosmetic Act)」을 개정하여 2015년 12월 28일 「Microbead-free Waters Act」를 발효하였다. 이는 신체 또는 신체 일부의 각질 제거(exfoliate) 또는 세정(cleanse)하는 데 사용되는 5 mm 이하의 고형 플라스틱 입자를 함유한 화장품 또는 비치방 의약품의 제조 또는 유통을 금지하는 법안이다.

동법에서 화장품의 경우 2017년 7월 1일부로 제품에 의도적으로 첨가된 플라스틱 마이크로비즈가 함유된 린스오프 화장품 생산 금지 및 1년 후 주간(interstate) 상업거래를 금지한다. 처방전 없이 구매할 수 있는 약품으로 분류되는 경우 2018년 7월 1일부로 생산 금지 및 1년 후 주간(interstate) 상업거래를 금지한다. 린스오프 제품에는 충치 예방의(불소) 치약, 여드름 스크럽, 향균 비누, 비듬 샴푸 등을 포함한다.

한편, 미세플라스틱 관련 섬유배출에 대한 규제가 뉴욕주, 코네티컷주에서 법률안으로 제정하는 것에 대해 상호 논의 중이다. 캘리포니아주에서는 미세플라스틱 오염 감소를 위해

2025년 판매되는 신제품 세탁기에 미세섬유 필터 장착을 의무화하는 법안(‘California Assembly Bill No. 1724’)이 제출되었다.

### 미세플라스틱 관련 해외 규제 동향



Figure 4. 미세플라스틱 관련 해외 규제 동향. (출처 : 더불어민주당 이수진 의원실)

### 2.2.3. 한국

현재, 한국은 의도적 미세플라스틱의 발생을 막는 정도의 규제가 시행되는 정도다. 풍화나 마모 등에 의해 비의도적으로 발생하는 미세플라스틱에 대한 대책은 미비하다. 현행 법령에서는 환경부에서 관리하는 생활화학제품 가운데 위해성 평가를 한 결과 위해성이 있다고 인정되는 제품을 안전확인대상생활화학제품으로 지정·고시하고 세정제, 제거제, 세탁세제, 표백제, 섬유유연제 등 5종의 제품에 미세플라스틱 함유를 금지하고 있다.

Table 1. 미세플라스틱을 원료로 사용할 수 없는 화장품

구분	금지	국가	한국
고시원료명	미세플라스틱(세정, 각질제거 등의 제품*에 남아있는 5mm 크기 이하의 고체플라스틱)		
	* 「화장품 사용할 때의 주의사항 및 알레르기 유발성분 표시에 관한 규정」 별표 1에 따른 다음 각 목에 해당하는 유형 가. 영·유아용 제품류 중 - 영·유아용 샴푸, 린스 - 영·유아용 인체 세정을 제품 - 영·유아용 목욕용 제품 나. 목욕용 제품류 다. 인체 세정을 제품류 라. 두발용 제품류 중 - 헤어 컨디셔너, 린스, 샴푸 - 그 밖의 두발용 제품류(사용 후 씻어내는 제품에 한함) 마. 면도용 제품류 중 - 세이빙 크림, 세이빙 폼 - 그 밖의 면도용 제품류(사용 후 씻어내는 제품에 한함) 바. 기초화장용 제품류 중 - 팩, 마스크(사용 후 씻어내는 제품에 한함) - 손·발의 피부연화 제품(사용 후 씻어내는 제품에 한함) - 클렌징 워터, 클렌징 오일, 클렌징로션, 클렌징 크림 등 메이크업 리무버 - 그 밖의 기초화장용 제품류(사용 후 씻어내는 제품에 한함)		

(출처 : 식품의약품안전처 의약품통합정보시스템 공식 홈페이지)

「화장품 안전기준 등에 관한 규정」, 「의약외품 품목허가 신고·심사규정」에서도 미세플라스틱을 일부 다루고 있는데, 식약처는 2017년 1월 「화장품 안전기준 등에 관한 규정」에 화장품에 사용할 수 없는 원료로 미세플라스틱(세정, 각질제거 등의 제품에 남아있는 5 mm 이하의 고체플라스틱)을 추가하였다. 이에 해당하는 품목은 Table 1과 같다.

