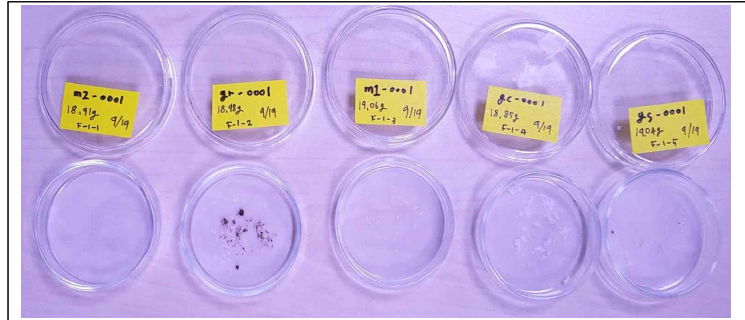


우수학생 과학탐구교실 제9기 탐구 리포트

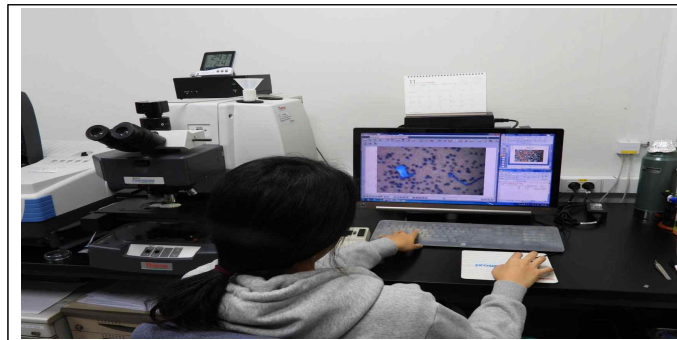
반	탐구조 명 (또는 개인)	고유번호	성명	학교/학년	탐구기간
노벨반	미세플라스틱 연구	21-63	신지원	명선초/6학년	2021.04.01.~2021.09.30.
① 주제명	미세플라스틱으로 인한 환경오염문제 해결방법 탐구				
② 주제내용 요지	코로나 19로 인해 플라스틱 그릇 사용이 늘어나고 요즘에는 우리 몸의 일부처럼 항상 마스크를 사용하는데, 사용하고 버려지는 마스크 또한 미세플라스틱이 되어 우리의 환경을 오염시키는 문제가 심각하게 일어나고 있다. 이런 플라스틱이 바다를 오염시켜 어류에 영향을 미치고 그것을 먹는 우리에게 나쁜 영향을 일으키는데 최근 뉴스에는 이것뿐만 아니라 공기 중에서도 미세플라스틱이 발견되었다는 기사를 보고 플라스틱으로 인한 환경오염 문제가 심각하다고 깨닫고 탐구주제로 선정하여 자세히 알아보고 환경오염을 해결할 수 있는 방법을 탐구하려고 합니다.				
③ 탐구내용	① 탐구하여 찾아낸 사실				
	○ 1. 바다 속 미세플라스틱 함량에 대해 알아본다 - 천일염과 암염을 걸러 미세플라스틱 물질이 있는지 알아 본다 - 주사기에 녹인 액체를 넣고 망에 걸러 분석 장치를 이용하여 현미경으로 관찰하고 분석하여 플라스틱을 알아낸다(분석장치는 기존에 나와 있는 자료를 참고하여 알아본다) [그림 1] 바다생물에서 발견된 미세플라스틱 2019년 부경대 연구팀이 국립환경과학원에 제출한 보고서에 따르면낙동강에서도 미세플라스틱이 발견되고 있다. 강물에서는 m당 112~152개가, 물고기 누치 한 마리당 4.3개, 밀자개는 3.5개, 메기 1.7개, 붕어에서는 0.9개가 검출됐다. 2015년 해양학자들은 전 세계 강과 호수, 바다에 15조에서 51조 사이의 미세 플라스틱 입자가 떠 있는 것으로 추정했다. [그림 2] 바다 미세플라스틱 식탁에 오르는 경로 커다란 플라스틱이 부서져 미세플라스틱이 되지만 아예 처음부터 미세플라스틱 형태로 들어가기도 한다. 세탁기에서 옷을 세탁할 때 합성섬유로부터 미세플라스틱이 떨어져 나오지만, 하수처리시설에서 이를 제대로 걸러내지 못하고 있다. 미국과 캐나다에서 배출되는 미세플라스틱 섬유가 연간 878t에 이른다는 보고도 있다.				

