



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0151071
(43) 공개일자 2022년11월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C10G 1/10 (2006.01) A41D 13/11 (2006.01)
C10L 1/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C10G 1/10 (2013.01)
A41D 13/11 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0057863
(22) 출원일자 2021년05월04일
심사청구일자 2021년05월04일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
육용식
서울특별시 성북구 고려대로17가길 64, 104동 702호 (안암동1가, 래미안 안암)
원상주
서울특별시 동대문구 무학로49길 58 (용두동)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

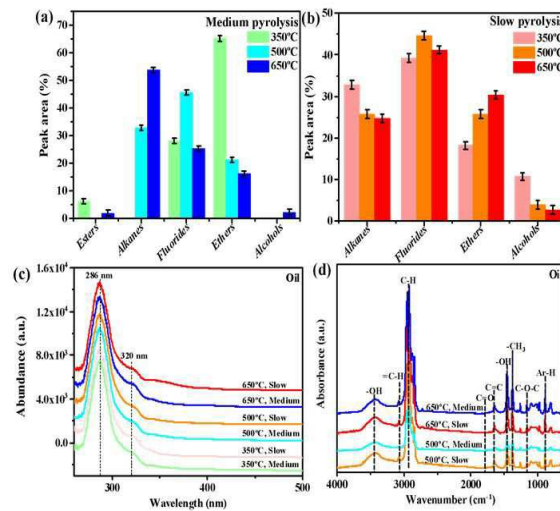
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 폐마스크를 이용한 액체연료의 생산방법

(57) 요약

본 발명은 폐마스크를 이용한 액체연료의 생산방법에 관한 것으로, 구체적으로 본 발명은 (1) 폐마스크를 수집하여 건조시킨 후, 절단하는 단계; (2) 절단된 폐마스크로부터 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM)을 분리하는 단계; 및 (3) 상기 (2) 단계에서 분리된 폐마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM) 각각을 열분해 장치에 넣고 열분해하는 단계를 포함하는 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법 및 상기 방법으로 제조된 액체연료에 관한 것이다. 본 발명에서 제공하는 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법은 COVID-19 감염증으로 급격하게 증가된 마스크의 폐기물 처리에 따른 환경오염 문제를 개선할 수 있고, 폐마스크로부터 액체연료를 고수율로 생산할 수 있어 폐마스크의 에너지 재활용을 가능하게 하는 효과가 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

C10L 1/04 (2013.01)

C10G 2300/1003 (2013.01)

C10G 2300/4006 (2013.01)

C10L 2200/0461 (2013.01)

C10L 2290/02 (2013.01)

C10L 2290/08 (2013.01)

C10L 2290/146 (2013.01)

C10L 2290/22 (2013.01)

C10L 2290/28 (2013.01)

(72) 발명자

조유라

서울특별시 성북구 고려대로22길 15, 503호 (안암
동5가, 영산빌딩)