#### 2.2.4. 미세플라스틱 관련 가전업체 대응 현황

우리나라를 대표하는 가전 제조사인 LG와 삼성은 현재 판매 중인 세탁기에 미세플라스틱 배출 수치를 줄인 저감코스를 탑재하기도 하고, 어플리케이션을 통해 해당 세탁코스를 다운로드 받을 수 있도록 서비스를 제공하기도 했다. 또한, 사용 중인 세탁기를 새 제품으로 교체하는 것은 현실적으로 쉽지 않기에 이에 대한 방안으로 세탁기에 별도로 부착하는 저감 장치를 출시하기도 했다. 관련 업계에서는 이러한 저감 제품을 다양한 방식으로 접근하는 시도가 진행되고 있다.



Figure 5. 미세플라스틱 저감 코스.  
(출처 : LG전자 공식 홈페이지)



Figure 6. 미세플라스틱 저감 장치.  
(출처 : 삼성전자 공식 홈페이지)

해외기업의 실질적인 제품 개발도 이어지고 있다. 출시할 때부터 미세플라스틱을 걸러내는 마이크로필터가 장착되는

세탁기 타입과 사용 중인 세탁기에 필터를 장착하여 사용하는 필터 부착형의 2가지로 나뉘는데, 2019년 튀르키예의 가전업체 ‘Arçelik’은 90% 이상의 미세플라스틱을 걸러낼 수 있는 필터가 장착된 세탁기를 출시하였으며, 독일의 가전업체 ‘Grundig’에서도 90% 이상의 미세플라스틱 필터링이 가능한 세탁기(FiberCatcher™)를 선보였다.



Figure 7. 유럽지역의 미세플라스틱 필터 개발 사례  
(출처 : 4개사 공식 홈페이지)  
[www.xerostech.com/filtration/](http://www.xerostech.com/filtration/), [planetcare.org](http://planetcare.org), [www.electroluxgroup.com](http://www.electroluxgroup.com), [www.gulp.online](http://www.gulp.online)

또한 영국기업 ‘Xeros Technology Group’에서는 2가지 타입의 부착형 필터를 출시하였다(가정용 XF1, 산업용 XF2). 슬로베니아의 스타트업 ‘PlanetCare’에서는 세탁기에 부착하는 미세플라스틱 필터링 장치(planetcard 2.0)을 판매하고 있고, 스웨덴의 ‘Electrolux’는 재활용 플라스틱으로 만든 필터를 개발하였으며, 영국의 스타트업 ‘Matter’는 기존 세탁기에 장착하여 배수관 앞단에서 미세플라스틱을 걸러주는 ‘걸프(gulp)’라는 부착형 필터를 선보였다.

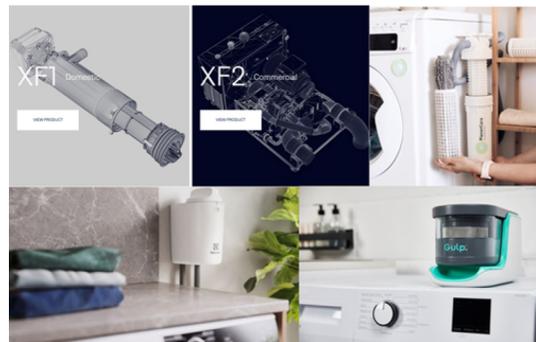


Figure 8. 유럽지역의 미세플라스틱 필터 개발 사례  
(출처 : 4개사 공식 홈페이지)  
[www.xerostech.com/filtration/](http://www.xerostech.com/filtration/), [planetcare.org](http://planetcare.org), [www.electroluxgroup.com](http://www.electroluxgroup.com), [www.gulp.online](http://www.gulp.online)

## 3. 미세플라스틱 시험방법과 표준화 동향

### 3.1. 가전제품 분야 미세플라스틱 표준

현재 미세플라스틱 관련 시험방법 표준화는 ISO/TC 61/SC 14/WG 4에서 시작하여 ISO/TC38(섬유), ISO/TC167(수질)의 SC 2/JWG 1과 SC 6에서 진행되고 있으며, IEC에서는 IEC/TC 59/SC 59D(세탁기)에서 AG 17에서 표준개발을 논의하고 있다.