강과 호수로 들어간 미세플라스틱은 수돗물 오염으로 이어질 수 있다. 미국의 경우 수돗물의 90%에서 미세플라스틱이 검출되고 있다. 지난 2017년 국내 일부 수돗물에서도 미세플라스틱이 미량 검출된 사례도 있다.

바다 미세플라스틱은 어패류나 천일염 등을 통해 식탁에 오른다. 지난해 말 한국해양과학기술원 홍상희 박사 등은 '환경오염(Environmental Pollution)' 국제 저널에 게재한 논문에서 국내 연안 굴·담치·바지락 등에서 g당 0.3~0.4개의 미세플라스틱이 검출됐다고 밝혔다.



[그림 3] 물고기 꼬리에서 추출한 미세플라스틱. [국립생태원]

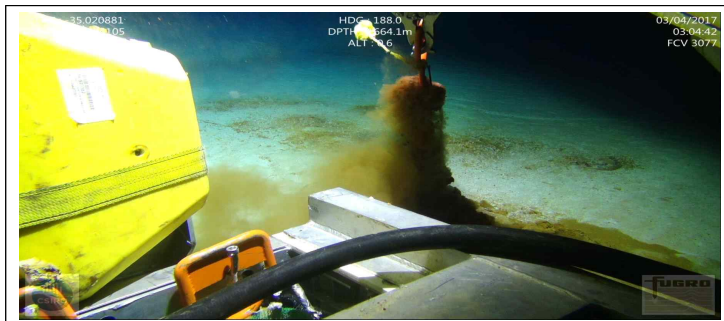


[그림 4] 미세플라스틱 현미경으로 분석

국내 연안의 미세플라스틱 오염도는 당장 큰 문제는 없지만, 장기적으로 문제가 될 수도 있다.

해양수산부는 연안과 바깥 해역 120여 개 정점을 대상으로 바닷물과 해저퇴적물 속 미세플라스틱 농도를 측정, 지난 6월 결과를 공개했다. 현재는 슬러지 투기장 해역 1곳만 '무영향' 예측농도(바닷물 L당 12개 이하, 퇴적물 kg당 11만6000개)'를 초과했지만, 플라스틱 사용량이 계속 증가하면 2066년에는 전체 연안의 10%가 이 기준을 초과할 것으로 해수부는 전망했다.

미세플라스틱은 이제 북극과 남극은 물론 지구에서 가장 깊은 바다 마리아나 해구에서도 발견된다.



[그림 5] 해저 미세플라스틱 시료 채취(호주 국립과학연구소)

전문가들은 인류가 지구 환경을 바꾸고 20세기 후반부터 인류세(人類世, anthropocene)라는 새로운 지질시대를 열었다면, 미세플라스틱은 인류세의 진정한 상징물이 됐다고 지적하고 있다.

신종 코로나바이러스 감염증(코로나19)으로 인해 전 세계에서 엄청나게 사용하는 일회용 보건용 마스크도 문제다.

지난 3월 덴마크·미국 연구팀은 '환경 과학·공학 프런티어(Frontiers of Environmental Science & Engineering)' 저널에 게재한 논문에서 "전 세계적으로 매달 1290억 개의 마스크가 사용되는데, 이 마스크는 미세한 플라스틱 섬유로 만들어져 잠재적으로 생태계에 악영향을 줄 것"이라고 지적했다.



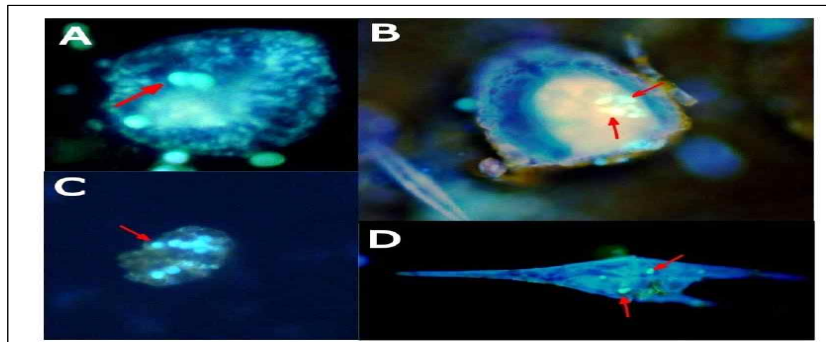
[그림 6] 미세플라스틱 현미경 관찰
(호주 시드니 맥쿼리대학교 미세플라스틱 평가사업 연구단장 스콧 윌슨 박사)

