

플라스틱연료화: 예정된 실패

플라스틱 생산량과 폐기물 발생량은 20년마다 두 배로 증가하고 있습니다.¹ 세계에 닥쳐온 플라스틱 위기 때문에, 플라스틱 폐기물을 연료로 전환해 소각하는 기술이 기후 친화적이고 지속 가능하며 순환적 기술인 것처럼 잘못 알려지고 있습니다. 가스화나 열분해 등의 소각 기술들이 대규모 산업 투자나 소규모 프로젝트 등, 규모와 형식을 가리지 않고 전 세계 여기저기서 불쑥불쑥 등장하고 있습니다.

해당 산업에서는 과장되게 광고하고 있지만, 다음 다섯 가지 근거에 비추어 볼 때 이러한 공정들에서 얻을 예상 편익보다는 그로 인해 발생하는 환경/보건 상의 문제들이 훨씬 큽니다.

1. 플라스틱연료화 공정은 저품질 연료를 만들어냅니다.
2. 플라스틱연료화는 기후 변화를 악화시킵니다.
3. 플라스틱연료화는 유독성 물질을 대기로 배출하고 독성 부산물을 만들어 냅니다.
4. 플라스틱연료화는 수십억 달러(수 조원)를 낭비했습니다.
5. 플라스틱연료화는 플라스틱의 과잉 생산을 지속시킵니다.

플라스틱연료화에 사용되는 기술은 무엇입니까?

이 이슈브리프는 플라스틱 업계와 폐기물 업계에서 종종 "화학적 재활용"이라거나 "첨단 재활용" 같은 식으로 홍보하는 가스화나 열분해 소각 등 플라스틱연료화 기술 관련 문제점과 우려 사항들을 다룰 것입니다. 특정 용어가 혼용되어 일반 대중에게 오해를 불러일으킬 수 있으므로, 명확한 이해를 돕기 위해 아래에 몇 가지 용어의 정의를 제시하고자 합니다.

- **화학적 재활용 (chemical recycling)**: 다양한 플라스틱연료화 및 폐플라스틱재종합 기술을 지칭하는 그린워시 용어입니다. 이 공정은 플라스틱을 새 플라스틱 생산에 쓸 수 있는 액체나 기체로 전환하는 것을 목표로 하지만, 실제로는 최종 산출물은 대개 소각 처리됩니다. 이 공정 기술의 변용적 형태로는 열분해, 가용매분해, 해중합 등이 있습니다. 그러나 어떻게 부르든 간에 최종 결과물이 소각된다면 그 기술은 플라스틱연료화, 즉 플라스틱 소각 공정입니다.
- **열분해 (pyrolysis)**: 산소가 거의 없는 상태에서 폐기물에 열을 가하여 액체나 기체 연료를 만드는 공정.
- **가스화 (gasification)**: 열분해와 유사하며, 산소가 적은 환경에서 폐기물에 열을 가하는 공정

1

플라스틱연료화 공정은 저품질 연료를 만들어냅니다.

• 가스화 및 열분해 공정에서 만들어지는 탄화수소 혼합물은 심하게 오염되어 있어 운송용 연료의 사양을 충족하지 못하는데, 이는 원료의 구성 및 복잡한 물리적, 화학적, 열적 상호 관계에 따라 운송용 연료의 품질이 크게 좌우되기 때문입니다.²

◦ 미국의 주요 화학업계 로비 집단인 미국화학협회(American Chemistry Council)가 보고서에서 인정했듯, 연료의 품질은 플라스틱에서 뽑아내는 연료의 생산과 마케팅에서 "가장 중요한 과제 중 하나"입니다.³ 플라스틱의 원료에 질소, 황, 염소, 할로겐 함유량이 높을 수록 수율이 낮아지고 품질이 저하될 수 있습니다.⁴

• 품질이 낮고 오염도는 높아서, 생산된 연료는 대대적인 오염 제거와 농축 작업을 거쳐야만 산업 표준을 충족할 수 있습니다.⁵

◦ 생산된 연료는 내연기관에 사용할 수 있도록 높은 품질 기준을 만족해야 합니다.⁶ 생산된 연료는 내연기관에 사용할 수 있도록 높은 품질 기준을 만족해야 합니다.⁶ 특히, 항공기(jet) 연료는 복수 유형의 연료를 다루며 발생할 수 있는 문제들을 방지하기 위해 가장 까다로운 최신 기준을 충족해야만 합니다.⁷ 많은 비용을 낭비적으로 투입하면서 30년 간 지속적으로 노력했음에도 불구하고, 폐기물에서 뽑아낸 연료가 이런 엄격한 규격을 충족할 기미는 전혀 보이지 않습니다.

