

## 해양 폐플라스틱 Recycle 사업 고찰\*

김주현\*, 윤석영\*, 배종욱\*\*, 이광배\*

\*순천대학교 물류학과, \*\*전남대학교 물류교통학과

e-mail : hl4cmx@naver.com

### Marine Waste Plastic Recycling Business Review

Ju-Hyeon Kim\*, Seok-Young Yoon\*, Jong-Wook Bae\*\*, Kwang-Bae Lee\*

\*Dept. of Logistics, Sunchon National University

\*\*Dept. of Logistics & Transportation, Chonnam National University

#### 요약

최근 ESG가 국제사회에서 강조되면서 기업들은 이익에만 몰두하던 기억에서 벗어나, 기업 경영의 새로운 패러다임으로 'ESG 경영'을 실현하고 있다. 환경(Environmental), 사회(Social), 지배구조(Governance)를 강조하는 ESG 경영은 세 가지 항목의 가치를 상승시키고, 지속가능한 경영으로 나아가는 것을 의미한다. 특히, 지속가능 경영과 직결되는 환경문제 중 플라스틱이 차지하는 비중이 매우 크기 때문에, 플라스틱 폐기물 감축에 대한 문제 의식을 가지고, 환경 영향을 최소화할 수 있도록 폐플라스틱을 원료로 가공하는 신기술을 상업화 가능한 수준으로 개발하고, 선순환 체계를 구축하는 것이 대안으로 판단된다.

일상생활 중 이미 플라스틱은 우리 생활과 밀접하게 연결되어 있다. 증가하는 해양 폐플라스틱 Recycle 사업의 현재 상태는 어떠한가, 각 기업체별로 폐플라스틱의 리사이클링 및 활용상태를 파악하고자 한다. 이에 따라 향후 환경문제와 미세플라스틱 발생을 감소시키고, 소각 및 매립에서 오는 2차 오염을 줄여 안정된 미래환경을 만들 수 있을 것이다. 본 논문에서는 해양 폐플라스틱의 선별, 분류, 관리의 현재 상태와 앞으로 어떤 기술이 도입되어야 미세플라스틱으로 변질되기 전에 수거 및 재활용을 해서 새로운 제품으로 재생산되는지를 살펴보았다. 더불어, 플라스틱 원료를 생산하거나 플라스틱제품을 생산하는 기업에서도 발생점에서 리사이클링을 고려한 제품설계 및 소재 개발에 힘써야 한다. 또한, 플라스틱을 사용하는 소비자와 기업에서도 버려지면 쓰레기지만 모이면 자원이라는 인식으로 전환하여 분리수거 및 선별 배출에 최선을 다해야 한다.

#### 1. 목적

#### 2. 연구방법

2022년 해양 플라스틱 폐기물 배출량은 2021년도 상반기와 비교해 약 16% 증가했으며, 이러한 플라스틱 폐기물 배출량의 증가 원인으로는 유가 하락, 코로나 19로 인한 언택트 소비 증가, PPE 사용 증가 등이 있고, 배출량이 증가하면서 수거 및 보관 문제, 해양 오염 문제 등이 발생하고 있다. 우리나라는 배출된 플라스틱 폐기물을 소각, 매립, 재활용을 통해 관리하고 있는데, 해양 폐플라스틱 Recycle의 가장 큰 문제점은 무엇이며, Recycle 사업으로 현재 어떠한 사업이 진행되고 있는지 파악해보고, 실증의 예를 들어 보고자 한다.