미세플라스틱은 유해물질을 흡착할 수도 있고, 갈라진 틈에 병원균이 자랄 수 있어 작은 동식물이나 사람의 건강을 해칠 우려도 크다.

미세플라스틱 표면에서 다양한 미생물이 모여 얇은 생물막(biofilm)을 형성하는데, 이로 인해 미세플라스틱이 항생제 내성 세균이나 병원체의 운반체 역할을 할 수도 있다. 하수처리장처럼 미생물 농도가 높은 곳에서는 생물막이 쉽게 형성된다.

미세플라스틱은 유해물질이나 병원균을 지닌 채 쉽게 세포 속으로 들어가는데, 이를 '트로이 목마(Trojan horse) 효과'라고도 한다. 그리스·로마 신화에 나오는 트로이 목마처럼 방어막을 교란한 뒤 뚫고 들어가 피해를 준다는 의미다.

미국 로드아일랜드 대학 연구팀은 '해양과학 프런티어(Frontiers in Marine Science)'에 게재한 논문에서 "와편모조류인 자이로디니움(Gyrodinium)의 경우 지름 2.5~4.5 μ m의 공 모양의 폴리스타이렌 미세플라스틱을 삼키는 것을 확인했다"고 밝혔다. 미세플라스틱을 삼킨 자이로디니움은 원래 먹이인 식물플랑크톤을 덜 먹게 돼 5일 동안의 성장 속도가 25~35% 줄었다.



[그림 7] 섬모충(A) 와편모조류(B~D) 미세플라스틱 섭취한 모습 현미경 사진.
(화살표 미세플라스틱 [해양과학 프런티어(Frontiers in Marine Science) (2021)])

멕시코 국립자치대학 연구팀은 최근 국내에서 열린 2021 세계 하천호수학대회(SIL2021)에서 담수 윤충류(輪蟲類)의 경우 30 μ m 크기 폴리스타이렌 미세플라스틱의 반수 치사 농도(LC50, 실험동물의 절반이 죽는 농도)가 21.19mg/L로 나타났다고 밝혔다.

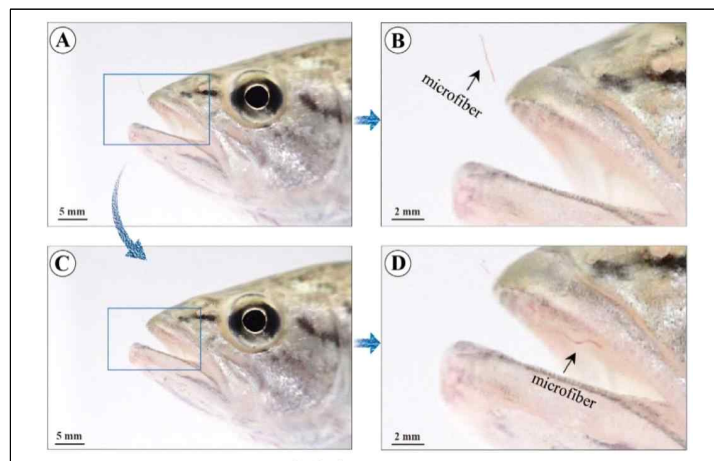
미세플라스틱에 녹조를 일으키는 시아노박테리아에서 독소(마이크로시스틴)를 추출해 첨가했더니, 미세플라스틱 반수 치사 농도가 16.64mg/L로 낮아졌다. 연구팀은 "마이크로시스틴에 함께 노출되면 미세플라스틱의 부정적인 영향이 더 크게 나타나는 것으로 보인다"고 설명했다.