나수현

경기도 이천시 신둔면 황무로251번길 223

명세서

청구범위

청구항 1

- (1) 폐마스크를 수집하여 건조시킨 후, 절단하는 단계;
 - (2) 절단된 폐마스크로부터 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM)을 분리하는 단계; 및
 - (3) 상기 (2) 단계에서 분리된 폐마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM) 각각을 열분해 장치에 넣고 열분해하는 단계를 포함하는,
- 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (1) 단계에서 건조 이전에 폐마스크를 증류수에 담갔다가 꺼내는 과정을 더 수행하는 것을 특징으로 하는, 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 건조는 30~40℃ 온도에서 10~14시간 동안 건조시키는 과정을 수행하는 것을 특징으로 하는, 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 절단은 폐마스크를 3~5mm의 크기로 절단하는 것을 특징으로 하는, 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (3) 단계에서 열분해 장치는 질소가스를 80~90ml/min의 유량으로 주입하여 상기 열분해 장치 내의 산소를 제거한 후, 열분해를 수행하는 것을 특징으로 하는, 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (3) 단계에서 폐마스크의 중간층(MLM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종온도 500~650℃까지 온도상승 속도 4~6℃/min로 온도를 상승시켜 열분해를 수행하며, 최종온도에서는 더 이상 가열하지 않는 것을 특징으로 하는, 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 폐마스크의 중간층(MLM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종온도 500℃까지 온도상승 속도 5℃/min로 온도를 상승시켜 열분해를 수행하는 것을 특징으로 하는, 폐마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 (3) 단계에서 페마스크의 내부와 외부층(IOM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종온도 500~650℃까지 온도상승 속도 22~25℃/min로 온도를 상승시켜 최종온도에서 20~40분 동안 유지시켜 열분해를 수행하는 것을 특징으로 하는, 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 페마스크의 내부와 외부층(IOM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종온도 650℃까지 온도상승 속도 24℃/min로 온도를 상승시켜 최종온도에서 30분 동안 유지시켜 열분해를 수행하는 것을 특징으로 하는, 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 페마스크는 의료용 마스크인 것을 특징으로 하는, 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 페마스크의 중간층(MLM)은 부직포로 구성된 것을 특징으로 하는, 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 페마스크의 내부와 외부층(IOM)은 폴리에스터, 폴리아마이드, 폴리프로필렌, 폴리우레탄 및 비스코스섬유를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는, 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항의 방법에 따라 페마스크로부터 생산된 액체연료.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 COVID-19 펜데믹에 따른 의료 폐기물인 페마스크로부터 액체 연료를 생산하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2019년 코로나바이러스 감염증-19(COVID-19)가 전 세계적으로 발생함에 따라 의료용 마스크에 대한 수요는 2020년 초부터 급격히 증가하고 있다. 대부분의 마스크는 일회용으로 설계되어 교체 및 폐기 빈도가 높아 매일 대량의 마스크 폐기물이 발생하고 있다. 마스크 폐기물은 적절히 처리하거나 처리해야 하는 대량 폐기물로서, 특히 수술용 안면 마스크는 바이러스와 같은 미생물에 대한 오염 위험이 있어 특별한 처리가 필요하다. 폐기된 마스크의 일반적인 처리는 의료 폐기물로 수집하고 열화학 연소를 통해 추가 처리하는 방법이 있다. 그러나 COVID-19 대유행이 세계 경제에 상당한 영향을 미쳤기 때문에 노동력 부족 및 예산 삭감 등으로 인해 폐기물의 효과적인 수거 및 처리 시스템이 진행되지 못하고 있다. 또한 폐기물 마스크는 일회용 폴리머로서 환경에서 플라스틱 및 독성 오염물질의 주요 공급원이고, 분해를 통해 새로운 마이크로 플라스틱 공급원으로 작용하고 있다. 이러한 미세 플라스틱은 먹이 사슬에서 잠재적인 건강의 위험요인이 될 수 있으므로 축적된 마스크의 재활용 또는 재사용이 필요하다.

[0003] 또 다른 처리 방법은 마스크를 소각하는 방법인데, 소각 방법은 잠재적인 처리 방법이지만 마스크에 포함된 화학 에너지를 충분히 활용하지 못한다는 문제점이 있고 소각장의 환경 문제를 고려하지 않는다는 문제가 있다.

[0004] 그러므로 마스크 폐기물로부터 에너지를 회수할 수 있는 기술의 개발이 더욱 시급한 실정이다.