#### 2.1 폐플라스틱의 선별, 분류 및 관리 기술

COVID-19로 인한 택배 물동량의 폭발적 증가에 따라 플라스틱 배출량의 증가, 폐플라스틱의 방치로 인한 미세플라스틱 발생 등 폐플라스틱 문제로 인하여 큰 사회적 문제로 대두되고 있는 상황이다. 특히, 해안가 및 해양에 버려진 플라스틱은 시간이 지남에 따라 미세플라스틱으로 변화하고, 수산물 섭취가 많은 식습관의 영향으로 미세플라스틱 섭취로 인한 유해성 위험이 증가하고 있다. 국내 폐플라스틱의 처리는 재활용 62%, 소각 32%, 매립 5%로 나타나지만, 물질 재활용이나 에너지 회수(시멘트 소성로, 폐기물 고형연료, 소각 열에너지) 등 세부화된 통계 및 데이터 관리 체계가 미흡한 상태이다. 플라스틱의 생산부터 소비, 재활용에 대한 관리체계가 정립되어 있지 않아 폐플라

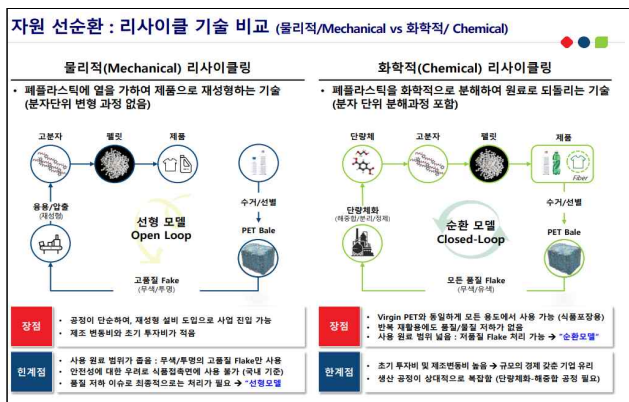
\* 이 논문은 해양수산부 제4차 해운항만물류 전문인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임

스틱 문제에 대한 해결을 위한 분석 및 재활용 기술 적용, 정책 수립 등에 어려움이 있다.

대규모로 발생하는 폐플라스틱의 재활용을 위해서는 신속하고 정확하게 분류해야 하지만, 현재 기술로는 다양한 형태와 색을 가지는 폐플라스틱의 자동 분류 작업은 불가능하며, 국내 폐기물 분류는 대부분을 수작업에 의존하고 있어 효율이 극히 낮고, 분류된 폐플라스틱은 분류 순도에 따라 큰 가격 차이가 있다.

### 2.1 자원 선순환(Recycle) 기술

자원 선순환(Recycle) 기술은 크게 두 가지 형태(물리적/Mechanical Recycle vs 화학적/Chemical Recycle)로 나누어지며, 각각의 특징을 살펴보면 아래와 같다.



[그림 1] 리사이클 기술 비교

#### ○ 물리적/화학적 리사이클 사례

##### 1) 물리적 리사이클

가. 효성티앤씨 : 고품질의 폐페트병 플레이크 및 리사이클 원사 생산

##### 2) 화학적 리사이클

가. GS칼텍스 : 폐플라스틱을 전처리 후, 열분해 등 화학적 재활용 공정을 통해 액체 원료인 열분해유로 변환시켜, 이를 통해 나온 열분해유를 정유·석유 공정에 투입한다. 이를 통해 폐플라스틱이 석유 제품 및 공정 중간에 만들어지는 중간제품인 프로필렌(Propylene) 등이 생산되고, 석유화학공정의 원료로 투입하여 폴리프로필렌(Polypropylene) 등 자원 순환형 플라스틱 제품이 생산된다.

##### 나. SK지오센트릭 :

① 폐플라스틱을 용매에 녹여 고순도 PP를 추출하는 기술이다. 이는 식품 포장 용기, 자동차 내장재, 가전제품 등 광범위하게 사용되는 폴리프로필렌

(PP)을 솔벤트(Solvent)에 녹여 고온·고압을 가해 기체와 액체의 중간 상태로 만들어낸다. 이후 폴리프로필렌 조직 사이로 침투시켜 오염물질을 제거한 뒤 순수한 폴리프로필렌을 뽑아내 재활용할 수 있다.