[그림 8] 몸 속 쌓이는 미세플라스틱

네덜란드 바헤닝헌(Wageningen)대학 연구팀은 '환경과학기술(Environmental Science and Technology)' 저널에 게재된 논문에서 18세에 이르면 몸 조직 내에 8300개의 미세플라스틱 입자를, 70세 노인의 경우 5만개가 넘는 입자를 축적하는 것으로 추산했다. 어린이의 경우 1인당 하루 553개, 성인의 경우 하루 883개의 미세플라스틱을 섭취한다고 했을 때, 대부분 배설하지만 그래도 몸에 남는 것이 이 정도다.

네덜란드 암스테르담 자유대학의 딕 베탕 등은 지난 2월 사이언스(Science)에 게재된 글에서 "일부 미세플라스틱은 폐와 장의 피부 장벽을 통과할 수 있는데, 입자 크기가 작을수록 더 잘 흡수된다"며 "흡수 비율은 낮지만, 평생 노출을 고려할 때 조직과 기관에 축적되는 것을 무시할 수는 없다"고 지적했다.



[그림 9] 물고기의 미세플라스틱(미세섬유) 흡입 장면.

([환경과학기술(Environmental Science and Technology), 2021])

실험실 실험 결과에 비춰보면, 미세플라스틱이 복강이나 림프계·순환계로 들어가고 간·신장·뇌 등에 축적될 수도 있다. 이를 통해 산화 스트레스를 일으킬 수도 있고, 사이토킨 분비나 염증·면역 반응, 세포·DNA 손상을 일으킬 수도 있다.

건국대 환경보건과학과 안윤주 교수는 "생태계의 미소 동물이나 쥐 실험, 사람 세포 실험 등에서 미세플라스틱의 위해성을 확인했다는 연구결과가 많이 늘어나고 있지만, 아직은 사람에게 얼마나 해로운지는 알 수 없는 상태"라며 "앞으로도 많은 연구가 필요한 분야"라고 말했다.

○ 2. 공기 속 미세플라스틱 함량에 대해 알아본다

- 빗물을 받아 주사기로 걸러 미세플라스틱이 있는지 분석해 본다.
 - 비가 처음 시작할 때 받아 1번 비이커에 놓고, 비가 계속 오고 나서 4시간 지난 비를 받아 2번 비이커에 놓고, 비가 오고 8시간 지난 비를 받아 3번 비이커에 놓고 분석한다.
- (비가 주기적으로 연속 내리는 날을 선택하여야 하는데 그런 날이 있지 않아 받는데 어려움이 었다)



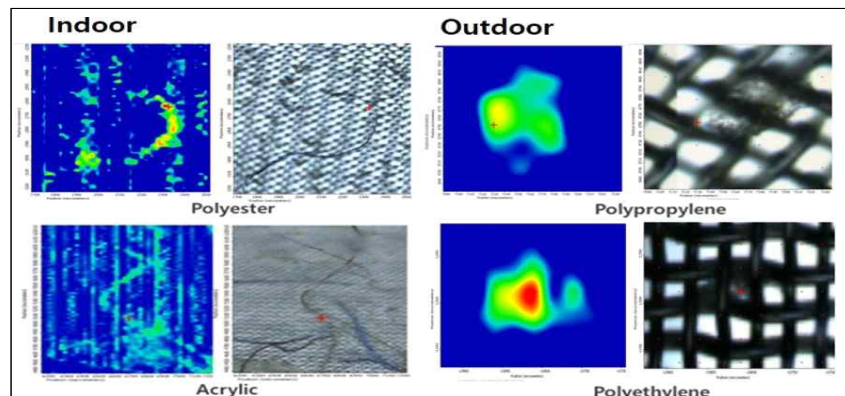
[그림 10] 실내 공기 미세플라스틱 시료 채집



[그림 11] 실외 공기 미세플라스틱 시료 채집

당장 서울 등 수도권의 공기 속에도 미세플라스틱이 들어있다. 서울시 보건환경연구원이 지난해 서울·경기 가정집 5곳의 실내 공기와 집 근처 야외 3곳의 공기를 채집, 비분산 적외선 분광기(FT-IR)로 크기 $20\mu\text{m}$ (마이크로미터, $1\mu\text{m}=1000\text{분의 }1\text{mm}$) 이상의 입자를 분석했는데 29개 시료에서 모두 미세플라스틱이 검출됐다.