[0005] 일반적으로 마스크는 부직포의 내부, 외부 및 중간층의 3층으로 구성되며, 내부 및 외부층은 전통적인 부직포

이고, 중간층은 주로 폴리에스터, 폴리아미드, 폴리프로필렌, 폴리우레탄 및 비스코스섬유와 같은 일부 충전제와 함께 주로 폴리프로필렌으로 되어 있다. 특히 폴리프로필렌은 탄소 함량이 높은 고분자 물질로 열분해와 같은 열화학 공정을 통해 연료 생산을 위한 공급 원료로 잠재적으로 사용될 수 있다. 그러나 폴리프로필렌과 함께 다른 유기, 무기 물질이 섞여 있어 열분해 폴리프로필렌 기작에 영향을 주기 때문에, 의료용 페마스크 열분해를 통한 액체연료 생산을 위해서는 마스크의 열분해에 의해 생성되는 생산물의 특성이 밝혀져야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-2174343

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 이에 본 발명자들은 의료용 페마스크로부터 액체 연료를 효과적으로 생산할 수 있는 방법을 개발하였고, 특히 마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM)으로부터 열분해를 통해 액체연료를 제조할 수 있는 최적의 방법을 확립함으로써 본 발명을 완성하였다.

[0008] 따라서 본 발명의 목적은 페마스크로부터 액체연료를 높은 수율로 제조하는 방법을 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명의 다른 목적은 본 발명의 방법에 따라 페마스크로부터 생산된 액체연료를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기와 같은 목적을 달성하기 위해 본 발명은, (1) 페마스크를 수집하여 건조시킨 후, 절단하는 단계; (2) 절단된 페마스크로부터 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM)을 분리하는 단계; 및 (3) 상기 (2) 단계에서 분리된 페마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM) 각각을 열분해 장치에 넣고 열분해하는 단계를 포함하는, 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법을 제공한다.

[0011] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 (1) 단계에서 건조 이전에 페마스크를 증류수에 담갔다가 꺼내는 과정을 더 수행할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 건조는 30~40℃ 온도에서 10~14시간 동안 건조시키는 과정을 수행할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 절단은 페마스크를 3~5mm의 크기로 절단하는 것일 수 있다.

[0014] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 (3) 단계에서 열분해 장치는 질소가스를 80~90 ml/min의 유량으로 주입하여 상기 열분해 장치 내의 산소를 제거한 후, 열분해를 수행하는 것일 수 있다.

[0015] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 (3) 단계에서 페마스크의 중간층(MLM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종 온도 500~650℃까지 온도상승 속도 4~6℃/min로 온도를 상승시켜 열분해를 수행하며, 최종온도에서는 더 이상 가열하지 않는 것일 수 있다.

[0016] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 페마스크의 중간층(MLM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종온도 500℃까지 온도상승 속도 5℃/min로 온도를 상승시켜 열분해를 수행하는 것일 수 있다.

[0017] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 (3) 단계에서 페마스크의 내부와 외부층(IOM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종온도 500~650℃까지 온도상승 속도 22~25℃/min로 온도를 상승시켜 최종온도에서 20~40분 동안 유지시켜 열분해를 수행하는 것일 수 있다.

[0018] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 페마스크의 내부와 외부층(IOM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종온도 650℃까지 온도상승 속도 24℃/min로 온도를 상승시켜 최종온도에서 30분 동안 유지시켜 열분해를 수행하는 것일 수 있다.

[0019] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 페마스크는 의료용 마스크일 수 있다.

- [0020] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 페마스크의 중간층(MLM)은 폴리에스터, 폴리아마이드, 폴리프로필렌, 폴리우레탄 및 비스코스섬유로 구성된 것일 수 있다. 부직포로 구성된 것일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 페마스크의 내부와 외부층(IOM)은 부직포로 구성된 것일 수 있다.
- [0022] 또한 본 발명은 본 발명의 방법에 따라 페마스크로부터 생산된 액체연료를 제공한다.

