<플라스틱과 밸류체인 구상>

표선고: 김규리, 김민준, 김민수

1.폐기

구상할 밸류체인에서 대상으로 할 플라스틱의 종류를 설정한 후. 해당 종류의 플라스틱이 배출 되고 있는 실태 정리

1) PET의 정의

PET 또는 PETE는 '폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene Terephthalate)'로, 생수병, 음료수병 등을 만드는 데 사용된다.

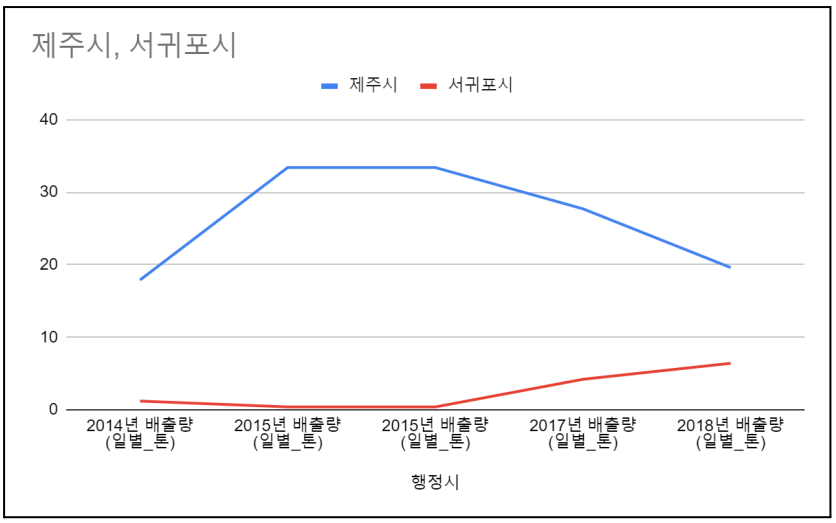
2) PET의 특징

투명하고 가벼운 데다 유리병보다도 강도가 좋아 휴대하는 용기로 제격인 플라스틱으로, 재활용 가치도 매우 높아 다시 새로운 용기나 섬유 등으로 재탄생할 수 있다.

3) 플라스틱의 배출 실태

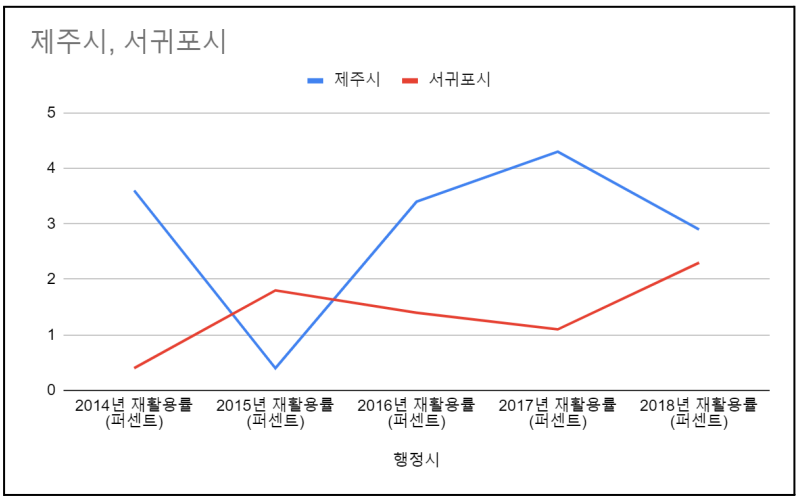
(1) 제주시와 서귀포의 연간 플라스틱 배출량

행정시	2014년 배출량 (일별_톤)	2015년 배출량 (일별_톤)	2015년 배출량 (일별_톤)	2017년 배출량 (일별_톤)	2018년 배출량 (일별_톤)
제주시	17.9	33.4	33.4	27.7	19.6
서귀포시	1.2	0.4	0.4	4.2	6.4



(2) 제주시와 서귀포의 연간 플라스틱 재활용률

행정시	2014년 재활용률 (퍼센트)	2015년 재활용률 (퍼센트)	2016년 재활용률 (퍼센트)	2017년 재활용률 (퍼센트)	2018년 재활용률 (퍼센트)
제주시	3.6	0.4	3.4	4.3	2.9
서귀포시	0.4	1.8	1.4	1.1	2.3



4) 플라스틱 재활용 및 회수 전망 예측

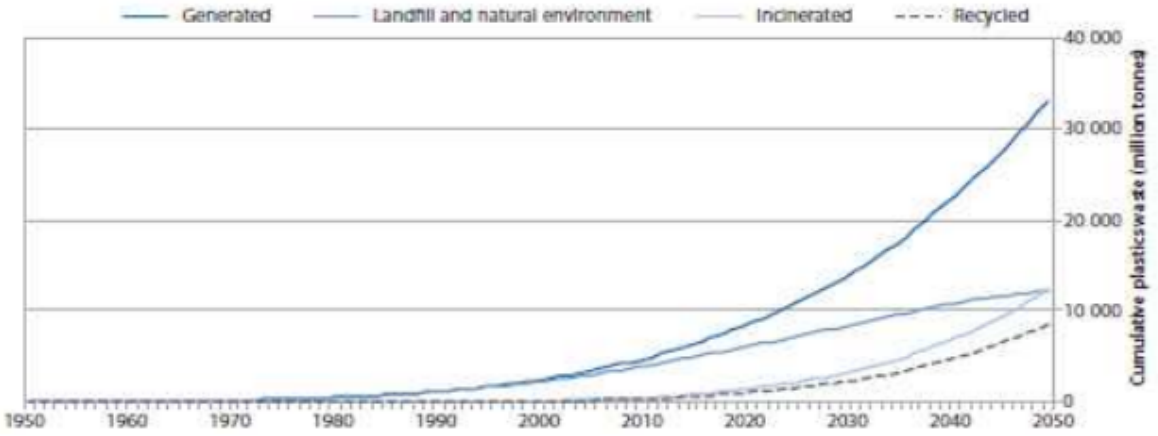
(1) 2030년까지 시장 전망 예측

[그림 5] 플라스틱 화학적 재활용 물질별 글로벌 시장 전망

(출처: 삼성증권, 2021)

(2) 2050년까지 회수 전망 예측

< 플라스틱 발생량과 회수(recovery) 전망(~2050) >



2.수집

대상으로 정한 플라스틱이 주로 어느 용도에서 쓰이는지, 어떤 폐기 과정을 거치는지, 실질적인 분리수거율은 어떠한지 등에 집중하여 플라스틱 폐기 과정에서 발생하는 환경적 영향을 제시한다.

1) 용도

PET는 열가소성이며, 가벼우며 맛과 냄새가 없다. 이는 생활용품·장난감·전기절연체·라디오와 텔레비전 케이스, 포장재에 사용한다. 시중에 유통되는 플라스틱 음료수병의 대부분을 차지하고 있어, 흔히 말하는 페트병은 이 원료로 만든 병을 말한다. PET는 고도로 대칭적인 분자 구조와 어느 정도의 결정 배향성을 갖고 있어 필름 형성 및 성형 특성이 높다. PET는 광학적 특성과 내후성이 좋고, 비정질 PET는 광학적 투명성이 좋다. 또한 PET는 내마모성, 치수안정성, 전기절연성이 우수하다. PET로 만든 병은 강도가 좋고, 투명성이 좋으며, 무독성, 불침투성, 경량성, 생산효율이 높아 널리 사용되고 있다. PBT와 PET 분자 사슬의 구조는 유사하고 대부분의 특성도 동일하지만 분자의 주 사슬이 2개의 메틸렌에서 4개의 메틸렌으로 변경되어 분자의 유연성이 향상되고 가공 성능이 더욱 우수하다.