◦ 플라스틱 폐기물에서 추출한 연료는 착화 지연 시간이 길기 때문에 디젤 엔진의 장기간 구동에 적합하지 않으며, 사용하려면 기존의 연료를 25% 이상 혼합해야만 합니다.⁸

• 플라스틱 유래 연료는 디젤보다 배기가스 배출량이 높아서⁹ 심한 오염으로 이어지고 장기적으로 엔진에 손상을 줄 수 있습니다. 연료 배기 가스가 업체 부지 바깥이나 차량에서 연소될 경우 대개 적절한 규제를 받지 않습니다.

◦ 열분해유(熱分解油)는 고형물 찌꺼기, 다이옥신, 다환방향족탄화수소(PAHs) 등의 오염이 일반 디젤보다 훨씬 심하고, 표준 엔진에서 연소되는 디젤에 비해 황 함유물, 미연소 탄화수소(UHC), 질소산화물(NOx), 그을음, 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 배출량이 훨씬 더 많습니다.^{10, 11, 12, 13, 14} 연료의 알칸(alkanes) 농도가 높을 경우¹⁵ 산소 및 인화성 물질과 접촉 시 치명적인 폭발과 사고로 이어질 수 있습니다.¹⁶

2

플라스틱연료화는 기후 변화를 악화시킵니다.

- 플라스틱을 연료로 전환한 다음 그 연료를 연소시키면 플라스틱에 있던 탄소가 이산화탄소(CO₂)로 방출됩니다.¹⁷ 플라스틱에서 뽑아낸 연료의 수명 주기 전체를 보면, 화석 연료 자원을 추출하는 시점부터 연료를 태우는 단계를 거쳐 잔여 폐기물을 처리하는 최종 단계에 이르기까지 여러 단계에서 온실 가스가 배출됩니다.^{18, 19}
- 가스화 및 열분해는 전처리와 가공 그리고 후처리 과정을 거치는 동안 엄청난 에너지가 들어가는 고온 열처리 공정입니다.²⁰
 - 열분해 공정에 공급하는 원료는 대개 전처리 공정을 거쳐야 하며, 이 때 상당한 에너지를 소비하게 됩니다.
 - 열분해는 흡열 속성 때문에 불가피하게 에너지 집약적인 공정이 될 수밖에 없습니다.²¹ 이런 기술들은 산소가 없는 환경을 필요로 하므로 공정을 유지하려면 추가 에너지 투입을 필요로 합니다.
 - 열분해 기술이 요구하는 산소 결핍 환경, 고온 열처리 공정, 플라스틱 폐기물의 파쇄와 건조 등에는 상당한 에너지가 소요됩니다.
 - 공정에서 뽑아낸 연료를 사용하기 전에 필히 거쳐야 하는 오염 제거 및 농축 과정에서 사용되는 에너지는 도를 넘습니다. 가스화 공정에서는, 기름의 고도정제 과정에서 원료에 함유된 탄소의 53% 이상, 가스의 고도정제 과정에서 48% 이상이 방출될 수 있습니다.²²
- 현재 화학적 재활용 기술 중 에너지 평형 측면에서 총체적으로 긍정적 영향만 끼칠 수 있는 것은 전혀 없고, 머지 않아 그렇게 개선될 거라고 볼만한 근거도 전혀 없습니다.²³
 - 기존의 열분해 시설에서 제출한 2020년 데이터에 따르면, 플라스틱 폐기물 1톤을 처리할 때 이산화탄소(CO₂)는 3톤 이상 발생했습니다.²⁴

3

플라스틱연료화는 유독성 물질을 대기로 배출하고 독성 부산물을 만들어 냅니다.