발명의 효과

- [0023] 본 발명에서 제공하는 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법은 COVID-19 감염증으로 급격하게 증가된 마스크의 폐기물 처리에 따른 환경오염 문제를 개선할 수 있고, 페마스크로부터 액체연료를 고수율로 생산할 수 있어 페마스크의 에너지 재활용을 가능하게 하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 페마스크의 연료화를 위한 처리공정의 시나리오 및 시스템에 대한 모식도이다.
- 도 2는 페마스크의 MLM을 열분해하여 생산된 오일에 대한 분석을 나타낸 것으로, (a) 및 (b)는 오일 내 일부 특정 화합물의 정규화 함량 분석 결과이며, (c)는 UV- 형광 스펙트럼 결과이고, (d)는 FT-IR 특성화 분석 결과를 나타낸 것이다. 도면에서 컨트롤(진회색), 폴리아크릴(노란색), 폴리아마이드(녹색), 폴리에스터(빨간색), 폴리테렌(파란색)을 나타낸 것이다.
- 도 3은 페마스크의 IOM을 열분해하여 생산된 오일에 대한 분석을 나타낸 것으로, (a)는 특정 화합물의 정규화 함량 분석 결과이고, (b)는 FT-IR 특성화 분석 결과를 나타낸 것이며, (c) 및 (d)는 UV- 형광 스펙트럼 결과를 나타낸 것이다.
- 도 4는 다양한 반응 온도에서 MLM을 열분해하여 생성한 오일에 대한 3D UV- 형광 스펙트럼 결과를 나타낸 것으로, (a) 350 ℃, 중간 열분해; (b) 350 ℃, 느린 열분해; (c) 500 ℃, 중간 열분해; (d) 500 ℃, 느린 열분해; (e) 650 ℃, 중간 열분해; (f) 650 ℃, 느린 열분해를 나타낸 것이다.
- 도 5는 다양한 반응 온도에서 IOM을 열분해하여 생성한 오일에 대한 3D UV- 형광 스펙트럼결과를 나타낸 것으로, (a) 350 ℃, 중간 열분해; (b) 350 ℃, 느린 열분해; (c) 500 ℃, 중간 열분해; (d) 500 ℃, 느린 열분해; (e) 650 ℃, 중간 열분해; (f) 650 ℃, 느린 열분해를 나타낸 것이고, 반응물 = 4.0g; N₂ 유속 = 85 mL/분으로 수행한 결과이다.
- 도 6은 다양한 반응 온도에서 (a) MLM 및 (b) IOM을 열분해하여 생성한 차르(char)에 대한 XRD 특성 분석을 나타낸 것이다.
- 도 7은 다양한 반응 온도에서 페마스크의 MLM을 열분해하여 생성한 차르(char)의 열중량 (TG) 특성 분석 결과를 나타낸 것으로, 질량 감소 % 및 DTG 곡선을 나타낸 것이며, (a), (b)는 350 ℃; (c), (d)는 500 ℃; (e), (f)는 650 ℃에서 열분해한 결과를 나타낸 것이다.
- 도 8은 다양한 반응 온도에서 페마스크의 IOM의 을 열분해하여 생성한 차르(char)의 TG 특성 분석 결과를 나타낸 것으로, (a), (b)는 350 ℃; (c), (d)는 500 ℃; (e), (f)는 650 ℃에서 열분해한 결과를 나타낸 것이며, 반응물 = 4.0g; N₂ 유속 = 85 mL/분으로 수행한 결과이다.
- 도 9는 다양한 반응 온도에서 페마스크의 MLM 또는 IOM을 열분해하여 생성한 차르(char)의 FT-IR 특성화 분석 결과를 나타낸 것으로, (a)는 MLM 결과, (b)는 IOM 결과를 나타낸 것이다.
- 도 10은 IOM 공급원료 및 열분해로 생성된 바이오차에 대한 현장 DRIFTS 특성화 분석 결과를 나타낸 것으로, (a)는 IOM 공급원료, (b)는 350 ℃에서 느린 열분해 생성물인 바이오차, (c)는 350 ℃에서 중간 열분해 생성물인 바이오차에 대한 결과이며, 실험 조건: N₂ = 85 mL/분; 가열 속도 = 10 ℃/분이다.
- 도 11은 MLM 및 IOM 공급원료 및 열분해 생성물인 차르(char)에 대한 DRIFTS 스펙트럼의 흡수 피크의 강도 값을 측정한 결과로서, (a)는 MLM; (b) 350 ℃에서 MLM의 느린 열분해; (c) 350 ℃에서 MLM의 중간 열분해; (d) IOM; (e) 350 ℃에서 IOM의 느린 열분해; (f) 350 ℃에서 IOM의 중간 열분해 결과이다.
- 도 12는 LCA(Life cycle assessment) 분석 결과를 나타낸 것으로, 도 12A는 지구 온난화 가능성 분석 결과, 도 12B는 담수 생태 독성 분석 결과, 도 12C는 담수 부영양화 분석 결과, 도 12D는 인체 독성 분석, 도 12E는 전리 방사선 분석 결과, 도 12F는 광화학적 산화제 형성 분석 결과, 도 12G는 육상 산성화 분석 결과, 도 12H는 육상