- 폴리테레프탈레이트 **8**플라스틱의 주요 사용 용도

- 필름 및 시트 재료: 다양한 유형의 식품, 의약품, 무독성 및 멸균 포장 재료; 섬유, 정밀 기기, 전기 부품용 고급 포장재; 기본재료; 전기 절연 재료, 커패시터 필름, 유연한 인쇄 회로 기판 및 멤브레인 스위치 및 기타 전자 및 기계 분야.
- 포장병의 응용: 원래의 탄산음료를 시작으로 현재의 맥주병, 식용유병, 조미료병, 약병, 화장품병 등으로 응용.
- 전자제품: 커넥터, 코일 보빈, 통합 회로 하우징, 커패시터 하우징, 변압기 하우징, TV 액세서리, 튜너, 스위치, 타이머 하우징, 자동 퓨즈, 모터 브래킷 및 릴레이 제조.
- 자동차 부품 : 배전반 커버, 점화 코일, 각종 밸브, 배기 부품, 분배기 커버, 측정기 커버, 소형 모터 커버 등 PET를 사용하여 도장성, 표면 광택 및 강성이 우수한 자동차 외장 부품으로 사용.
- 기계 장비: 기어, 캠, 펌프 하우징, 풀리, 모터 프레임 및 시계 부품 제조, 전자레인지 베이킹 트레이, 다양한 천장, 옥외 광고판 및 모델 등으로도 사용.

2) 폐기

플라스틱 폐기물 처리 방법**(**과정**)**

1차 재활용: 이는 동일한 새 제품을 만드는 단계이다. 예를 들어, 페트병을 재활용하여 다시 페트병을 만드는 것이 이에 해당한다.

2차 재활용: 기계적 재활용이라고도 불리며, 플라스틱을 분쇄하여 다른 형태의 제품으로 재활용하는 과정이다. 이 과정에서는 플라스틱을 분쇄하여 파우더나 칩 형태로 만든 후, 다양한 제품에 사용될 수 있다.

3차 재활용: 화학적 공정이라고도 하며, 플라스틱을 열분해하여 새로운 화합물로 변환하는 과정이다. 이러한 과정에서는 플라스틱을 열처리하여 원료로 사용될 수 있는 다양한 화합물을 생산한다.

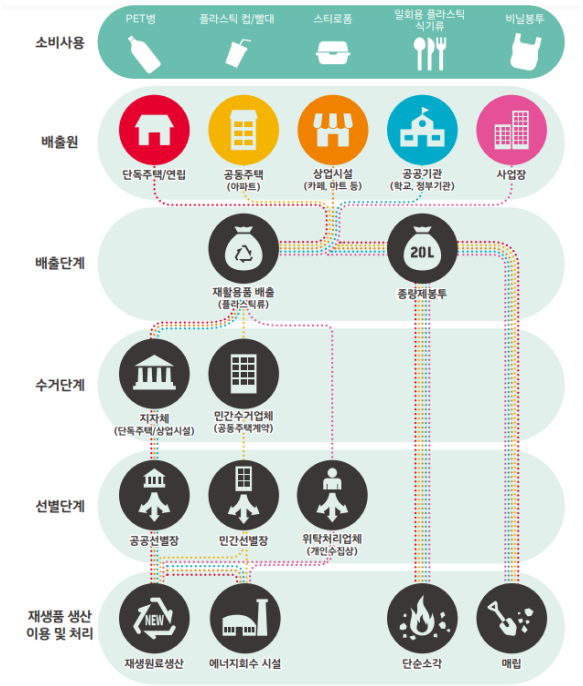


그림4. 국내 일회용 플라스틱 폐기물의 배출-수거-처리 흐름도

3) 실질적인 분리수거율

(1) 국내 분리수거율

분리수거(≠분리배출≠재활용)는 사용되었거나 사용되지 아니하고 버려진 후 수거된 물건과 부산물 중 알루미늄, 스테인리스 스틸, 유리병, 헌종이, 폐식용유, 우유팩 등 원재료로 이용할 수 있는 자원을 분리하여 수거하는 것을 말한다.

그린피스의 자료에 따르면 우리나라의 2020년 일회용 플라스틱 소비량은 약 558억개이고, PET로 만들어지는 PET병과 플라스틱컵의 소비량은 각각 56억개, 53억개로, 총 109억개로 약 20%가 PET로 만들어진 일회용품이라고 한다.

플라스틱 분리수거 실행률만 놓고 보면 59%로 한국은 독일에 이어 세계 2위 수준이다. 환경부가 2020년 12월 발간한 '청정대기, Post-플라스틱 산업 시장조사 및 분석연구'에 따르면, 우리나라 플라스틱 소비는 2018년 세계 2위를 차지했다. 또한 플라스틱 폐기물의 분리수거 비율은 같은 해 기준 69.1%로 높은 편이다.

2016~2020 품목별 생활폐기물 재활용률

연도	종이류	유리류	폐합성수지류 (폐플라스틱)	금속류	전체
2016년	48.0%	77.6%	53.6%	86.3%	60.0%
2017년	49.4%	75.0%	57.5%	85.7%	61.6%
2018년	50.4%	66.4%	56.7%	83.1%	62.0%
2019년	47.1%	59.8%	56.8%	78.6%	59.7%
2020년	47.7%	58.6%	55.8%	74.5%	59.5%

*자료: 환경통계연감 2021
그래픽: 김지영 디자인기자

4) 환경적 영향

(1) 폐기 과정에서 발생하는 영향

최근 일회용 플라스틱(PET, 플라스틱 컵, 비닐봉지 등)의 발생량 증가와 무분별한 폐기로 인해 전 세계적으로 해양오염, 육상오염과 해양 생태계 파괴, 미세플라스틱의 생성 등 많은 문제가 발생하고 있다.

(2)바다

플라스틱은 오늘날 제대로 폐기 처분이 되지 않아 바다로 흘러 들어가는 경우도 많다. 이러한 플라스틱은 엄청난 큰 쓰레기섬을 바다에 형성하기도 한다. 뿐만 아니라 플라스틱은 더 잘게 쪼개져 미세플라스틱이 되어 환경에 영향을 주는데 영향을 다음과 같다. 최근 플라스틱으로 위장이 가득 찬 해양 생물과 비닐로 뒤덮인 산호가 자주 목격된다.해양생물종 88%, 플라스틱으로부터 위협받고 있다. 실제로 바다새의 90%, 바다거북의 52%가 바다에 떠다니는 플라스틱을 먹이로 착각해 삼킨다고 한다. 플라스틱을 먹은 동물은 면역 반응과 생식 능력이 감소되고 장기가 손상되어 죽을 수도 있다고 한다. 플랑크톤과 조개류부터 조류, 거북이, 포유류까지 모든 해양 생물이 플라스틱으로 인해 심각한 위험에 직면하고 있는 것이다.

(3) 토양

유엔식량농업기구(FAO)는 '농업용 플라스틱 및 지속 가능성 평가' 보고서를 발표해 "토양은 바다보다 더 많은 미세플라스틱으로 인한 오염에 노출돼 있다"고 밝혔다. 플라스틱이 토양 오염을 할 때 보통 작물이나 식물을 키울 때 사용되는 '멀칭 비닐'이 흙에 남겨져 제거되지 않아 토양 오염이 발생한다.

(4) 생태계

물 5종의 배설물 샘플 112개를 조사한 결과, 플라스틱 파편과 섬유 등 미세플라스틱 조각 604개가 발견 되었다. 일부 동물의 배설물 샘플에서는 미세플라스틱의 농도 수준이 가축화된 소보다도 훨씬 높은 것으로 나타났다. 또한 동물들의 서식지 물 샘플에서도 미세 플라스틱이 검출되었다.

서식지의 물과 배설물, 곤충 샘플에서 발견된 미세플라스틱의 가장 일반적인 소재는 폴리에틸렌 (PE)과 폴리프로필렌(PP)이었다. 이는 대만 환경보호청이 저수지의

수돗물을 조사하는 동안 수집한 데이터와 야생보호협회 (Society of Wilderness, 대만 환경보전협회)가 하천 정화 캠페인을 통해 수집한 데이터와 일치한다.