• 플라스틱 폐기물의 열분해와 가스화 공정에서, 그리고 생산된 연료의 최종 연소 시에 독성 물질이 나옵니다.²⁵ 비스페놀-A(BPA), 카드뮴, 벤젠, 브롬화 화합물, 프탈레이트, 납, 주석, 안티몬, 휘발성유기화합물(VOCs) 등 플라스틱의 독성 첨가물과 오염 물질 외에도, 고열을 가하는 공정에서는 특히나 다이옥신과 퓨란, 벤젠, 톨루엔, 포름알데히드, 염화 비닐, 시안화 수소, PBDEs(polybrominated diphenyl ethers, 폴리브롬화 디페닐 에테르 류), PAHs(Polycyclic aromatic hydrocarbons, 다환방향족탄화수소 류) 및 고온의 타르 등 독성 물질이 새로 만들어지기도 합니다.²⁶ 이러한 공정에서 배출되는 통제되지 않은 오염 물질은 지역 주민에게 심각한 건강 및 안전 상의 위험을 일으키고 노동자에게는 엄중한 중독 위험을 초래할 수 있습니다. 이는 특히 배출 기준이 느슨한 나라와 지역일수록 더욱 그렇습니다.

◦ 특히 아프리카, 아시아, 라틴 아메리카 등지에서 나타나고 있는 소규모 열분해 계획일수록 더욱 그렇습니다.

◦ 2018년 미국 오리건(Oregon) 주의 한 열분해 시설에서는 소외된 지역에 있는 시멘트 가마에서 소각할 목적으로 49,000톤 이상의 스티렌 폐기물을 반출한 적도 있습니다.

• 이런 오염 물질들은 성공적으로 잘 포집하거나 중화했어도 공정의 결과물 자체에 함유되거나 비산재, 숯, 슬래그(slag), 폐수 등의 부산물에 여전히 남아 있습니다. 플라스틱연료화 공정의 결과물에서 독성 물질을 없애는 것은 매우 어렵고 돈이 많이 들뿐 아니라 또 다른 독성 폐기물을 줄줄이 만들어 냅니다.²⁷

◦ 미국화학협회(American Chemistry Council)는 플라스틱연료화 공정의 잔여 폐기물을 주요 문제로 인정하고 있으며, 이는 공정에 투입되는 전체 원료에서 15~20%에 달합니다.²⁸

◦ 방향족 분자는 쉽사리 산화되지 않으므로²⁷ 플라스틱연료화 공정 가동 중에 그을음을 형성하는 입자성 배출물을 방출하는데, 그을음은 배출량을 증가시키고 연소 효율을 떨어뜨립니다.³⁰

◦ 일부 공정은 촉매를 사용하는데, 플라스틱에서 나온 독소와 새로 생성된 독소가 모두 폐용매에 남아있을 수 있습니다.³¹ 예를 들어, 연간 10만 톤 규모의 공장은 후처리 공정에서 신경 독성 및 호흡기 질환을 유발하는 것으로 알려진 n-헥산이라는 물질을 250만 세제곱미터나 만들어 냅니다.³²

◦ 가스의 응축, 냉각, 액화에는 물이 필요한데, 이 물은 지역 하수 시스템에 방류하기 전에 처리 과정을 거쳐야 합니다. 조사 결과에 따르면, 공정수 1톤 당 34갤런의 물이 사용됩니다.³³

4

플라스틱연료화는 수십억 달러 (수 조원)를 낭비했습니다

- 최종 결과물의 품질이 낮고, 품질을 예측할 수가 없기 때문에 학계와 업계에서 수많은 사람들이 화학적 재활용 기술과 플라스틱연료화 기술을 경제성 있게 운용할 가능성이 없다는 것을 인정했습니다.³⁴ 이 방식은 화재, 폭발, 재정 손실 등의 대실패 전적을 가지고 있습니다. GAIA에서 2017년 출간한 <폐기물 가스화 및 열분해: 고위험 저수율 폐기물 관리 공정>³⁵을 보면, 여러 프로젝트에 20억 달러가 투자되었으나 성과 없이 취소 혹은 폐기되었습니다.
- 에너지원으로서, 플라스틱을 원료로 만든 연료는 엄청나게 비싸고 시장 경쟁력은 약합니다.
 - 출력 15메가와트짜리 열분해 설비의 자본 비용은 Kw 당 8,000 ~ 11,500 달러 (한화 1,000 ~ 1,500 만원) 입니다.³⁶
 - 플라스틱연료화 시설이 정유공장에 비해 상대적으로 소량의 액체 연료를 생산하고, 시스템과 원료의 변화에 따라 결과물의 품질이 천차만별이기 때문에 이 연료 제품은 시장 경쟁력이 없습니다.³⁷
- **염료, 안정제 및 기타 첨가제와 오염 물질의 세척, 분류, 파쇄, 제거 등을 위한 기반 시설을 구축하려면 수십 억 달러의 투자가 필요하며, 이는 값싼 플라스틱 제품과 포장재의 존재를 정당화하는 구실이 됩니다. 혼합 플라스틱 폐기물은 전처리된 시약 수준 원료에 비하면 처리하는 속도가 4배나 느려질 수 있습니다.**³⁸
- 또한 일부 방식은 루테튬(Ru)이나 백금(Pt) 같은 희귀 원소를 촉매로 사용하는데, 수십만 톤에 달하는 플라스틱 폐기물을 처리하려면 지구 상의 현 매장량보다 훨씬 많은 양이 필요합니다.³⁹