생태 독성 분석 결과를 각각 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 본 발명은 의료용 페마스크로부터 액체 연료를 효과적으로 생산할 수 있는 방법을 제공함에 특징이 있으며, 구체적으로 본 발명은 (1) 페마스크를 수집하여 건조시킨 후, 절단하는 단계; (2) 절단된 페마스크로부터 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM)을 분리하는 단계; 및 (3) 상기 (2) 단계에서 분리된 페마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM) 각각을 열분해 장치에 넣고 열분해하는 단계를 포함하는, 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법을 제공함에 특징이 있다.
- [0026] COVID-19 감염증의 확산에 따라 국내를 비롯하여 전 세계적으로 의료용 마스크의 소비가 급증하였고 페마스크의 처리 문제가 대두되고 있다.
- [0027] 이에 본 발명자들은 페마스크를 이용하여 연료로 재생산할 수 있는 방법을 연구하던 중, 페마스크를 열분해하여 높은 수율로 액체 연료를 생산할 수 있는 방법을 개발하였다.
- [0028] 본 발명에 따른 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 구체적인 방법을 살펴보면 다음과 같다.
- [0029] 먼저, (1) 페마스크를 수집하여 건조시킨 후, 절단한다.
- [0030] 상기에서 건조과정을 수행하기 전에 페마스크를 증류수에 담갔다가 꺼낸 후, 건조시키는 과정을 수행한다.
- [0031] 상기 건조는 30~40℃ 온도에서 10~14시간 동안 건조시킬 수 있으며, 본 발명의 일실시예에서는 35℃의 온도에서 12시간 동안 건조시켰다.
- [0032] 또한, 상기 페마스크의 절단은 페마스크를 3~5mm의 크기로 절단한다.
- [0033] 본 발명에서 사용할 수 있는 상기 페마스크는 시중에 판매되는 1회용 마스크라면 모두 포함될 수 있고, 바람직하게는 사용한 의료용 마스크일 수 있다.
- [0034] 마스크는 보통 안층, 바깥층 및 중간층의 3겹으로 구성되어 있으며, 안층과 바깥층은 부직로 구성되어 있으며, 중간층은 폴리에스터, 폴리아마이드, 폴리프로필렌, 폴리우레탄 및 비스코스섬유를 포함하여 구성되어 있다.
- [0035] 마스크의 각 층의 구성성분의 차이를 고려하여 본 발명에서는 페마스크의 절단 후, 마스크를 다음과 같이 분리하는 과정을 수행하였다.
- [0036] 페마스크의 절단과정이 완료되면, (2) 절단된 페마스크로부터 중간층(MLM; middle layer mask) 및 내부와 외부층(IOM; inner and outer layers of the mask)을 분리하는 과정을 수행한다.
- [0037] 상기와 같이 마스크의 분리 과정이 완료되면, 다음으로 (3) 상기 분리된 페마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM) 각각을 열분해 장치에 넣고 열분해하는 과정을 수행한다.
- [0038] 상기 열분해 장치는 당 업계에서 열분해를 수행하는 장치 또는 시스템이라면 모두 사용할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서는 고정식 원자로에서 수행하였다.
- [0039] 본 발명에서는 상기 열분해는 산소가 없는 조건 하에서 수행하기 위해 질소가스를 80~90ml/min의 유량으로 열분해 장치에 주입하여 열분해 장치 내의 산소를 제거하였다.
- [0040] 한편, 본 발명자들은 분리된 페마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM)으로부터 액체 연료를 높은 수율로 생산할 수 있는 최적의 열분해 조건을 규명하기 위해, 각기 다른 온도와 다른 가열속도의 조건에서 열분해를 수행하였고, 열분해 생성물들의 수율을 분석하였다.
- [0041] 그 결과, 페마스크의 중간층(MLM)의 열분해는 실온에서 시작하여 최종온도 500~650℃까지 온도상승 속도 4~6℃/min로 온도를 상승시켜 열분해를 수행하며, 최종온도에서는 더 이상 가열하지 않는 조건이 적합한 것으로 나타났다. 바람직하게는 실온에서 시작하여 최종온도 500℃까지 온도상승 속도 5℃/min로 온도를 상승시켜 열분해를 수행하며 최종온도에서는 더 이상 가열하지 않는 조건일 경우, 80.6%의 높은 수율로 페마스크로부터 액체연료, 즉 오일을 생산할 수 있음을 확인하였다.
- [0042] 또한, 페마스크의 내부와 외부층(IOM)으로 열분해를 할 경우에는 실온에서 시작하여 최종온도 500~650℃까지 온도상승 속도 22~25℃/min로 온도를 상승시켜 최종온도에서 20~40분 동안 유지시켜 열분해 수행하는 것이 적합한 것으로 나타났고, 바람직하게는 실온에서 시작하여 최종온도 650℃까지 온도상승 속도 24℃/min로 온도를 상승