소재	용도
PP	입이 넓은 큰 병, 단지, 치약 뚜껑, 병뚜껑
PE(LDPE)	소스 통, 포장용 비닐, 지퍼백, 튜브 타입의 화장품 용기
PE(HDPE)	플라스틱병, 플라스틱 우유 통, 병뚜껑, 전자레인지 용기, 식품 용기, 유아용 장난감

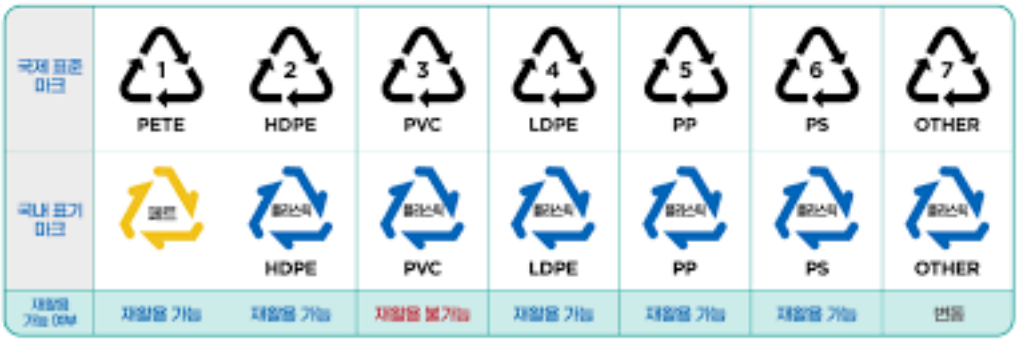
즉, 동물과 물에서 채집해 나온 결과의 플라스틱 종류와 정화 캠페인에서 나온 플라스틱 종류가 같음을 알 수 있다.

3.분해 및 업사이클링 방안

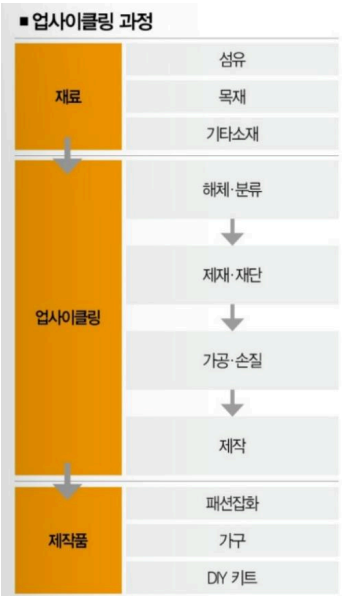
여러 종류의 플라스틱이 주로 어느 용도로 쓰이는지, 어떤 폐기과정을 거치는지, 실직적인 분리수거율은 어떤지를 선택하고, 업사이클링을 통해 어떤 물질이 생산되는지를 제시한다.

1) 플라스틱의 종류-7가지

플라스틱의 종류는 크게 폴리에틸렌,테레프탈레이트(PETE), 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 폴리비닐 클로라이드(PVC), 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) ,폴리프로필렌(PP), 폴리스티렌(PS),폴리카보네이트(PC) 등으로 나눌수 있다.



이와 같은 여러 종류의 플라스틱은 주로 포장 자재, 가정 용품,일용품,전기관련,컨테이너류 등으로 쓰이고 있다. 이러한 플라스틱들은 가열되어 폐기 되거나 재활용이 된다 플라스틱의 재활용 같은 경우 화학적 재활용을 사용하는데 지금까지는 열분해 기술, 가스화 기술, 해중합 기술을 이용하여 재활용을 한다.



⇒ 업사이클링 과정

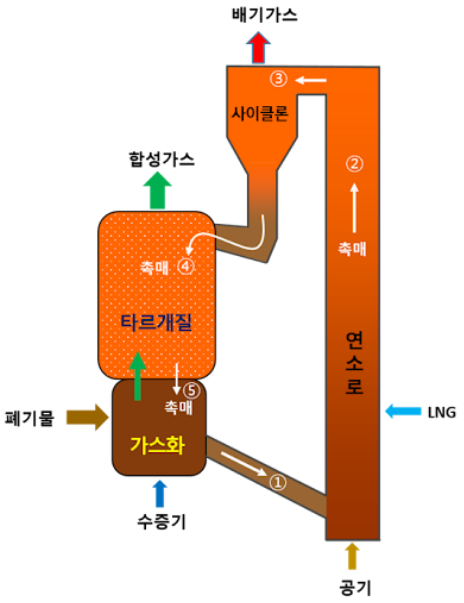
2) 플라스틱 분해 기술

(1) 플라스틱 열분해 기술

먼저 열분해 기술은 플라스틱을 탱크 반응기, 관형 반응기를 사용하여 무산소 분위기에서 400~600 c 로 가열하여 오일 왁스, 유화제품을 얻는 기술이다. 물론 열을 이용해 빠르게 분해할수 있다는 점은 좋지만 독성물질을 방풀하며, 열분해 과정에서 폐플라스틱에 포함된 첨가물 등 화학물질이 함께 나오기 때문에 오염물질이 발생한다는 문제점이있다.

다음으로 가스화 기술은 유동층 반응기를 이용하여 고온,고압에서 반응시켜 합성가스 연료용 가스를 생산하는 기술이다.가스화 과정에서는 몇가지 핵심 장치들을 통해서 선별되고 분쇄된 폐기물이 산소가 부족한 환경에서 스팀과 고온에서 반응하여 합성 가스인 일산화탄소(co)와 수소(H2)가 생성이 된다,

(2) 플라스틱 가스화 기술



위 공정 과정을 쉽게 정리해 보았다.

1. 준비 및 전처리:

- 플라스틱 폐기물을 크기 조절 및 이물질 제거 등의 전처리를 한다.
- 혼합된 플라스틱 폐기물을 균질화하여 공정의 효율성을 높인다.

2. 가스화 반응

- 플라스틱을 고온(800-1200°C)과 산소가 제한된 환경에서 열분해한다.
- 이 과정에서 플라스틱은 합성가스(syngas)로 전환되는데, 합성가스는 주로 일산화탄소(CO), 수소(H2), 이산화탄소(CO2), 메탄(CH4) 등으로 구성된다..

3. 합성가스 정제:

- 생성된 합성가스를 정제하여 불순물(예: 타르, 입자 등)을 제거한다.
- 정제된 합성가스는 연료, 화학 제품의 원료 또는 전기 및 열 에너지 생산에 사용될 수 있다.

4. 에너지 회수 및 활용:

- 정제된 합성가스를 연료로 사용하여 전기 및 열 에너지를 생산한다.
- 합성가스를 화학 제품(예: 메탄올, 암모니아) 생산의 원료로 사용하기도 한다.

위와 같은 플라스틱 공정에는 플라스틱 폐기물을 에너지로 전환하여 매립또는 소각에 따른 환경부담을 줄일수 있다는 점과 폐플라스틱에서 에너지를 회수하여 재생가능 에너지자원으로 사용할수 있는것, 기존의 소각 방식보다 탄소 배출량이 적으며, 합성가스를 청정연료로 활용할수 있다는 장점이 있다 .하지만 단점으로는 높은 초기 투자 비용과 공정의 복잡성, 그리고 공정에서 발생하는 일부 오염 물질 처리 문제가 있다. 그러나 기술의 발전과 환경 규제 강화로 인해 폐플라스틱 가스화 공정은 점차 중요한 폐기물 처리 및 에너지 회수 방법으로 자리잡고 있다.

(3) 플라스틱 해중합 기술

마지막으로 해중합은 열 또는 촉매를 사용하여 중합반응의 역반응 을 진행시켜 원료인 단량체 또는 길이가 짧은 올리고머를 생산하는 기술이다.