특히, 가전제품 미세플라스틱 배출과 관련하여 세탁기와 건조기 사용 및 제품 폐기 시 배출되는 미세플라스틱이 수질, 토양 등 환경오염을 야기하는 국제적 이슈로 제기됨에 따라 대체 소재 개발 및 연구가 활발한 추세이다.

#### 3.1.1. 가정용 세탁기 표준

세탁기 사용에 따른 미세플라스틱 관련 표준은 ISO/TC38/WG34(Microplastics from textile sources)에서 세탁 시 섬유에서 탈락되는 미세플라스틱의 정성·정량 분석 시험표준인 ISO 4484 시리즈 표준이 개발되고 있다.

Table 2. 세탁기에서 배출되는 미세플라스틱 관련 표준화 현황

표준번호	표준명	단계	주도국
ISO 4484-1:2023	Textiles and textile products — Microplastics from textile sources — Part 1 : Determination of material loss from fabrics during washing	60.60	스위스
ISO 4484-2:2023	Textiles and textile products — Microplastics from textile sources — Part 2 : Qualitative and quantitative analysis of microplastics	60.60	이탈리아
ISO 4484-3:2023	Textiles and textile products — Microplastics from textile sources — Part 3 : Measurement of collected material mass released from textile end products by domestic washing method	60.60	일본

(출처 : TC 동향보고서-섬유환경의료분야, KATRI시험연구원 발간자료)



Figure 9. ISO 4484-1 표준에 따른 가속 세탁 장치(Laundry-Ometer®).  
(출처 : SDLATLAS 공식 홈페이지)

3.1.1.1. ISO 4484-1 주요 내용(Microplastics from textile sources, Part 1: Determination of fibre loss from fabrics during washing)

세탁 과정에서 섬유 조각의 탈락이 일어나는 것을 정량화하기 위한 표준이다. 가정용 세탁기 및 산업용 세탁기를 대신하여 기계적, 물리적, 화학적 변수요인을 줄이고, 다양한 조건을 능동적으로 컨트롤하기 위해 가속 세탁 장치를 사용하여 시험을 진행하고 정량화하는 내용을 담고 있으며, 세제에 의한 영향을 없애기 위해 세탁세제를 사용하지 않고 랩스케일로 평가하도록 기술되어 있다.

평가 방법은 전자저울을 사용하여, glass fibre filter를 통해 포집된 섬유 조각의 질량을 구하는 방식이다.

3.1.1.2. ISO 4484-2 주요 내용(Microplastics from textile sources — Part 2: Qualitative and quantitative analysis of microplastics)

세탁 과정에서 포집된 미세조각들이 모두 미세플라스틱이 아니기 때문에, 이에 대해 무기 오염물 및 유기오염물(생물학적 등)을 제거하는 전처리가 필요하며 그에 대한 내용을 담고 있다. 분석법에 대한 사항으로는 광학현미경(optical microscope)에 의한 시료의 예비적 관찰방법, 분자분광법에 의한 미세플라스틱 식별에 대해 다르다.

분석 장비로는 MicroFTIR 및 MicroRaman을 사용하여 정량하며, submicron 크기까지 카운팅한다.



Figure 10. Examples of filtration system and filters.  
(출처 : ISO 4484-2 Fig.1)

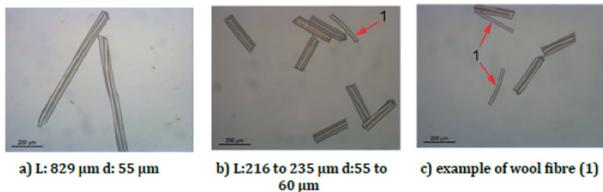


Figure 11. O.M. Images of polyamide fibres cut with microtome to 800 μm and 200 μm. (출처 : ISO 4484-2 Fig.11)

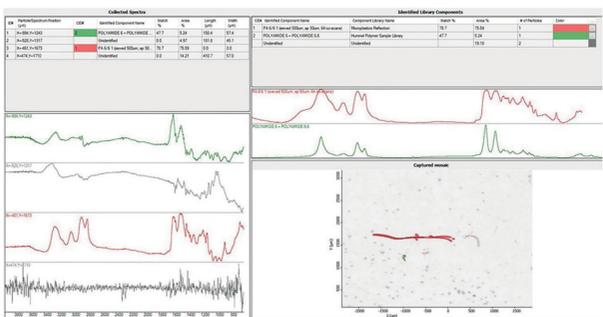


Figure 12. Examples of automatic image analysis (MicroFTIR). (출처 : ISO 4484-2 Fig.28)