시켜 최종온도에서 30분 동안 유지시켜 열분해를 수행하는 경우, 86.0%의 높은 수율로 액체연료를 생산할 수 있음을 확인하였다.

[0043] 특히, 마스크에 함유된 성분 중 하나인 폴리프로필렌은 높은 탄소 함량을 가진 고분자 물질로 연료 생산의 잠재적 공급원이 될 수 있으나, 마스크 또는 페마스크에는 폴리프로필렌 이외에도 다른 유기 및 무기 물질을 포함하고 있어 마스크 내 폴리프로필렌의 열분해 거동에 영향을 미칠 수 있어, 본 발명자들은 하기 실시예를 통해 페마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM)을 각각 분리하고 각 분리된 층으로부터 액체연료를 최대량 생산할 수 있는 최적의 열분해 조건을 확립하였다. 또한, 본 발명에서는 상기 본 발명의 조건을 벗어난 조건에서 페마스크를 열분해할 경우 액체연료의 생산 수율이 현저하게 감소하는 것으로 나타났다.

[0044] 나아가 본 발명자들은 본 발명의 방법에 따라 페마스크로부터 제조된 액체연료에 대해 LCA(Life cycle assessment)를 기반으로 하는 분석을 수행한 결과, 환경 개선 가능성이 있음을 확인할 수 있었는데, 특히 기존 폐기물 관리 방법에 비해 본 발명과 같은 페마스크의 열분해 처리를 통한 연료 재생산 방법은 소각 및 매립지 확보에 대한 부담을 줄일 수 있고, 인간 및 생태계의 건강 수준에도 긍정적인 영향을 줄 수 있으며, 인 배출양도 현저하게 감축시킬 수 있어 환경오염 문제도 개선할 수 있음을 확인하였다.

[0045] 그러므로 본 발명에 따른 페마스크로부터 액체연료를 제조하는 방법은 폐기물 처리로 전 세계적인 문제가 되고 있는 의료용 페마스크를 액체연료화 할 수 있는 페마스크의 처리 방법을 제공할 수 있어, 액체연료를 재생산할 수 있다는 효과와 함께 기존 폐기물 처리 방법에 비해 더 우수한 환경 개선 효과를 갖는다.