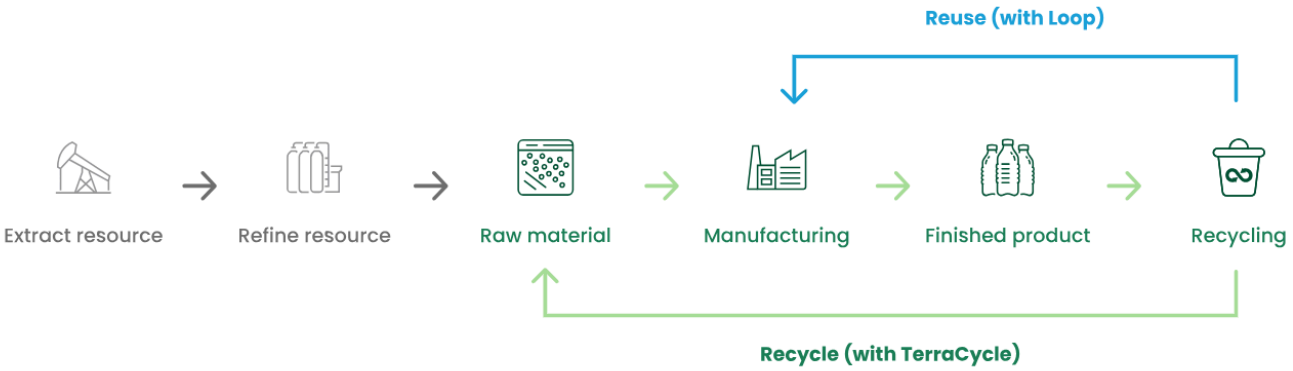
1. 유기용제 기반 정제는 유기용제를 이용해 플라스틱을 녹이는 방식인데. 특정 용매에 폐플라스틱을 녹여 오염물질과 첨가제 등 불순물을 걸러내고 순수 폴리머(중합체)를 회수할 수있다. 새로운 중합 과정 없이 플라스틱 제품으로 바로 생산할 수 있는 순수 폴리머가 생산된다는 장점이 있다. 반면 유기 용제의 가격이 비싸고, 정제 과정에서 오염물질이 섞인 유기 용제 폐기물이 남는다는 문제가 있다.

2. 열분해는 말 그대로 고온의 열을 이용하는 방식이다. 저산소·무산소 환경에서 플라스틱을 고온(300–900°C)으로 가열하면 플라스틱이 탄화수소로 분해된다는 점을 이용한다. 그 결과물로 가스와 오일, 기타 잔류물 등이 생산된다. 석유나 천연가스처럼 연료로 사용할 수 있고 플라스틱의 원료인 나프다를 뽑아낼 수도 있다.특히, 열분해는 혼합·복합 플라스틱을 처리하기 용이하다는 장점이 있는데 그동안 기계적 재활용을 하기 위해서는 플라스틱의 분류가 필수적이었다. 물성이 같은 플라스틱이어야 같은 온도와 조건에서 녹여 다시 성형할 수 있기 때문이다.

3) 업사이크클링 실태

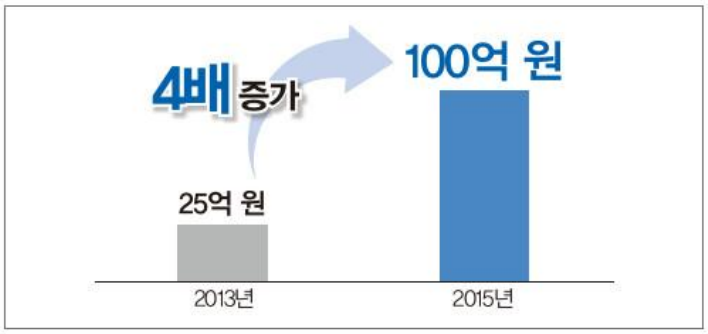
그럼 우리나라의 분리수거율은 어느정도 일까? 우리나라의 플라스틱 분리수거율은 2020년 기준 70%라고 한다. 전세계의 플라스틱 분리수거률인 9%보다 훨씬더 높은 수준이다. 그렇지만 우리는 전세계와 연결된 삶을 살고 있다.

아무리 우리나라가 플라스틱 분리수거를 잘 한다고 해도 세계가 분리수거를 안하면 의미가 없어질 것이다. 그럼 우리가 가장 빠르게 플라스틱을 소비할수 있는 방법은 업사이클링이 있다. 우리나라 뿐만 아니라 세계적으로 업사이클링을 하고 있는데, 물질이 어떤 과정을 통해 생산되는지, 살펴보자. 업사이클링 과정은 다음과 같다.



업사이클링은 환경을 지킬 수 있는 사회 공헌적 마인드와 독특한 디자인에 세련미까지 갖춰 이제 엄연히 하나의 시장으로 성장중이다. 아래 국제무역연구원이 발표한 시장의 규모를 살펴보면 2013년 기준 25억원을 기록했던 시장의 규모는 2015년 4배 증가한 100억 원에 달하고 올해 더욱 증가할 것으로 예상한다.

국내 업사이클링 시장 규모



이와 같은 오늘날 인기를 끌고 있는 업사이클링을 통해 생산된 제품들이 있다.

(1)업사이클링 예시

<1) 젠니클로젯 >

이 기업은 한국에서 만들어진 업사이클링 기업이며 주로 헌옷이나 천을 이용해 패션 아이템으로 재탄생 시키는 기업이다.

위와 가방은 스크린 골프 업체인 골프존이라는 업체와 함께 협력해 만든 골프가방이다.

<2) 커피큐브 >

회사 커피큐브 는 3년에 걸친 연구개발 끝에 2011년 '커피 점토'를 특허출원 했다. 이 업체는 제휴를 맺은 커피 전문점에서 커피 찌꺼기를 얻어다 건조한 뒤 특수 공정을 거쳐 점토를 만든다. 아래의 사진은 사진은 커피찌꺼기로 화분을 제작한 사례 사진이다.

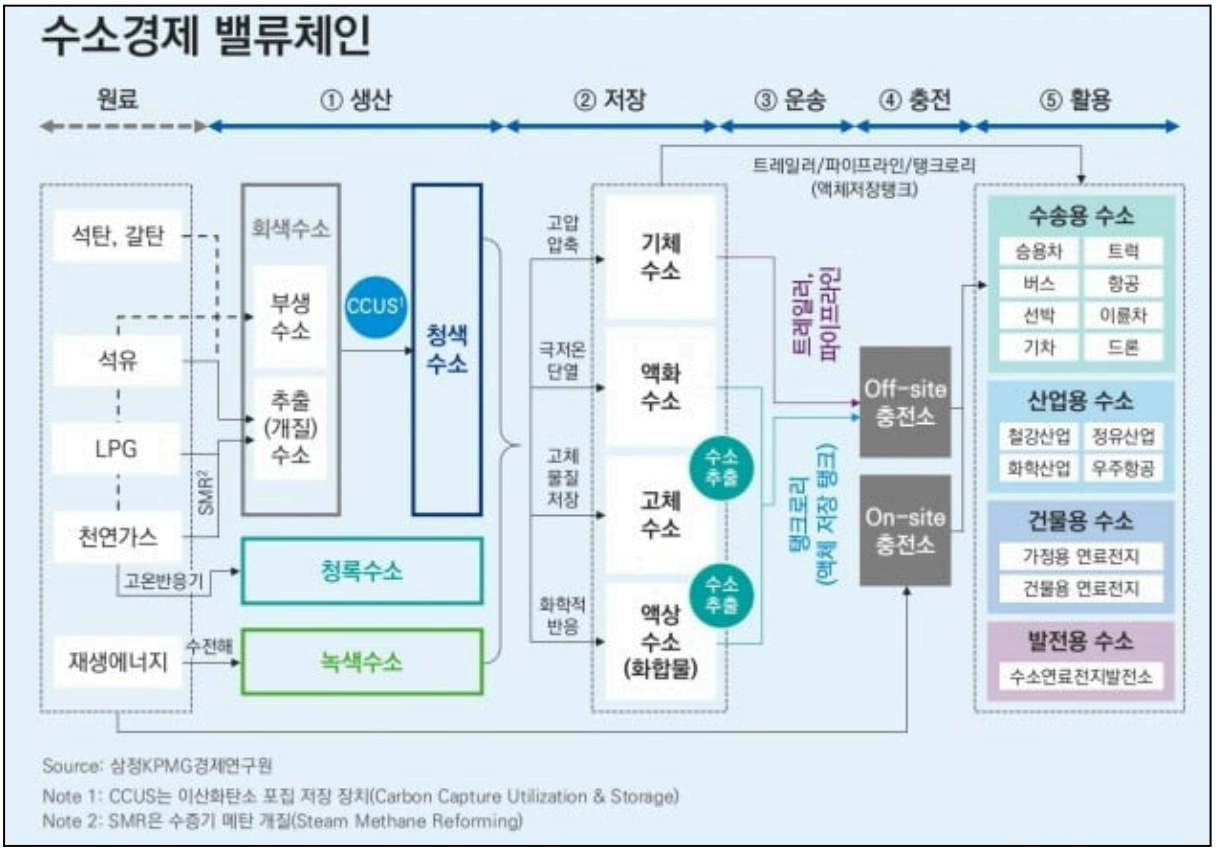
4.밸류 체인 구상

플라스틱의 순환 경제를 기반으로 하는 밸류 체인을 구상하여 도식화한다.