② 중합된 페트(PET) 고분자를 해체해 원료 물질로 돌려놓는 해중합(Depolymerization) 기술이다. 이 기술은 유색 PET병, 폴리에스터(Polyester) 원단 등 플라스틱을 이루는 큰 분자 덩어리의 중합을 해체시켜 플라스틱의 기초 원료 물질로 되돌리는 것이다. 다시 말해, 복합 물질을 작은 단위체로 분리하는 과정이며, 어떤 원료를 넣어 보다 적은 에너지로 순도 높은 결과물을 뽑아내는 지가 해중합 기술의 핵심이라고 할 수 있다.

현재 대부분 소각되는 카펫, 폴리에스터 옷감, 유색 PET병 등을 1차 처리한 후 반응기에 넣어 잘게 부수고 나누는 과정들을 거쳐, 투명하게(Purify) 만드는 몇 단계의 과정을 더하면 원유에서 뽑아낸 PET만큼이나 투명하고 깨끗한 PET로 다시 태어나게 된다. 열분해유란 비닐 등 폐플라스틱을 무산소 상태에서 300~800℃의 고온으로 가열해 만든 원유로, 후처리 과정을 거쳐 나프타(Naphtha), 경유 등 다양한 석유화학 제품으로 재활용이 가능한 정제유를 말한다.

## 3. 연구결과

### 3.1 플라스틱 선별, 분류 및 관리 기술

#### 가. 선별, 분류기술

##### 1) 비중선별

플라스틱 혼합물을 원심력을 이용하여 비중차에 의해 분리하는 방법이다.

##### 2) 정전선별

혼합 플라스틱으로부터 종류별로 선별하기 위해 플라스틱 조각을 마찰대전 장치에 공급하여 종류에 따라 서로 다른 강도로 대전시킨 후 정전분리장치에서 정전기의 강도에 따라 플라스틱을 분리하는 방법이다.

##### 3) 색상선별

플라스틱의 분류에 있어 같은 재질별 선별이 이루어지고 이후로 같은 재질 내에서도 색상별로 분리하여 재활용에 대한 부가가치를 향상시킬 수 있다. 폐

트와 유리병류는 색에 따라 경제적 가치가 달라지고 재활용 측면에서도 차이가 난다. 색상선별 기술은 가시광선을 이용하여 물체의 표면에서 반사되는 빛의 파장을 이용하여 표면색에 따라 달라지는 파장을 분석하여 선별한다.

#### 4) 근적외선/레이저/초분광 기술

근적외선 분광 및 초분광을 이용하여 플라스틱의 재질에 따른 분류 기술은 1990년대 후반 개발되어 사용되고 있지만, 지금까지 최종 검수를 위한 수작업이 병행되고 있다. 분광 기술을 이용한 플라스틱 분류 기술은 어두운 색상과 검은 색상의 플라스틱에 대한 구분이 어려운 한계점을 가지고 있다. 블랙 플라스틱은 최근 레이저 분광법을 이용하는 방법이 적용되고 있다.

#### 5) Artificial Intelligence 이미지 인식

기술이미지넷(ImageNet) 데이터셋은 MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology database), CIFAR(Canadian Institute For Advanced Research) 데이터셋과 더불어 주요한 데이터셋이다. MNIST나 CIFAR는 주로 아이디어에 대한 검증 목적으로 사용되고 있고, 이미지넷은 대표적인 대규모 데이터셋이다. 전체 데이터셋에 포함된 이미지만 해도 1,000만 개가 넘는다. 이 데이터셋은 1,000개의 클래스로 구성되며, 총 100만 개가 넘는 데이터를 포함한다. 약 120만 개는 학습(Training)에 쓰고, 5만 개는 검증(Validation)에 쓴다.

폐플라스틱 분류에 있어 AI 이미지 분류 기술을 적용하기 위해 다양하고 충분한 데이터셋의 구축이 필수적이다. 이미지넷과 같이 다양한 재질, 형태, 오염도 등이 반영된 방대한 폐플라스틱 이미지 데이터셋을 구축하고 이를 이용한 폐플라스틱 분류 엔진을 개발하면 충분한 성능을 기대할 수 있다.