### 3.1.1.3. ISO 4484-3 주요 내용 (Microplastics from textile sources — Part 3: Measurement of collected material mass released from textile end products by domestic washing method)

가정용 세탁기의 사용 시 배출되는 섬유 조각들(fiber fragments)로부터 미세플라스틱을 필터링하고 정량화하는 내용을 담고 있다. 섬유 조각 포집용 filter bag을 세탁기 배기 호스(outlet hose)에 연결하여 포집한다. 포집된 섬유 조각들을 micro vacuum 펌프가 연결된 장치에 polycarbonate membrane 필터(47 mm diameter, 10 μm aperture)로 여과하여 미세플라스틱을 얻는다.

### 3.1.2. 건조기 표준

세탁기와 함께 미세플라스틱 배출 제품군으로 지목되고 있는 건조기의 경우 미세플라스틱 배출량 분석 방법에 대해 국가 또는 국제 수준의 표준화는 논의 단계에 머물러 있는 상황으로 KATRI시험연구원에서는 건조기 배출 미세플라스틱분석법 내부 프로토콜을 마련하여 세탁기 미세플라스틱 배출 분석 서비스(ISO 4484-3)를 제공하고 있다(출처 : 산업인뉴스 www.sanupin-news.kr/news/articleView.html?idxno=5229).

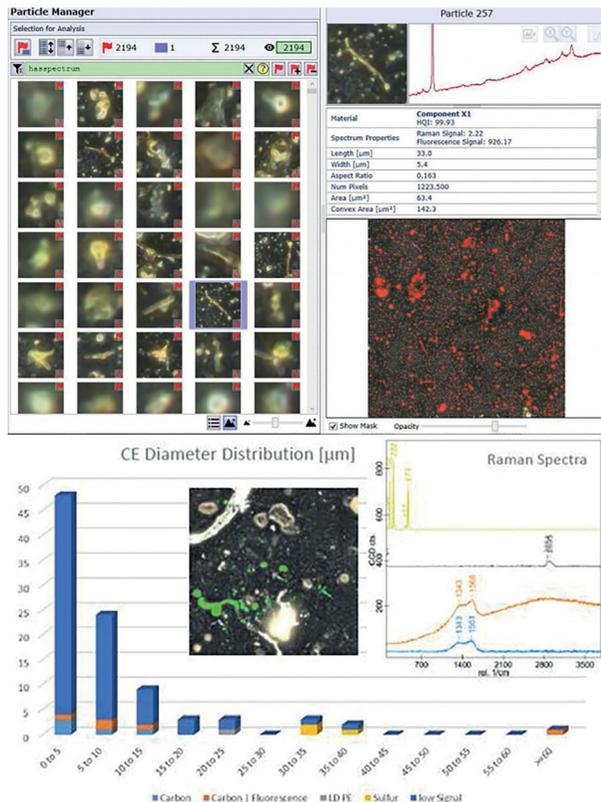


Figure 13. Counting, chemical identification and dimensional distribution of MP particles (diameter) collected on a silicon filter (MicroRaman). (출처 : ISO 4484-2 Fig.29)

### 3.1.2.1. KATRI시험연구원 미세플라스틱분석법(건조기)

건조기의 건조 메커니즘은 외부에서 공기가 건조기 내부로 유입되고 내부 heater로 가열된 고온의 공기가 드럼 내부를 순환하고 내부 필터에서 먼저 미세플라스틱(섬유 조각)이 걸러진 후 내부 배관 등을 지나 외부로 공기가 배출되는데, 대표적으로 가정에서 사용하는 의류 건조기는 Figure 14에서 보는 바와 같이 vent(열풍배기식), condensing(열풍제습식), 히트펌프(heat pump, 저온제습식)로 대표적으로 크게 3가지로 나뉜다.