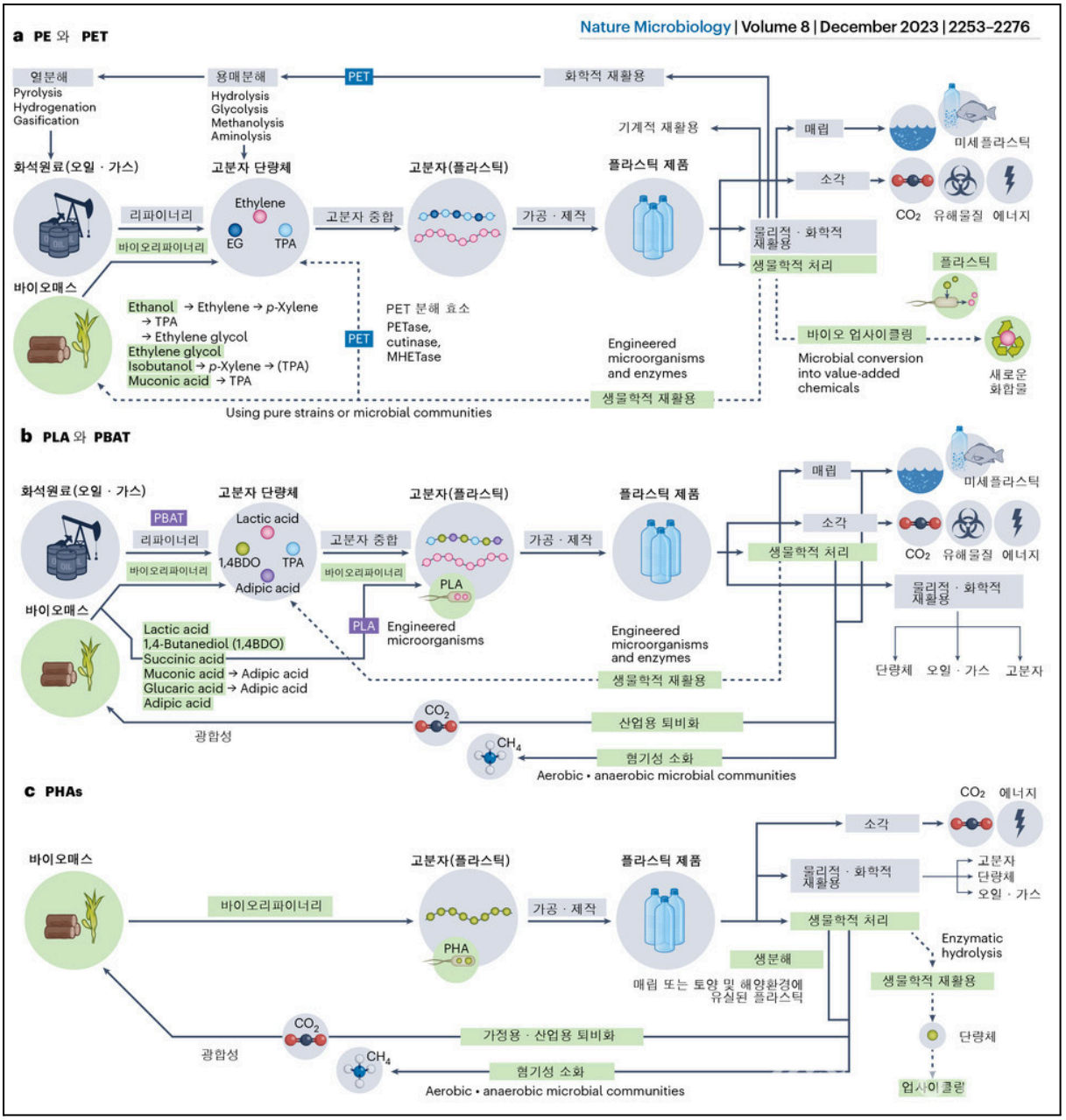
1) 문제 분석

(1) 밸류체인이란?

밸류 체인이란 제품 및 서비스를 생산해서 부가가치를 생성하는 일련의 과정을 말한다.



Nature Microbiology | Volume 8 | December 2023 | 2253–2276



(2) 현황

현재의 일반적인 플라스틱의 밸류 체인은 크게 원료 물질 생산, 플라스틱 제품 제조 및 사용, 재활용 및 폐기로 이루어진다. 플라스틱 원료의 99%는 석유이며, 바이오 기반의 원료는 1% 미만이라고 한다. 플라스틱 제품은 포장재에 141백만 톤, 섬유로 38백만 톤, 이외에 수송기기, 전기전자, 산업용기기, 건설, 소비재 등으로 제조 및 사용되고 있다. 사용이 끝난 플라스틱은 도입에서 언급했듯이 소각, 재활용/재사용, 그리고 매립되는데, 재활용의 비율이 10 ~ 20%밖에 되지 않는다.

플라스틱의 순환 경제를 위한 가장 기본적인 모델은 다음과 같다. 원료 생산 단계에서는 원유의 사용을 줄이고, 바이오매스의 사용을 늘리도록 한다. 이렇게 생산된 플라스틱 원료는 제품을 생산, 사용, 폐기로 이어지는데, 이때 폐기물은 재생 원료가 되어 플라스틱 원료로 재활용하거나, 재활용이 어려운 폐기물에서는 에너지를 회수할 수 있도록 한다.

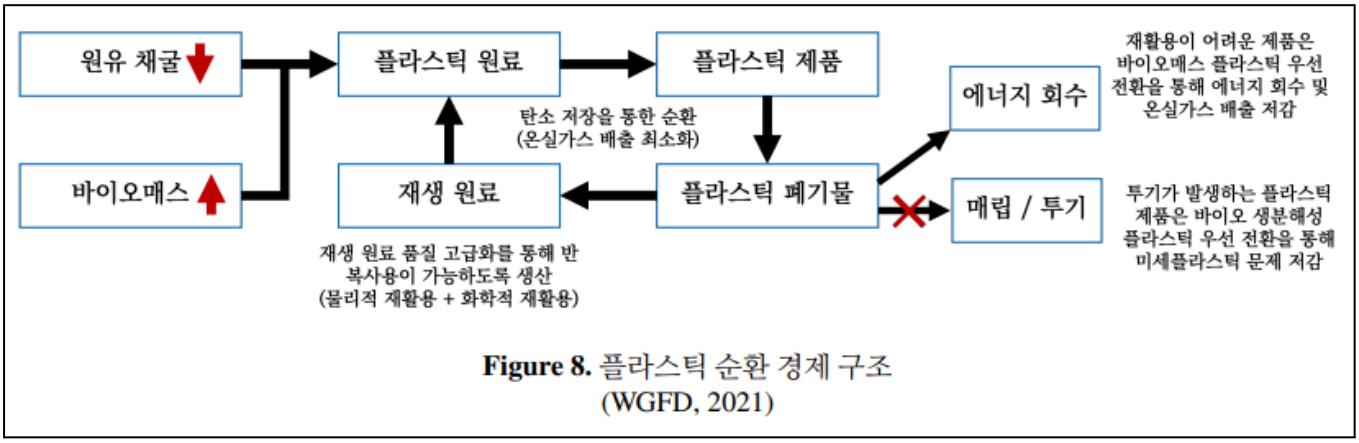


Figure 8. 플라스틱 순환 경제 구조
(WGFD, 2021)

(3) 목표

현재 플라스틱의 원료 물질 생산, 제품 제조 및 사용, 재활용 및 폐기 과정에서 문제가 있다고 생각했다. 그래서 그런 문제가 없고, 효율적인 플라스틱 사용 과정, 즉 “밸류 체인”을 만드는 게 우리의 목표로 하였다.