폐플라스틱 피킹 로봇 시스템 기술 폐플라스틱 선별 작업 동작은 폐플라스틱을 집어들린 뒤 이송하여 떨어뜨리는 단순한 직선 운동이고 빠른 작업 속도가 요구되므로 이를 만족하는 로봇 시스템이 필요하다. X-Y-Z 축 직교 로봇(핀란드 젤로보틱스 등) 또는 3~4축 델타 로봇(미국 AMP 로보틱스 등)이 주로 사용되고 있다. 미국 Bulk Handling Systems (BHS)가 Max-AI AQC-C라는 제품에 양괄 협동 로봇을 활용한 사례가 있으나 비교적 속도가 느린 단점이 존재한다.

폐플라스틱은 다양하고 불규칙한 표면이지만 다공

성이 아니고 가벼우므로, 대부분 사례에서 로봇 말단부에 진공 그리퍼를 사용하는 것을 찾아볼 수 있다. 진공 그리퍼 수직 방향 스프링-댐퍼 메커니즘을 사용하여 폐플라스틱에 수직으로 접근할 때 충격을 흡수할 뿐만 아니라 충분한 힘으로 눌러서 진공을 형성하도록 한다. 젤로보틱스사에서는 대형 및 고중량의 경우 공압 또는 유압으로 구동되는 집게형 그리퍼를 사용하여 건설폐기물에 적용하였다.

표준기반의 플라스틱 관리체계가 정립되지 않아서 플라스틱 전주기 데이터 관리 체계 및 방법이 부재한 상황이다. 플라스틱 소재품의 생산, 유통, 소비 단계에서의 플라스틱 소재의 효과적 분류 및 재활용에 필요한 상세 정보 획득, 이력, 모니터링 수단도 부재한 상황으로 이에 따른 플라스틱 자원 재활용을 위한 정책수립 등에 어려움이 따르고 있다.

일본 미쓰비시 사는 자기순환 재활용 시스템을 구축하여 회수한 가전제품으로부터 폐플라스틱을 다시 가전제품에 사용하는 자기순환 리사이클을 실시하고 있다.

### 3.2 폐플라스틱 Recycle 사업 사례

#### 가. 광양제철소, 광양항만공사 및 효성티앤씨

광양제철소, 광양항만공사 및 효성티앤씨는 광양소 및 항만, 선박 등에서 나온 투명 페페트병을 활용하는 친환경 재활용 체계 구축 추진, 광양만권 자원순환 프로젝트 추진 및 순환 경제 실현을 위한 활동 전개한다.

·광양제철소는 광양 산업현장과 선박에서 발생한 페페트병을 분리배출 및 별도 수거 선별체계 구축하고, MOU 체결 당사자 간 협업하여 리사이클 제품 제작 및 근무복 구매추진

·항만공사 : 자원순환 네트워크 체계 구축을 위한 지역 사례확산 및 프로세스 관리, 사회적 기업 등을 통한 리사이클 제품 제작 및 근무복 구매추진

·효성티앤씨 : 고품질의 포스코/항만공사 페페트병 플레이크 및 리사이클 원사 생산, 협약관련 브랜딩 및 홍보

·폴리츠마마 : 효성티앤씨가 리사이클 원사인 리젠 오션으로 만들고, 폴리츠마는 패션 아이템으로 만듦.

#### 나. 이마트는 물류 포장용 스트레치필름 재활용

스트레치필름이란 물류센터나 산업현장에서 주로 사용되는 얇은 플라스틱 비닐 랩으로, 파레트(화물

운반대) 위에 적재된 물건들이 운송시 흔들리지 않도록 고정하는 데 사용한다.