공기 중 미세플라스틱은 m^3 당 0.45~6.64개(평균 2.51개)로 조사됐다. 실내공기에서는 m^3 당 평균 3개, 실외공기에서는 평균 1.96개였다. 미세플라스틱 종류는 폴리에틸렌(PE)이 가장 많았고, 실내에서는 폴리에스터와 같은 합성 섬유의 미세플라스틱이 상대적으로 많이 나왔다.



[그림 12] 공기에서 채취한 미세플라스틱 종류별 사진과 비분산 적외선 분광기에 나타난 이미지

최근 서울대 환경대학원 정수종 교수팀도 서울역과 강남구 신사동·대치동 등 서울 시내 5곳서 채집한 공기에서 $20\mu\text{m}$ 이상의 미세플라스틱을 검출했다. 물론 $20\mu\text{m}$ 이상의 큰 미세플라스틱은 대변을 통해 혹은 호흡기나 폐에 침착된 후 점막 세포 청소를 통해 소화관으로 보내져 배설될 가능성이 높다.

서울시 보건환경연구원 최현숙 연구사는 "크기가 작은 입자 중에는 미세플라스틱이 더 들어 있을 가능성이 있어 $20\mu\text{m}$ 이하의 작은 크기의 미세플라스틱에 대한 실태조사도 필요하다"며 "내년쯤에는 서울시에서 관련 연구를 본격적으로 진행할 예정"이라고 말했다.

외국도 상황은 마찬가지다. 영국 런던 중심가에서는 m^3 당 하루에 575~1008개의 미세플라스틱이 가라앉는다는 보고도 있다.



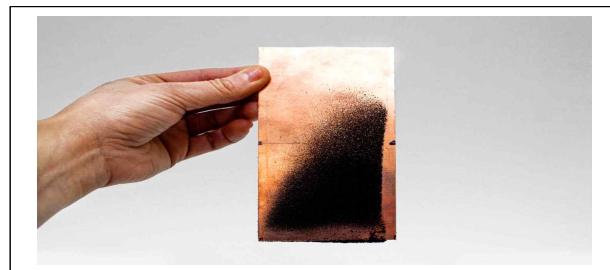
[그림 13] 공기 중 미세플라스틱 예상 이동경로

그렇다면 공기 중 미세플라스틱은 어디서 왔을까.

미국 유타대학 등 국제연구팀은 지난 4월 미국 국립과학원회보(PNAS)에 발표한 논문에서 미국 서부 대기 중의 미세플라스틱은 주로 도로(84%)에서 발생하고, 나머지는 바다(11%)와 농업 토양 먼지(5%) 등에서 발생한다고 발표했다.

도로에서 발생하는 미세플라스틱 중에서 대부분은 타이어 마모에서 발생하는 것으로 알려지고 있다. 마모되는 타이어의 약 절반은 천연 또는 합성 폴리머인데, 유럽 도로에서는 연간 130만t의 타이어 마모가 발생한다.

독일 연구팀은 지난해 3월 '종합 환경과학(Science of the Total Environment)' 저널에 게재한 논문에서 "국가별로 1인당 연간 타이어 마모량이 0.2~5.5kg이 된다"고 밝혔다.



[그림 14] 정전기를 띤 판에 모인 타이어 마모 먼지.
(영국 런던에서 출품돼 상을 받은 학생 발명품)

국내에서는 김용진 목포해양대 해양시스템공학과 교수팀의 분석 결과, 타이어 마모에서 나오는 분진(먼지)의 배출량이 연간 3만9000~7만6000t에 이른다. 국민 1인당 0.78~1.5kg에 해당하는 양으로 독일 연구팀이 제시한 범위에 들어간다.

독일 연구팀은 전체 미세먼지(PM10) 중에서 타이어 마모 먼지가 차지하는 비중을 최대 11%로 평가했고, 터널 안에서는 20%를 차지한다고 설명했다. 타이어 마모 미세먼지의 절반이 미세플라스틱이라면, 타이어 등 미세플라스틱이 도시 미세먼지의 5~10%가량을 차지하는 셈이다.