5 플라스틱연료화는 플라스틱의 과잉 생산을 지속시킵니다.

- 플라스틱을 태우는 것은 화석 연료를 태우는 것과 같습니다. 본질적으로 플라스틱연료화 공정이란 잠시 플라스틱 조각 형태를 취하는 화석 연료를 추출해서 태우는 복잡스러운 방법을 규정하는 것입니다.
- 플라스틱연료화 기술은 과도한 플라스틱 쓰레기를 만들어내고 실질적 해결책에 집중하지 못하게 합니다.
 - 시설을 운영하려면 플라스틱이 꾸준히 공급되어야 하므로 저품질 플라스틱의 생산 및 추출이 추가적으로 필요해집니다. 이로 인해 중요한 재활용 (및 그로 인한 온실가스 절감) 가능성이 차단되고 지역 사회가 선형 플라스틱 경제 구조에 갇히게 됩니다.
 - 재활용과 달리, 플라스틱연료화는 폐쇄형 순환 시스템에 재투입할 물질을 포집해 추가적인 화석 연료 추출을 막아내는 일을 하지 못합니다. 유럽연합 폐기물처리 기본지침(EU Waste Framework Directive)은 폐기물로부터 연료를 생산하는 것에 대해 "재활용"이라고 표시하거나 "재활용"에 포함시킬 수 없다고 규정하고 있습니다.
 - 플라스틱연료화를 특히나 강하게 지지하는 것은 셰브론 필립스 케미컬(Chevron Phillips Chemical), 다우 케미컬(Dow Chemical), 프록터 앤 갬블(Procter & Gamble) 등, 미국화학협회(American Chemistry Council)의 회원사이자 플라스틱 생산에 가장 큰 책임이 있는 회사들입니다.

플라스틱연료화 프로젝트에 대항하는 풀뿌리 단체들의 지속적인 노력



미국(위스콘신): 위키쇼카운티 환경행동연합(Waukesha County Environmental Action League, WEAL) 및 동맹 단체들은 이동식 가스화 장치에 적용되는 대기 배출 면제 규정을 반대하는 공개 의견서들을 제출했습니다.

미국(아이다호): 국제환경단체 가이아(GAIA)는 폐플라스틱을 수거해 리놀로지(Renewlogy)라 명명된 플라스틱연료화 공장으로 보내도록 하는, 다우 케미컬(Dow Chemical)에서 운영하는 ['헤프티 에너지 백\(Hefty Energy Bags\)'이라는 운동에 반대하는 캠페인들을 조직](#)했습니다. 뉴롤로지 공장이 기술적 문제로 가동 중지된 후, [현재는 폐기물을 아이다호 주의 주도인 보이시\(Boise\)에 위치한 한 시멘트 가마로 보내고 있습니다.](#)

미국(조지아): '조지아 환경(Environment Georgia)'은 [조지아주 메이컨\(Macon\)에 플라스틱연료화 공장을 짓자는 브라이트마크\(Brightmark\) 사\(\)의 제안에 맞서기 위해](#) 메이컨 주민들 및 여러 동맹 단체들과 함께 조직을 결성하여, 채권 형태로 브라이트마크(Brightmark)에 미화 5억 달러를 제공하려는 결정에 반대하고 있습니다. 또한 '조지아 물 연합(Georgia Water Coalition)'은 브라이트마크 사에서 제안한 공장을 2021년의 [12대 오염공장 목록에 올렸습니다.](#)

뉴질랜드: '아오테이아러우어 플라스틱 오염 연합(Aotearoa Plastic Pollution Alliance)'은 [열분해 공장 건설 제안을 막기 위해 노력 중입니다.](#)

파키스탄: 파키스탄 정부는 매일 수백 톤의 탄소 분말을 방출하는 라호르(Lahore) 지역 [열분해 공장 13곳을 철거](#)했습니다.