2) 밸류체인을 만들기 위해 필요한 자료 조사

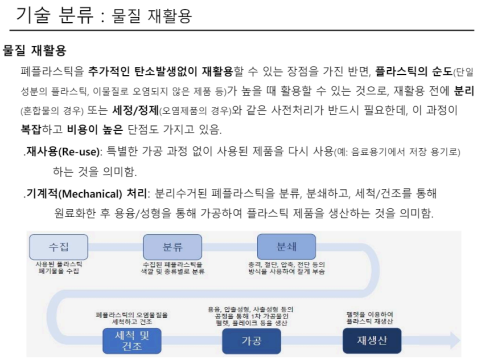
(1) 플라스틱 생산

바이오원료(옥수수, 카사바, 볏짚, 목재, 해조류 등)에는 당(Sugar) 성분이 존재한다. 미생물은 에너지를 생산하기 위해 당을 소비하고 부산물인 케미컬을 배출하게 된다. 이 케미컬을 활용하여 일반 고분자 제조공정과 유사하게 고분자 중합과정을 거쳐 바이오플라스틱이 제조된다.

(2) 플라스틱 소비

이상기후 및 코로나 19의 여파로 환경보호 경각심이 높아져 '그린슈머'가 확산되고 있다. 그린슈머는 자연을 상징하는 말인 그린(green)과 소비자라는 뜻을 가진 컨슈머(consumer)의 합성어다. 이들은 환경을 보호하기 위해 제품 가격이 조금 더 비싸더라도 기꺼이 소비한다. 제품의 생산방식부터 포장재, 원료 등의 친환경성을 고려하고, 친환경 경영을 추구하는 기업을 선호한다. 이에 따라 기업을은 친환경 경영을 통해 그린슈머를 공략하고 있다. 따라서 그린슈머가 늘어나도록 정책이 필요하다.

(3) 플라스틱 회수 및 재활용



기술 분류 : 에너지 재활용

에너지 재활용 [7]

.**소각(Combustion) 기술**: 소각로를 사용하여 폐플라스틱 또는 혼합물(폐플라스틱+일반 폐기물)을 고산소 분위기에서 연소시켜 스팀, 온수와 같은 열원을 생산하는 기술임.

.**고형 연료(SRF, Solid Refuse Fuel)**: 고체 폐기물 중에서 발열량이 4000 cal/kg 이상인 가연성 물질(폐플라스틱, 폐지, 폐목재 등)을 선별, 파쇄, 건조하여 연료화시킨 고체연료를 의미함. 고형 연료의 종류로는 RDF(Refuse Derived Fuel), TDF(Tire Derived Fuel), RPF (Refuse Plastic & Paper Fuel), WCF(Wood Chip Fuel) 등이 있으며, 2014년부터 RDF, TDF, RPF는 SRF로, WCP는 Bio-SRF로 구분하여 사용하고 있음.

7) 세계자연기금(WWF, World Wide Fund for Nature)에서는 폐플라스틱이 열원(에너지원)과 같은 재활용 불가능한 물품으로 변환되었다면, 이는 진정한 순환이 아닌 것으로 보고 있음.

기술 분류 : 화학적 재활용

화학적 재활용

페플라스틱에 화학적 변화를 일으켜서 다른 물질로 전환하여 재활용하는 것임.
즉 고분자 구조를 분해하여 원유에서 추출되는 플라스틱 원료와 동일한 원료를 생산하는 등 새롭고 다양한 Chemical을 생산하는 기술임
특히 **열분해/가스화(화학적 재활용)** 방법의 경우, 무산소/저산소 분위기에서 열처리를 통해 폐플라스틱을 **연료 또는 화학원료로 회수**하는 것으로, 소각 처리에 비해 **위험물질**(다이옥신, SOx, NOx)을 발생시키지 않으면서도, 비교적 간단한 **분리/세정과정**만으로 효율적이면서 다양한 제품을 생산할 수 있는 특징을 가짐.

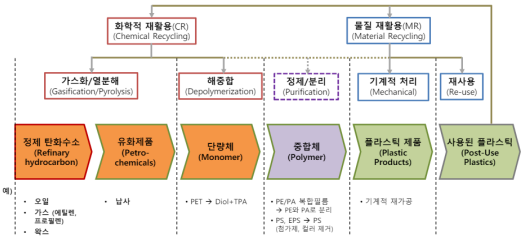
.**열분해(Pyrolysis) 기술**: 탱크 반응기, 관형 반응기를 사용하여 무산소 분위기에서 400~600℃(가스화에 비해 상대적으로 낮은 온도임)에서 반응시켜 오일, 왁스, 유화제품 등을 얻는 기술임.

.**가스화(Gasification) 기술**: 유동층 반응기를 사용하여 저산소 분위기 및 고온, 고압(750℃, 100기압 이상)에서 반응시켜 합성가스, 연료용 가스를 생산하는 기술임.

.**해중합(Depolymerization) 기술**: 열 또는 촉매를 사용하여 중합반응의 역반응(즉 중합반응을 역행시킴)을 진행시켜 원료인 단량체 또는 길이가 짧은 올리고머를 생산하는 기술임.

기술 분류 : 화학적 재활용

재활용 분류 [8]



8) Accelerating Circular Supply Chains for Plastic, Closed Loop Partners, 재편집

플라스틱은 물리적 재활용과 화학적 재활용으로 나뉜다. 물리적 재활용은 다음과 같이 진행된다. 깨끗하게 분리 배출된 페트병을 잘게 파쇄하고, 비중을 분리해주는 물에 담그면 순도 높은 페트는 가라앉고 방해가 되는 이물질은 위로 떠오르게 된다. 이런 비중분리와 세척과정을 거치고 나면, 순도 높은 재활용 페트 플레이크가 등장하게 된다. 페트 플레이크의 등급을 A, B, C로 나누면 고품질인 A등급은 의류·가방·화장품병 등을 만드는 장섬유 또는 시트(SHEET)를 뽑아내 제품을 만들

수 있으며, B·C등급은 솜이나 면 등에 쓰이는 단섬유 제조용으로 생산할 수 있다. 페트 플레이크가 만들어지면 리사이클 제품의 원재료인 '리사이클 페트칩' 생산 단계로 넘어간다. 페트 플레이크가 여러 공정을 거쳐 '칩'의 형태로 변하고, 고품질의 장섬유인 의류용 원사 등으로 재탄생 할 준비를 마치게 된다.

화학적 재활용은 열분해, 가스화, 해중합 등으로 나뉜다. 열분해는 300~400℃(시스템특성에 따라 600℃)의 무산소 조건에서 플라스틱의 고분자 사슬을 붕괴시켜 유용한 단량체 화합물로 전환하는 화학반응으로 가스·액상 오일을 생산하는 기술이며, 후처리를 통해 석유화학 공정에 투입 가능하다.비교적 간단한 공정으로 열분해 시간과 온도 조절을 통하여 재생원료의 품질과 수율을 변화할 수 있으며, 투입되는 플라스틱의 상태에 따라 생성물의 품질이 좌우되는 등 원료 유연성은 낮은 편이나 해중합 기술로 분해할 수 없었던 첨가 중합체(PE, PP 등), 혼합 및 다층 플라스틱 등 열가소성 플라스틱에 적용 가능하다.

가스화는 일반적으로 산소(또는 공기)와 증기가 석탄 또는 기타 공급 물질과 직접 접촉하여 고온·고압용기인 가스화기에서 불완전 연소를 통해 일어나며, 이를 통해 합성가스 및 재와 슬래그가 발생하는 일련의 화학반응을 의미한다. 폐플라스틱이 고온(800~1300℃)의 가스화기 내로 투입되면 열분해 반응에 의해 수분 및 휘발성분이 순간적으로 탈휘발되며, 휘발분과 차르(Char)는 가스화 반응을 통해 합성가스(H2, CO, CO2, CH4)와 탄화수소가 생성된다. 폐기물의 가스화는 환경 문제인 폐기물의 근본적인 처리뿐만 아니라 소각 등을 통해서 발생하는 주요 공해 물질인 유해가스(SOx 와 NOx)가 발생하지 않는 장점이 있다.