○ 위에 두 가지가 기존에 계획한 실험이었는데 공기 속 함량 측정 보다는 교수님께서 바닷물을 이용한 실험을 추천해 주셨다 그런데 코로나가 심해 바다에 가지 못해 상황이 좋아져 바다에 가서 바닷물을 이용한 실험을 해 볼 계획이다.

그리고 또 한가지 추천해 주신 것은 바다에 있는 모래를 걸러 모래에 포함되어 있는 미세플라스틱을 알아보는 방법이 있다. 그래서 이 두가지를 진행하려고 하는데 아직 준비가 안되어 계획하고 기존의 자료를 찾아보는 것으로 준비하고 있다.

○ 실험 과정



모래채집



모래에 미세플라스틱 분리



미세플라스틱 육안으로 분석



분리된 플라스틱 현미경 관찰



관찰된 다양한 미세플라스틱



먹이사슬로 인간에 영향

○ 실제 소금물과 바닷물을 이용한 실험 과정

- 천일염, 핑크소금을 녹인 물, 바닷물을 이용한 세 가지 실험군을 세팅



- 소금을 물에 녹여 채에 걸러 주사기를 이용한 거름망에 거름종이를 이용하여 미세플라스틱 검출



- 거름종이를 말려서 눈으로 확인하여 보고, 현미경을 이용하여 정밀하게 모양을 보고 미세플라스틱의 다양한 종류를 추측해봄



- 성분 분석을 통해 정확한 미세플라스틱인지 다른 바다 속 생물(조개껍데기 등)인지 확인이 필요하나 학교 장비로는 분석 능력 부족하여 문헌연구를 통한 이론적 결과를 얻음.

-추가 실험

· 바다 부표 표시 물질 스티로폼 대신 친환경 플라스틱 대체 물질(옥수수추출물, 식물 줄기 이용 등 자연분해 친환경 식용 원료 사용) 사용으로 미세플라스틱 영향 줄이기

· 스티로폼과 플라스틱 대체물질을 물속에서 분해되는 시간 비교 실험

1) 준비물 준비



2) 실험세팅



3) 시간에 따른 결과 관찰하기

일주일 단위로 변화 관찰하기(실험시작 2일 경과)



4) 시간에 따른 결과 관찰하기

일주일 단위로 변화 관찰하기(실험시작 1주 경과)



실험 1주 후 관찰해 보니 스티로폼쪽 부유물이 관찰되고 플라스틱쪽은 변화없어 보인다.

5) 시간에 따른 결과 관찰하기

일주일 단위로 변화 관찰하기(실험시작 2주 경과)



실험 2주 후 관찰해 보니 스티로폼쪽 부유물이 점점 더 많아지고 모양이 줄어들는 것을 관찰할 수 있고 플라스틱쪽은 큰 변화없어 보이나 약간의 뿌연 부유물이 보인다 체로 거른다면 뭔가 플라스틱에서 녹아 나온 물질이 있을 것으로 예상된다.

② 주제와 관련된 질문

- 모래를 걸러 관찰한 플라스틱으로 예상되는 물질이 눈으로 봤을 때 플라스틱 같다고 해서 정확한 물질 성분을 알수 없다. 성분 측정이 필요할 것으로 예상된다.
- 바다 물 속 뿐 아니라 공기 중 미세플라스틱이 떠다니는 것을 확인 할 방법에 대해 공기 포집하여 측정 할 수 있는 방법이 궁금하다.