라틴아메리카: 현지 단체들은 에쿠아도르(Ecuador)와 갈라파고스(Galapagos) 제도에 10개 이상의 공장 건설을 계획 중인 플라스틱가스(Plastikgas)라는 미국 회사의 제안을 모니터링하고 있습니다.

이탈리아: 리푸티 제로 리보르노(Rifiuti Zero Livorno) 등, 리보르노(Livorno)의 여러 단체들은 서로 협력하여 ENI(Ente Nazionale Idrocarburi, 이탈리아 국립탄화수소공사)의 "고도 재활용" 공장 및 글로벌 화석 연료 회사에서 제시하는 잘못된 여러 솔루션들에 대해 [폭로하기 위해 노력하고 있습니다.](#)

그럼 우리 지역 사회의 플라스틱 폐기물을 어떻게 처리해야 합니까?

플라스틱 유래 연료는 화석 연료이므로 우리에게 필요한 저탄소 미래와는 맞지 않습니다. 설사 기술적으로든 경제적으로든 성공하더라도, 이런 연료는 여전히 엄청난 탄소 발자국을 만들어낼 것이기 때문에 애당초 피해야 합니다. 폐기물 가스화 및 열분해는 에너지 소모가 크고 경제성이 낮아 30년 넘게 실패를 거듭해왔으며, 저탄소 연료는 고사하고 폐기물 유래 연료 생산 시도가 갑작스레 성공할 가능성 자체가 매우 희박합니다.⁴⁰

플라스틱 오염 위기와 기후 변화를 해결할 만능 해결책은 없지만, 의사결정자와 투자자들은 폐기물 발생 방지, 플라스틱 감축, 분리 및 수집, 재사용, 재활용 등 자원순환 혹은 제로웨이스트(zero waste)라고도 불리는 전국에 걸친 지역 사회 기반의 접근 방식을 지원해야 합니다. 불필요한 플라스틱 포장과 제품은 일회용 플라스틱 금지, 생산자 책임 확대, 보증금 반환제 같은 지원 정책, 그리고 제품 디자인 혁신 등을 통해 없앨 수 있습니다.

도움주신 분들

- 작성자: 문도운(Doun Moon), 샤나 타브리지(Shanar Tabrizi)
- 검토 및 편집: 클레어 아킨(Claire Arkin), 미리암 아주린(Miriam Azurin), 알레한드라 파라(Alejandra Parra), 요벨 노비안 푸트라(Yobel Novian Putra), 닐 탕그리(Neil Tangri), 야넵 바크(Janek Vähk), 로리안 바일라드(Lauriane Veillard), 마리엘 빌렐라(Mariel Vilella), 조나단 와이즈글라스(Jonathan Weissglass), 모니카 윌슨(Monica Wilson)
- 디자인: 문도운(Doun Moon) / 벡터 그래픽 제공: Yippa, Francesca Tabasso, Freepik

이 간행물은 부분적으로 플라스틱솔루션펀드(Plastic Solution Fund, PSF)의 자금 지원을 통해 제작되었습니다. 본 간행물에 표명된 견해는 반드시 PSF의 의견을 반영하는 것은 아닙니다. 이 보고서의 일부 또는 전체는 출처가 제대로 명시된 경우에 한해 비상업적 목적으로 복제할 수 있습니다. 저작자의 서면 허가 없이 판매용 혹은 상업적 목적으로 복제하는 행위는 금합니다.

온라인 URL: www.no-burn.org/plastic-to-fuel-losingproposition



©2022 Global Alliance for Incinerator Alternatives
1958 University Avenue, Berkeley, CA 94704, USA

www.no-burn.org

플라스틱연료화 사업과 맞닥뜨렸을 때 물어야 할 질문 8가지

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

시설에 사용되는 기술의 유형은 무엇인가? 실제 운영 환경에서 제대로 작동하는 것이 입증되었는가, 아니면 실험실 수준인가? 이 공정이 이 정도의 규모로 다른 곳에서 채택된 적이 있는가?