해중합은 고분자가 형성되는 과정인 중합과정을 역행하는 것으로 폐플라스틱을 반응기에 투입하여 용매와 함께 촉매 하에서 원재료인 단량체로 전환하는 기술이다. 페트(PET), 폴리아마이드(polyamide) 및 폴리우레탄(PU)과 같은 축합 중합체(condensation polymer)에만 적용 가능하며, PE, PP, PVC와 같은 첨가 중합체(addition polymer)에는 적용할 수 없다. 열분해와 가스화보다 에너지 소비가 적으며, 기존 고분자 생산라인에 통합할 수 있어 고분자 생산 비용 절감 효과가 크며 주로 촉매가 이용되므로 중금속과 같은 오염물질에 민감한 편이다.

(4) 플라스틱 폐기

'친환경'이나 '바이오', '생분해성' 플라스틱으로 만들었다는 제품 역시 대중의 인식보다 느리게 썩는다는 점이다. 옥수수와 사탕수수 등 바이오매스로 만든 플라스틱(PLA)은 고온 68도 이상 조건에서만 6개월~1년만에 완전히 썩는다. 상온에서는 반년 이상 지나도 10%가 채 썩지 못한다. PLA를 완전히 썩히려면 전문 처리 시설이 있어야 하고, 시설을 운영하는 과정에서 온실가스인 이산화탄소가 나온다. 즉, 이름만 친환경이지 실상은 그다지 친환경적이지 못한 것이다.

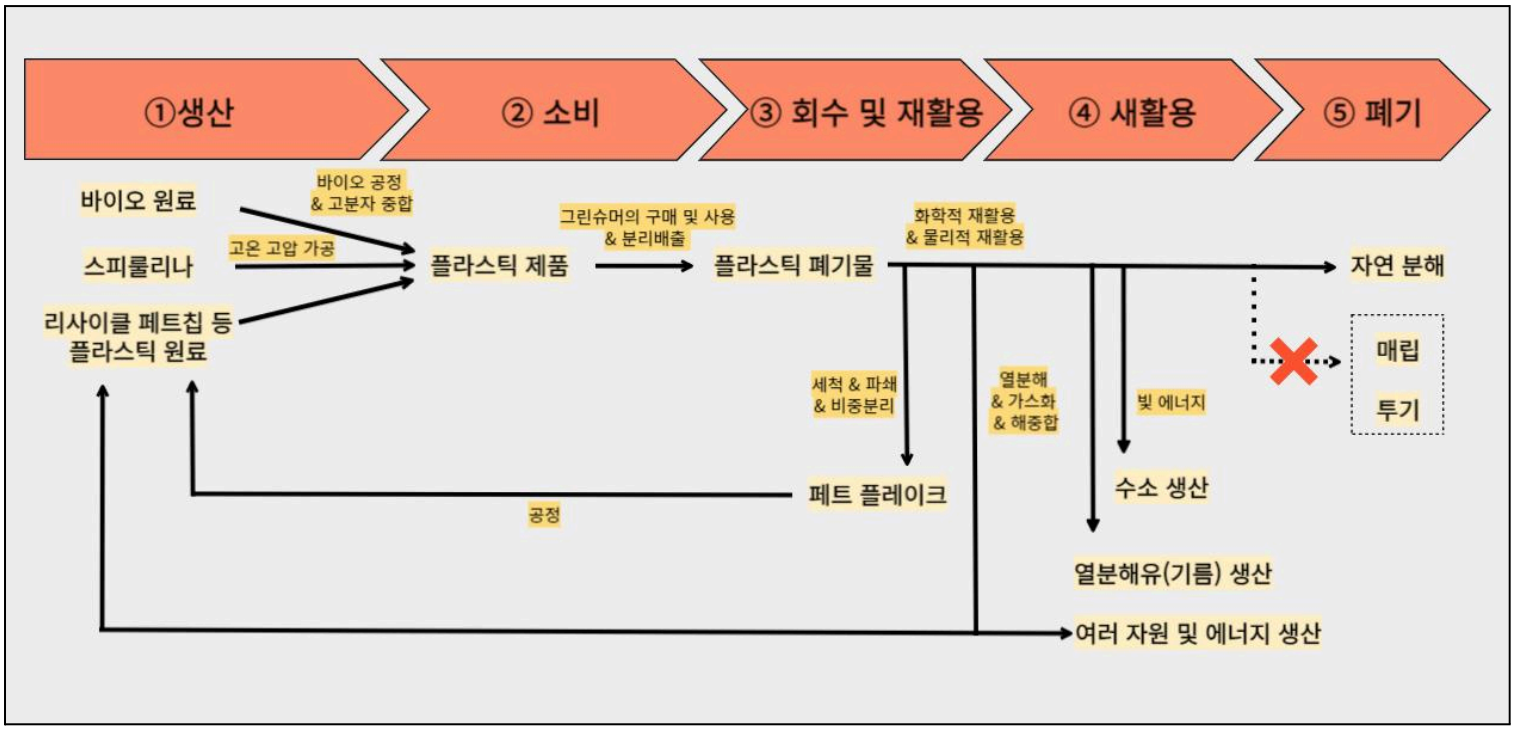
미국 워싱턴대 연구진은 시아노박테리아의 한 종류인 스피룰리나 세포를 이용해 뒤뜰에 묻기만 해도 바나나 껍질과 비슷한 속도로 썩는 플라스틱을 개발했다. 스피룰리나는 영양제품이나 화장품 원료로 이미 대규모 생산되고 있어 플라스틱으로 생산하기가 비교적 수월하다. 또한 실험 결과 스피룰리나 플라스틱을 땅에 묻었을 때 바나나 껍질이 썩는 것과 비슷한 속도로 자연 분해한다는 사실이 밝혀졌다. 이렇게 스피룰리나를 이용해 만든 플라스틱은 잘 분해될 뿐만 아니라 생산도 편하다는 장점이 있다.

(5) 플라스틱 업사이클링

이병훈 교수와 현택환 기초과학연구원(IBS) 나노입자연구단장, 김민호 경희대 응용화학과 공동 연구팀이 새로 개발한 촉매를 이용해 폐페트병을 수소를 생산하는 반응에 적용하자 98%의 페트(PET)를 수소로 전환할 수 있었다. 1g의 촉매로 시간당 3.7L의 수소를 생산하며 세계 최고 효율을 달성했다.연구팀은 빛 에너지를 이용해 쉽게 구입할 수 있는 상용 산화물 물질 내부에 존재하는 산소 결함들을 의도적으로 표면으로 이동시키고 표면에 노출된 산소 결합 자리들을 단원자들의 결합 자리로 이용했다.

폐플라스틱과 폐비닐을 이용해 열분해유를 생산할 수 있다. 전체 폐플라스틱과 폐비닐의 약 80%를 열분해유로 얻을 수 있다. 열분해유를 생산하는 과정에서 최초 가열할 때 액화석유가스(LPG)를 사용하지만 시간이 지나면서 플라스틱이 분해되며 발생하는 가스를 연료로 사용하기 때문에 대기오염 문제도 거의 발생하지 않는다.

3) 밸류 체인 디자인


①생산
② 소비
③ 회수 및 재활용
④ 새활용
⑤ 폐기
바이오 원료
스피룰리나
리사이클 페트칩 등
플라스틱 원료
바이오 공정
& 고분자 중합
고온 고압 가공
플라스틱 제품
그린슈머의 구매 및 사용
& 분리배출
플라스틱 폐기물
화학적 재활용
& 물리적 재활용
자연 분해
매립
투기
세척 & 파쇄
& 비중분리
열분해
& 가스화
& 해중합
빛 에너지
페트 플레이크
수소 생산
공정
열분해유(기름) 생산
여러 자원 및 에너지 생산

5.사업화 아이디어 마련

구상한 밸류 체인의 사업성을 고려하여 경제적/환경적 영향을 예상해보자.