KATRI시험연구원은 발간된 ISO(4484-1, -2, -3) 및 AATCC TM 212 시험방법을 검토하고, 섬유 이외에도 영향을 주는 주요한 요소가 건조기임을 감안하여 IEC 61121 건조기 성능 측정방법도 고려하는 방향으로 분석법을 설계하였다. 또한 건조기 내부 구조 및 공기의 흐름을 고려하여 건조기의 성능을 저해하지 않고 포집이 가능한 방법으로 다른 제품인 세탁기 등과의 결과 수치를 비교할 수 있도록 고려한 미세플라스틱 배출량 평가 프로토콜을 개발하였다.

## 건조기 종류

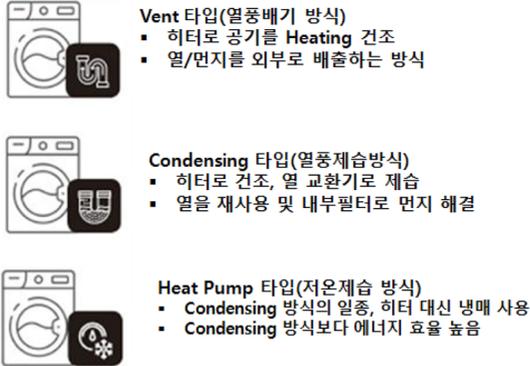


Figure 14. 작동방식에 따른 건조기의 종류.  
(출처 : 한국일보 경제 보도자료, 2019.09.25)

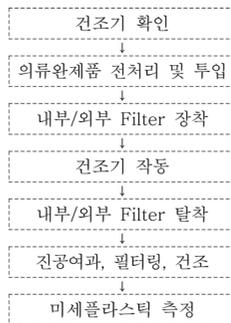


Figure 15. 미세플라스틱 배출량 시험법 모식도.  
(출처 : KATRI시험연구원 미세플라스틱분석법(건조기))



Figure 16. 진공여과, 필터링 장치(좌), nylon filter bag-10 mm(중,우).  
(출처 : KATRI시험연구원 미세플라스틱분석법(건조기))

건조기 미세플라스틱 배출량 시험법으로 수집, 여과, 필터링, 건조 과정을 거친 포집된 미세플라스틱은 아래의 사진과

같은 형태로 membrane filter(10 μm)에 채취되어지며, 이를 전자현미경으로 보면 아래 그림과 같은 형태로 관찰이 되는데 이로 보아 미세플라스틱 양을 갯수로 counting 하기에는 한계가 있는 점을 고려하여 시험방법의 결과값을 mg/kg 단위(1 kg 당 발생하는 미세플라스틱의 양 mg)으로 나타내었다.



Figure 17. Membrane filter 위 미세플라스틱(좌), 전자현미경 사진(중), FT-IR spectrum(우).  
(출처 : KATRI시험연구원 미세플라스틱분석법(건조기))

## 4. 결 론

본 고에서는 미세플라스틱 배출과 관련하여 관심 받고 있는 가전제품 배출 미세플라스틱에 대하여 국내외 연구동향, 표준동향 및 분석법을 살펴보았다. 미세플라스틱 배출 대표 제품군인 세탁기 및 건조기는 가정용은 물론 상업용으로도 일상에서 반복적으로 사용되는 제품으로서 미세플라스틱 배출과 관련한 조사 및 연구가 적극적으로 이루어져야 함에도 아직까지는 연구자들의 많은 관심을 받지는 못하고 있는 실정이다. 이는 해당 제품군에서 배출되는 미세섬유의 채취방법 및 분석 방법에 대해 세탁기 관련 표준절차가 마련되었으나 미세플라스틱 분석 결과를 얻기까지는 많은 시간과 노력이 소모되어 분석 단가가 높은 것과 밀접한 연관이 있으며, 건조기의 경우에는 표준절차조차 마련되지 않은 것이 주된 원인으로 볼 수 있다. 다만, 각 국가별로 가전제품 미세플라스틱 배출 관련 규제가 강화되는 추세에 따라 환경단체의 관심도 증가 및 제조업계의 대응강화 움직임이 일어나고 있어, 관련 조사 및 연구활동에 활력을 불어넣을 수 있을 거라 기대한다. 미세플라스틱의 인체 위해성에 대한 우려들이 고조되는 가운데 우리나라에서도 이와 관련한 조사 및 연구가 탄력을 받을 수 있기를 기대한다.