이 공정의 에너지 균형은 어떠하며, 이를 측정하고 추적하는 방법은 무엇인가? 탄소 균형은 어떠하며, 어떻게 모니터링하는가?

예상 배출량은 얼마이며 모니터링 및 보고 방법은 무엇인가?

어떤 종류의 원료에 대해 테스트를 거쳤는가? 어느 지역에서 얼마나 많은 원료를 조달할 것인가?

주 생산물과 부산물 등, 공정의 주요 산출물은 무엇인가? 재, 폐수, 폐용제, 잔여 폐기물 등의 관리 방법은? 잔여 폐기물을 소각로 혹은 시멘트 가마로 보내는가?

생산물을 현장에서 소각하는가 아니면 다른 장소로 운송하는가? 현장을 벗어나 다른 곳으로 운송했을 때, 배출량 모니터링은 어떤 방식으로 이루어지는가?

프로젝트의 자금 조달 방법은? 공공 기금일 경우, 지역 사회가 제로웨이스트(zero waste)로 향할 수 있도록 자금을 지원받을 수 있는 다른 프로젝트가 있는가?

시설의 위치는 소외된 지역 사회 또는 인구 밀집 지역과 얼마나 가까운가? 환경 정의 공동체 (environmental justice communities, 환경적 피해에 더 많이 노출되고 더 취약한 저소득 혹은 소수인종 공동체)에 불균형적인 피해를 끼칠 우려가 있는가?⁴¹