1) 재활용을 통한 에너지 재생산

재활용을 통해 얻은 새로운 에너지를 (업사이클링 에너지)라고 부름

(1) 폐플라스틱을 이용해 수소 재생산

버려진 종이와 플라스틱을 섭씨 3,870℃의 고온에 가열한 뒤 얻은 바이오가스에서 수소를 생산할 수 있다. (생산량은 연간 380만kg으로, 하루 약 2200대의 수소차에 연료를 공급)

(2)플라스틱을 통해 수소 에너지 생산

플라스틱 종류나 오염여부에 관계없이 5cm 길이로 잘게 자른 뒤 1000℃로 녹이면 가스가 발생하는데, 이 가스를 정제해 변환해 전기에너지 또는 수소에너지를 생산할 수 있다.

(3)플라스틱을 재활용해 로켓 연료로 사용

플라스틱 쓰레기를 재활용해 등유를 대체하는 연료인 '에코신(Ecosene)'을 개발(1000kg에서 약 600kg의 에코신 연료가 만들어진다. 이 연료를 이용해 로켓 엔진을 작동시킬 수 있다. 일반 등유에 비해 온실가스 배출량을 45% 감소가 가능함)

2) 플라스틱을 이용한 경제활동 증진

(1) 일회용컵 보증금 제도와 지역화폐

제주도 자체에서 만든 리사이클링 or 업사이클링 텀블러를 구매후 제주내 모든 카페에 가서 구매시 텀블러 사용시 구매 금액의 n%를 지역 화폐로 지급하는 방안을 생각했다. (이로 인해 카페 사장님들 제기 문제 사라짐, 일회용컵 사용량 줄어듦, 지역내 화폐 순환력 상승이 가능할것이라고 전망한다.)

6. 참고 문헌

1. 슬기로운 에코생활. (2023, May 5). 플라스틱이라고 다 재활용되는 건 아냐*!* 숫자로 보는 플라스틱 감별법*.* SK Ecoplant Newroom. https://news.skecoplant.com/plant-tomorrow/10567/
2. 이연진, 이준석 . (2023). 폐플라스틱 화학적 재활용 기술*. [*기술동향브리프*]* 폐플라스틱 화학적 재활용 기술*, 1–40.* https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11724053
3. 제주특별자치도, 미래성장과 . (2022, November 23). 제주특별자치도_쓰레기종류별배출현황*.* 공공데이터포털. https://www.data.go.kr/data/15062868/fileData.do
4. 이한영 . (2023, December 12). *KAIST* 이상엽 특훈교수*,* 폐플라스틱 친환경 처리하는 최신 기술 발표. 충청일보. https://www.ccdailynews.com/news/articleView.html?idxno=2244978
5. 수소경제 밸류체인으로 본 비즈니스 기회 *[*삼정*KPMG CFO Lounge]*. (2021, August 2). 한경경제. https://www.hankyung.com/article/202107300830i
6. *PET* 플라스틱 원료의 특성 및 용도 소개. (2020, April 23). 오딘금형 (주). https://www.google.com/url?q=http://ko.bmcmould.com/news/introduction-to-the-properties-and-uses-of-pet-35085255.html&sa=D&source=docs&ust=1720971214620909&usg=AOvVaw0-VIepY996HESwR8PncnSC
7. 분리수거. (n.d.). 법령용어검색. https://www.google.com/url?q=https://www.klri.re.kr/kor/business/bizLawDicKeyword.do&sa=D&source=docs&ust=1720971318950982&usg=AOvVaw3DhOSTsVZ-WDzkEh6YtFra
8. 이해리 . (2021, February 15). [脫 플라스틱*]*② 분리수거해도 재활용이 안되는 이유. N 뉴스포스트. https://www.newspost.kr/news/articleView.html?idxno=92245
9. Niall mccarthy. (2016, March 9). *The Countries Winning The Recycling Race*. Statista. https://www.statista.com/chart/4470/the-countries-winning-the-recycling-race/
10. 플라스틱 폐기물을 줄이는 방사선. (n.d.). 한국원자력공단. https://www.korad.or.kr/webzine/202112/sub2-3.jsp

11. 김기범. (2023, March 23). 한국 연간 생수병 사용량 '지구 *14*바퀴. 경향신문. https://m.khan.co.kr/environment/environment-general/article/202303230600005
12. 김훈남. (2022, September 25). *"*힘들게 분리수거 했는데*...*재활용률*,* 고작 *60%*라고*?"* 머니 투데이. https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2022092311270931511
13. 김소희 . *(2021, October 20).* 플라스틱 폐기물 처리*,* 인식의 대전환 필요하다. GS 칼텍스. https://gscaltexmediahub.com/esg/gsc-esg/how-to-deal-with-plastic-waste/
14. 정찬욱. (2023, November 16). 미세플라스틱이 토양 생태계와 질소 순환 교란한다. 연합뉴스. https://www.yna.co.kr/view/AKR20231116062600063
15. 강명윤. (2021, December 8). *"*플라스틱 폐기물로 토양오염 심각*...*식량안보 위협할 것*."* 더나은미래. https://www.futurechosun.com/archives/60638
16. 한화토탈에너지스. (2020, April 8). 쓰레기에서 자원으로*!* 폐플라스틱 재활용 기술. 한화. https://www.chemi-in.com/403
17. Gs, 칼텍스. (2022, July 14). 바다의 숨통을 조이는 미세 플라스틱 이래도 쓰실 건가요*?* 네이버 포스트. https://post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=34131956&memberNo=471333&searchKeyword=플라스틱&searchRank=17
18. 환경을 위한 혁신*:* 플라스틱의 순환과 밸류 체인. (2024, March 25). Kendler. https://enzine.co.kr/proposal
19. 플라스틱 폐기물 이슈*,* 행동하는 기업들. (2021, July 22). Lg경제 연구원. https://www.lgbr.co.kr/uploadFiles/ko/pdf/busi/LGERI_Report_20210722_20210222130248130.pdf
20. 페트병으로 만든 담요*,*이면지 포스트잇*,*서울의 약속 선거현수막 에코백. (n.d.). 터치포굿. https://touch4good.com/design
21. Sk지오센트릭.http://www.skgeocentric.com/company/gs.asp
22. 김경은. (2022, September 4). 한국이 분리수거를 잘한다*?...*재활용률 *70%*의 '함정'*[*플라스틱 넷제로*]*. 이데일리. https://m.edaily.co.kr/news/read?newsId=01161126632456840&mediaCodeNo=257
23. GS칼텍스. (2012, December 25). 친환경 바이오매스 이야기 – 원료부터 남다른 바이오플라스틱. GS칼텍스 미디어허브. https://gscaltexmediahub.com/esg/eco-friendly-biomass/

24. 김이수. *(2022, September 8).* 선택 아닌 필수…친환경 소비 '그린슈머'가 뜬다. 루트노미. http://rootnomy.com/news/view.php?idx=17364
25. 잘 버린 투명페트병의 화려한 변신…과정 살펴보니. (2021, July 7). 대한민국 정책브리핑. https://www.korea.kr/briefing/policyBriefingView.do?newsId=148889786#policyBriefing
26. 제*3*부_*2* 폐플라스틱의 화학적 재활용이란 무엇인가*?* (2024, March 11). 성주신문. http://www.seongjuro.co.kr/news/view.php?idx=53678
27. 이정아. (2023, August 15). *[*그린비즈*]* 더 빨리 분해되는 친환경 플라스틱 나온다. 조선일보. https://biz.chosun.com/science-chosun/nature-environment/2023/08/15/SCT5N5LJNZFLXAXHNVQVCQPRFQ/
28. 박정연. (2024, February 6). 태양빛만 이용해 폐플라스틱에서 수소 얻는다. 동아사이언스. https://m.dongascience.com/news.php?idx=63691
29. 문병주. (2023, January 31). 폐플라스틱서 짜낸 기름… 에너지·기후 두 마리 토끼 잡기. 중앙일보. https://www.joongang.co.kr/article/25137100#home