## 참고문헌

1. This Is The First Ever Microplastics Filter For Washing Machines. Andrea D. Steffen, 2019. [www.intelligentliving.co](http://www.intelligentliving.co)

2. Danyang Tao et al., Microfibers Released into the Air from a Household Tumble Dryer. *Environ. Sci. Technol. Lett.* Vol. 9, No. 2, pp. 120–126, 2022.
3. Kärkkäinen, N.; Sillanpää, M., Quantification of Different Microplastic fibres Discharged from Textiles in Machine Wash and Tumble Drying. *Environ. Sci. Pollut. Res.* Vol. 28, pp. 16253–16263, 2021.
4. Kapp, K. J.; Miller, R. Z., Electric Clothes Dryers: An Underestimated Source of microfiber pollution. *PLoS One* Vol. 15, No. 10, No. e0239165, 2020.
5. O'Brien, S. et al., Airborne Emissions of Microplastic Fibres from Domestic Laundry Dryers. *Science of The Total Environment*, Vol. 747, p. 141175, 2020.
6. Padervand, M., Lichtfouse, E., Robert, D., and Wang, C., Removal of microplastics from the environment. A review, *Environmental Chemistry Letters*, Vol. 18, pp. 807–828, 2020.
7. 이진용, 차지혜, Rogers Wainkwa Chia, 지하수 내 미세플라스틱에 대한 국내외 연구동향 및 전망, *J. Geol Soc. Korea* Vol. 58, No. 2, pp. 233–241, 2022.
8. 박정규 외 4인., 미세플라스틱 관리 동향 및 정책 제언. KEI 정책보고서. 2018
9. 화장품 사용할 때의 주의사항 및 알레르기 유발성분 표시에 관한 규정. *식품의약품안전처고시 제2022-33호*. 2022.4.27
10. ISO 4484-1:2023 Microplastics from textile sources — Part 1: Determination of material loss from fabrics during washing
11. ISO 4484-2:2023 Microplastics from textile sources — Part 2: Qualitative and quantitative analysis of microplastics
12. ISO 4484-3:2023 Microplastics from textile sources — Part 3: Measurement of collected material mass released from textile end products by domestic washing method
13. 이희원 외 3인., 지구를 위한다는 착각: 미세플라스틱의 위험성. *환경독성학회 심포지엄 자료집*. 2023
14. 화장품 중 배합금지성분 분석법 가이드라인(민원인 안내서). *식품의약품안전처*. 2022.6월
15. 세탁기 속 미세플라스틱 이제 KATRI가 잡는다. *산업인뉴스*. 2023.06.21
16. TC동향-섬유환경의료. KATRI시험연구원. 2023.11.13
17. L'Oreal commits to phase out all polyethylene microbeads from its scrubs by 2017. L'Oreal
18. 환경산업기술원(KEITI), 국내외 플라스틱 폐기물 문제 현황 및 해결방안. *홍수열*. 2018
19. 식약처, 미세 플라스틱 규제 제품군 2% 남짓으로 제한. *그린피스 서울사무소*. 2017.01.12
20. 화장품국가별규제정보. *식품의약품안전처 의약품통합정보시스템*. 2023.12.04
21. De Falco et al., Microfiber Release to Water, via Laundering, and to Air, via Everyday Use: a Comparison between Polyester Clothing with Differing Textile Parameters. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 54, No. 6, pp. 3288–3296, 2020.
22. Sillanpää, M.; Sainio, P., Release of Polyester and Cotton Fibers from Textiles in Machine Washings. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Vol. 24, No. 23, pp. 19313–19321, 2017.
23. Bitter, H.; Lackner, S., First Quantification of Semi-Crystalline Microplastics in Industrial Wastewaters. *Chemosphere*, Vol. 258, p. 127388, 2020.
24. Tadsuwan, K.; Babel, S., Microplastic Contamination in a Conventional Wastewater Treatment Plant in Thailand. *Waste Manag. Res.*, Vol. 39, pp. 754–761, 2021.
25. Zhang, Q. et al., A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 54, No. 7, pp. 3740–3751, 2020.
26. Sruthy, S.; Ramasamy, E., Microplastic Pollution in Vembanad Lake, Kerala, India: the First Report of Microplastics in Lake and Estuarine Sediments in India. *Environ. Pollut.*, Vol. 222, pp. 315–322, 2017.