참고문헌

1. Lebreton, Laurent, and Anthony Andrady. 2019. "Future Scenarios of Global Plastic Waste Generation and Disposal." *Palgrave Communications* 5 (1): 1-11. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7>.
2. Rollinson, Andrew N., and Jumoke Oladejo. 2020. "Chemical Recycling: Status, Sustainability, And Environmental Impacts". <https://doi.org/10.46556/onls4535>.
3. Ocean Recovery Alliance. 2015. "Plastics-to-Fuel Project Developer's Guide - Ocean Recovery Alliance." Accessed January 11, 2022. <https://www.oceanrecov.org/about/plastic-to-fuel-report.html>.
4. Ibid
5. Rollinson, Andrew N., and Jumoke Oladejo. 2020. "Chemical Recycling: Status, Sustainability, And Environmental Impacts". <https://doi.org/10.46556/onls4535>.
6. Kalargaris, Ioannis, Guohong Tian, and Sai Gu. 2017. "Combustion, Performance And Emission Analysis Of A DI Diesel Engine Using Plastic Pyrolysis Oil". *Fuel Processing Technology* 157: 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.11.016>; Wong, S.L., N. Ngadi, T.A.T. Abdullah, and I.M. Inuwa. 2015. "Current State And Future Prospects Of Plastic Waste As Source Of Fuel: A Review". *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 50: 1167-1180. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.063>.
7. Rollinson, Andrew N. 2021. "Technical Briefing - The Reality of Waste-derived Fuels: Up In The Air." GAIA. <https://www.no-burn.org/jetfuels>.
8. Kalargaris, Ioannis, Guohong Tian, and Sai Gu. 2017. "The Utilisation of Oils Produced from Plastic Waste at Different Pyrolysis Temperatures in a DI Diesel Engine." *Energy* 131 (July): 179-85. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.024>.
9. Ibid
10. Kalargaris, Ioannis, Guohong Tian, and Sai Gu. 2017. "Influence of Advanced Injection Timing and Fuel Additive on Combustion, Performance, and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Running on Plastic Pyrolysis Oil." *Journal of Combustion* 2017 (February): e3126342. <https://doi.org/10.1155/2017/3126342>; Khan, M. Z. H., M. Sultana, M. R. Al-Mamun, and M. R. Hasan. 2016. "Pyrolytic Waste Plastic Oil and Its Diesel Blend: Fuel Characterization." *Journal of Environmental and Public Health* 2016 (June): e7869080. <https://doi.org/10.1155/2016/7869080>.
11. Rollinson, Andrew N., and Jumoke Oladejo. 2020. "Chemical Recycling: Status, Sustainability, And Environmental Impacts". <https://doi.org/10.46556/onls4535>.
12. Khatha, W., S. Ekarong, M. Somkiat, and S. Jiraphon. 2020. "Fuel Properties, Performance and Emission of Alternative Fuel from Pyrolysis of Waste Plastics." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 717 (1): 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/717/1/012001>.
13. Czaiczynska, D., L. Anquilano, H. Ghazal, R. Krzyżynska, A.J. Reynolds, N. Spencer, and H. Jouhara. 2017. "Potential Of Pyrolysis Processes In The Waste Management Sector". *Thermal Science And Engineering Progress* 3: 171-197. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.06.003>.
14. Kalargaris, Ioannis, Guohong Tian, and Sai Gu. 2017. "The Utilisation of Oils Produced from Plastic Waste at Different Pyrolysis Temperatures in a DI Diesel Engine." *Energy* 131 (July): 179-85. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.024>.
15. Williams, Paul, and Edward Slaney. 2007. "Analysis of Products from the Pyrolysis and Liquefaction of Single Plastics and Waste Plastic Mixtures." *Resources, Conservation and Recycling* 51 (October): 754-69. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.12.002>.
16. Selection of sources and articles describing hazards with and accidents at pyrolysis plants: Government of Ontario, Ministry of Labour. n.d. "Tire Explosion - Pyrolysis | Ministry of Labour." Government of Ontario, Ministry of Labour. Accessed January 11, 2022. <https://www.labour.gov.on.ca/english/hs/pubs/alerts/a34.php>; "Explosion at a Pyrolysis Plant." n.d. *La Référence Du Retour d'expérience Sur Accidents Technologiques* (blog). Accessed January 11, 2022. https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/52747_en/?lang=en; Kononov, Sergei. n.d. "Fire at a Tire Pyrolysis Facility in the Netherlands | Weibold - Tire Recycling & Pyrolysis Consulting." Accessed January 11, 2022. <https://weibold.com/fire-at-a-tire-pyrolysis-facility-in-netherlands>; "Worker Critically Injured in Tyre Recycling Unit Fire." 2011. *The Indian Express* (blog). November 8, 2011. <https://indianexpress.com/article/cities/chandigarh/worker-critically-injured-in-tyre-recycling-unit-fire>.
17. Zheng, Jiajia, and Sangwon Suh. 2019. "Strategies to Reduce the Global Carbon Footprint of Plastics." *Nature Climate Change* 9 (5): 374-78. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z>.
18. Hamilton, Lisa Anne, Steven Feit, Carroll Muffett, Matt Kelso, Samantha Malone Rubright, Courtney Bernhardt, Eric Schaeffer, Doun Moon, Jeffrey Morris, and Rachel Labbé-Bellas. 2019. *Plastic & Climate: The Hidden Costs Of A Plastic Planet*. Ebook. Center for International Environmental Law. <https://www.ciel.org/reports/plastic-health-the-hidden-costs-of-a-plastic-planet-may-2019>.