[그림 2] 폐플라스틱 재활용한 제품

일반적으로 물류 배송시 사용되는 스트레치필름의 경우 배송이 완료된 이후 전량 폐기하고, 다시 신소재 플라스틱 필름을 사용해 제작되는 1회성 소모재이나, 연간 이마트에서 사용되고 버려지는 스트레치 필름 물량만 약 1,660톤에 달할 정도로 소모성이 높은 품목이다. 재생 스트레치필름의 경우 60% 이상이 폐필름을 재활용한 재생 필름으로 구성됐으며, 이를 통해 이마트는 신소재 필름 생산을 줄이고 버려지는 폐기물을 없애 연간 플라스틱 폐기물 1,660톤 감축에 나선다는 목표다.

다. CJ대한통운은 락엔락과 투썸플레이스

사업장에서 배출되는 폐플라스틱들을 물류용 파렛트(받침대)로 재활용한다. 락엔락은 제품생산과정에서 발생하는 자투리 플라스틱을, 투썸플레이스는 매장에서 사용한 일회용 플라스틱 컵을 무상 제공하여 ‘탄소ZERO 파렛트’를 제작 운용한다.

라. 신한카드사는 국내 폐플라스틱을 재활용한 친환경 소재(Recycling-PVC)로 제작한 카드 플레이트를 기존 카드 상품부터 신규 출시 상품까지 단계적으로 도입했다.

3.3 난방용 펠릿난로 및 펠릿 보일러

난방용 펠릿난로 및 펠릿 보일러 등에 사용되는 펠릿연료(Pellet fuel)는 유기물질을 펠릿모양으로 압축해 만든 바이오 연료다. 펠릿은 산업 폐기물과 연산물(co-product), 음식폐기물(en:Food waste), 에너지 작물(en:Energy crop), 작물 잔해(en:Crop residue), 생목재에 오니 등을 첨가해서 활용해서 만들고 있는

데, 폐플라스틱을 소각시 발생할 수 있는 여러 유해 성분들이 발생하지 않도록 열분해 등으로 정제후, 펠릿 연료에 첨가하여 화력발전소 등의 연료로 사용한다.

4. 시사점

일상생활 중 이미 플라스틱은 우리 생활과 밀접하게 연결되어 있다. 플라스틱의 사용을 줄이는 것이 문제의 완전한 해결책은 아니며, 폐플라스틱을 어떻게 리사이클링하고 효과적으로 활용할 것인가에 따라 폐플라스틱으로 인한 환경문제와 미세플라스틱 발생을 감소시킬 수 있고, 소각 및 매립에서 오는 2차 오염을 줄여 안정된 미래환경을 만들 수 있을 것이다

본 연구에서는 해양 폐플라스틱의 선별, 분류, 관리의 현재 상태와, 앞으로 획기적인 물류시스템을 통해 미세플라스틱으로 변질되기 전에 수거하고 재활용해서 새로운 제품으로 재생산되는지를 알아보았다. 또한, 플라스틱 원료를 생산하거나 플라스틱제품을 생산하는 기업에서도 발생점에서부터 리사이클링을 고려한 제품설계 및 소재 개발에 힘써야 한다. 플라스틱을 사용하는 소비자와 기업에서도 버려지면 쓰레기이지만, 모이면 자원이라는 인식 전환을 통해 분리수거 및 선별 배출에 최선을 다해야 한다.

참고문헌

[1] 최형석, 고재송, 서강일, “폐플라스틱의 분리·선별 기술”고분자과학과 기술, 2002.6.  
 [2] 이정임, 정혜윤, “폐플라스틱 관리정책의 한계와 시사점,”자원리사이클링, 2020.  
 [3] 조영주, 조봉규, “폐플라스틱 리사이클링의 현주소 및 향후 방향,”이슈&진단, 2019.  
 [4] 신대현, 윤왕래, 최익수, “폐플라스틱의 화학적 재활용과 열분해 유화기술”고분자 과학과 기술, 2002년, pp.322-331.  
 [5] 김대기, 정철진, 송형운, 김도용, “해안폐기물의 고품연료 펠릿 성형 및 연료 특성”한국환경기술학회지 2017.  
 [6] 문영백, 정훈, 허태욱, “ICT기반 폐플라스틱 관리 전주기 기술 동향”지능화합물 기술 및 정책 동향, 2022.