	③ 주제가 응용되고 있는 사례나 활용할 수 있는 아이디어 2개 이상 ○ 미세플라스틱의 문제가 심각하여 사용을 줄이는 것이 미세플라스틱이 원인이며 환경 오염을 일으킬 때 그 문제를 줄이는 방법 중 하나이고 플라스틱 빨대 대신 종이 빨대 또는 식물줄기를 이용한 빨대 등 대체 상품을 사용하는 것이 방법이고 개인컵 사용이 있다. ○ 바다속 오염의 주 원인인 물고기 잡을 때 쓰이는 그물의 사용을 줄이고 양식장 등에서 위치 표시 스티로폼 부표대신 친환경 물질을 개발하고 사용량을 줄이는 방법이 있다.
④ 탐구결과	주제선정하고 코로나가 심각하여 실험결과를 정확하게 얻을 수 있는 분석장치로 얻지 못해 문헌연구와 기존의 실험을 통한 결과 수치를 얻을 수 있었고 간단하게 해 볼 수 있는 실험을 통하여 눈으로 또는 현미경으로 관찰 할 수 있는 결과를 얻었다. 문헌결과를 보며 예상대로 미세플라스틱은 바다 속에 아주 많이 포함되어 있고 우리 생활 곳곳에서 미세플라스틱이 사용되어 검출된다는 것을 알 수 있다. 이를 줄이는 방법을 찾아보고 이로 인한 환경오염 문제와 더 나아가서는 인간의 건강에 미치는 치명적인 문제까지 해결하여야 할 것이다. 생태계와 사람의 건강을 지키기 위해서 줄일 수 있는 미세플라스틱은 줄여야 한다는 목소리도 커지고 있다. 해수부는 지난 5월 '제1차 해양폐기물 및 해양오염 퇴적물 관리 기본계획(2021~2030)'을 통해 2030년까지 해양 플라스틱 폐기물 발생량을 60% 감축하고, 2050년까지 제로화를 달성하겠다고 밝힌 바 있다. 특히 해양 미세플라스틱에 대한 위해성 평가 기술과 해양 환경 내에서의 이동 평가 기술을 개발하고, 미세플라스틱을 대체할 수 있는 소재 물질 개발도 추진할 방침이다. 타이어 마모 문제를 연구한 독일 연구팀은 "타이어 마모를 줄이기 위해 도로 정비와 도로 표면 관리를 강화하고, 자동차 경량화를 추진하고 운행 속도를 제한할 필요가 있다"고 지적했다. 현재 국내에서도 한국자동차연구원이나 관련 업체에서 타이어 마모를 줄이기 위한 연구를 진행하고 있는 것으로 알려졌다. 국내에서는 지난 2017년 7월부터 화장품과 치약에 마이크로비즈(미세플라스틱)를 넣지 못하게 했다. 하지만 세탁 후 옷감에 향을 남기기 위해 섬유유연제에 넣는 향기 캡슐에 대한 규제는 없었다. 향기 캡슐 속에는 향기를 내는 물질이 들어있고, 공 모양의 캡슐이 옷에 붙어있다 터지면서 향을 내는 원리다. 문제는 이 향기 캡슐이 플라스틱 성분 중 하나인 멜라민포름알데히드 수지로 만들어진다는 점이다. 세탁기에 섬유유연제를 넣으면 향기 캡슐 대부분은 그냥 하수구로, 바다로 흘러갈 수밖에 없었다. 국내외에서 미세플라스틱 문제가 대두하자 LG생활건강은 2018년 9월부터 자사에서 생산하는 모든 섬유유연제에서 미세플라스틱 성분을 뺐다. 이 회사 관계자는 "미세플라스틱 향기 캡슐을 넣지 않고도 향의 지속성을 유지할 수 있는 제품을 개발한 덕분"이라고 밝혔다. 환경부도 '안전확인 대상 생활화학제품 지정 및 안전·표시기준(고시)'을 개정해 지난 1월부터 세정제품(세정제, 제거제), 세탁제품(세탁세제, 표백제, 섬유유연제)에 세정·연마 용도의 마이크로비즈 사용을 금지했다. 또한 세탁기에 필터를 달아 미세플라스틱인 미세섬유의 배출을 차단하자는 움직임도 벌어지고 있다. 영국 해양보호협회는 2024년부터 모든 세탁기에 필터 설치를 의무화하는 법안을 촉구했고, 프랑스는 2025년 1월부터는 새로 판매하는 세탁기에 미세섬유를 걸러내는 필터를 설치하도록 의무화했다.
⑤ 느낀 점과 각오	탐구 활동을 통해 미세플라스틱의 심각성을 다시 깨닫게 되고 환경의 중요성을 알게 되어 꼭 미세플라스틱 뿐 아니라 환경을 오염시키는 여러 원인물질들의 사용을 줄이고 환경을 지켜야겠다는 깨달음을 얻었다. 오염은 생태계를 파괴시키고 결국에는 우리에게 되돌아 온다는 것을 알고 일회용품을 쓰지 않는 나의 작은 실천 하나로부터 지구 환경을 지키는 시작이 된다는 결론을 얻었다.