19. In 2015, the global carbon footprint of plastic throughout its full life-cycle was estimated at 1.7 Gt of CO₂ equivalent (CO₂e), which would grow to 6.5 GtCO₂e by 2050. Source: Zheng, Jiajia, and Sangwon Suh. 2019. "Strategies to reduce the Global Carbon Footprint of Plastics." *Nature Climate Change* 9 (5): 374-78. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z>.
20. Rollinson, Andrew N., and Jumoke Oladejo. 2020. "Chemical Recycling: Status, Sustainability, And Environmental Impacts". <https://doi.org/10.46556/onls4535>.
21. Miandad, R., M.A. Barakat, Asad S. Aburiazza, M. Rehan, and A.S. Nizami. 2016. "Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste: A Review." *Process Safety and Environmental Protection* 102 (July): 822-38. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.022>.
22. Rollinson, Andrew N., and Jumoke Oladejo. 2020. "Chemical Recycling: Status, Sustainability, And Environmental Impacts". <https://doi.org/10.46556/onls4535>; Baytekin, B., H. T. Baytekin, and B. Grzybowski. 2013. "Retrieving and Converting Energy from Polymers: Deployable Technologies and Emerging Concepts." <https://doi.org/10.1039/C3EE41360H>.
23. Ibid
24. Patel, Denise, Moon Doun, Neil Tangri, and Monica Wilson. (2020). All Talk and No Recycling: An Investigation of the U.S. "Chemical Recycling" Industry. *Global Alliance for Incinerator Alternatives*. www.doi.org/10.46556/WMSM7198
25. Paladino, O., and A. Moranda. 2020. "Human Health Risk Assessment of a Pilot-Plant for Catalytic Pyrolysis of Mixed Waste Plastics for Fuel Production." *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124222>.
26. Rollinson, Andrew N., and Jumoke Oladejo. 2020. "Chemical Recycling: Status, Sustainability, And Environmental Impacts". <https://doi.org/10.46556/onls4535>.
27. Ibid.
28. RTI International. 2012. "Environmental And Economic Analysis Of Emerging Plastics Conversion Technologies". RTI International. <http://energy.cleartheair.org.hk/?p=1281>.
29. Tang, Yihao, Malik Hassanaly, Venkat Raman, Brandon A. Sforzo, and Jerry Seitzman. 2021. "Probabilistic Modeling Of Forced Ignition Of Alternative Jet Fuels". *Proceedings Of The Combustion Institute* 38 (2): 2589-2596. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.309>.
30. Kathrotia, Trupti, and Uwe Riedel. 2020. "Predicting the Soot Emission Tendency of Real Fuels - A Relative Assessment Based on an Empirical Formula." *Fuel* 261 (February): 116482. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116482>.
31. Sherwood, James. 2019. "Closed-Loop Recycling of Polymers Using Solvents." *Johnson Matthey Technology Review* 64 (January). <https://doi.org/10.1595/205651319X15574756736831>; Rollinson, Andrew N. 2021. "Technical Briefing - The Reality of Waste-derived Fuels: Up In The Air." GAIA. <https://www.no-burn.org/jetfuels>.
32. Rollinson, Andrew N. 2021. "Technical Briefing - The Reality of Waste-derived Fuels: Up In The Air." GAIA. <https://www.no-burn.org/jetfuels/>.
33. Ocean Recovery Alliance. 2015 "Plastics-to-Fuel Project Developer's Guide - Ocean Recovery Alliance." Accessed January 11, 2022. <https://www.oceanrecov.org/about/plastic-to-fuel-report.html>.
34. Rollinson, Andrew N., and Jumoke Oladejo. 2020. "Chemical Recycling: Status, Sustainability, And Environmental Impacts". <https://doi.org/10.46556/onls4535>.
35. Tangri, Neil, and Monica Wilson. 2017. "Waste Gasification & Pyrolysis: High Risk, Low Yield Processes for Waste Management". *Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA)*. <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Waste-Gasification-and-Pyrolysis-high-risk-low-yield-processes-march-2017.pdf>
36. Stringfellow, Thomas. 2014. "An Independent Engineering Evaluation of Waste-to-Energy Technologies." *Renewable Energy World*. January 13, 2014. <https://www.renewableenergyworld.com/baseload/an-independent-engineering-evaluation-of-waste-to-energy-technologies>.
37. Ocean Recovery Alliance. 2015 "Plastics-to-Fuel Project Developer's Guide - Ocean Recovery Alliance." Accessed January 11, 2022. <https://www.oceanrecov.org/about/plastic-to-fuel-report.html>.
38. Liu, Sibao, Pavel A. Kots, Brandon C. Vance, Andrew Danielson, and Dionisios G. Vlachos. 2021. "Plastic Waste To Fuels By Hydrocracking At Mild Conditions". *Science Advances* 7 (17). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abf8283>.
39. Rollinson, Andrew N. 2021. "Technical Briefing - The Reality of Waste-derived Fuels: Up In The Air." GAIA. <https://www.no-burn.org/jetfuels>.
40. Rollinson, Andrew N., and Jumoke Oladejo. 2020. "Chemical Recycling: Status, Sustainability, And Environmental Impacts". <https://doi.org/10.46556/onls4535>.
41. See the definition of EJ communities in: Ana Baptista, Perovich, A. 2019. *U.S. Municipal Solid Waste Incinerators: An Industry in Decline*. Tishman Environment and Design Center at The New School. <https://www.no-burn.org/resources/u-s-municipal-solid-waste-incinerators-an-industry-in-decline>.