[0046]

[0047] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0049] <재료 및 실험방법>

[0050] ① 재료준비

[0051] 일회용 의료용 마스크는 중국 지난의 약국에서 구입한 것을 사용하였다. 실험 전, 마스크를 증류수에 담그고 35 °C에서 12시간 동안 건조시킨 후, 열분해 실험에 사용하기 위해 3~5mm의 크기를 갖는 조각으로 절단하여 사용하였다.

[0052] 클로로포름과 메탄올은 각각 Yantai Far East Chemical Products Co., Ltd. 및 Tianjin Fuyu Fine Chemical Co., Ltd.사의 것을 구입하여 사용하였고, 모든 시약은 분석 등급의 것을 사용하였다.

[0053] 마스크에 대한 일반성분 분석은 중국의 표준절차(GB/T 212-2008)에 따라 수행하였다. 마스크 중간층의 수분 함량은 공급 원료 1.0g을 105 °C에서 6 시간 동안 일정한 중량으로 건조하여 얻었다. 분석 전후에 대한 질량의 차이는 하기 식 1(Eq. 1)에 따라 계산하였다. 또한 회분 함량의 분석은 마스크의 중간층 1.0g을 900 °C에서 7 분간 정제된 공기 분위기 하에서 연소를 통해 수행하였다. 이후 고체 잔류물을 건조기에서 냉각시키고 무게를 재어, 하기 식 2(Eq. 2)로 계산하였다. 휘발성 함량은 동일한 절차에 따라 얻었으나, 실험은 산소가 없는 분위기 하에서 수행하였고, 하기 식 3(Eq. 3)으로 계산하였다. 또한 고정 탄소 함량은 하기 식 4에 따라 회분, 휘발성 물질 및 수분 함량을 빼서 계산하였다.

[0054] 일반 성분 분석 결과는 하기 표 1에 나타난 바와 같이, MLM은 휘발성 함량이 97.5 %로 높게 나타났고, 반면 회분 함량은 낮은 것으로 측정되었다(0.05 %). 수분과 고정 탄소 함량은 각각 1.6%와 0.04 %인 것으로 나타났으며, IOM에 대한 분석도 하기 표 1에 나타내었다.

$$Moisture\% = \frac{M_i}{M_0} * 100\% \quad (1)$$

$$Volatiles\% = \frac{M_i}{M_0} * 100\% - Moisture \quad (2)$$

$$Ash\% = \frac{M_i}{M_0} * 100\% \quad (3)$$

$$Fixed\ carbon\% = 100\% - Moisture\% - Volatiles\% - Ash\% \quad (4)$$

[0056]

[0057]

상기 식에서 M_i 는 처리 전후 마스크의 감소된 질량을 나타낸 것이고, M_0 는 처리 전 마스크의 질량을 나타낸 것이며, M_i 는 처리 후 마스크의 질량을 나타낸 것이다.

표 1

의료용 마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM)의 산업적 분석결과

Feedstock	Moisture (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Ash (%)
MLM	0.04	97.5	1.6	0.05
IOM	0.13	98.4	0.88	0.59

*Test method: GB/T 212-2008.

[0058]

[0060]

② 열분해 방법

[0061]

마스크의 MLM 및 IOM의 열분해는 고정층 반응기에서 수행하였다. 실험 중 운반 기체로 질소(N_2)를 85 mL/min의 유속으로 사용하였다. 반응기는 산소의 부재를 보장하기 위해, 실험 전 10분 동안 N_2 를 이용하여 산소를 제거하였다. 열분해 실험은 350℃, 500℃ 및 650℃의 3가지 온도에서 수행하였다. 또한 가열 속도가 다른 2가지 열분해 모드로 수행하였는데, 5℃/min의 가열 속도인 느린 열분해 모드로 샘플은 실온에서 목표 온도(350, 500, 650℃)까지 가열하였고, 목표 온도를 달성한 이후에는 더 이상 가열하지 않았다. 또 다른 가열 속도에 의한 열분해 모드는 가열 속도가 더 높은 중간 열분해(평균 가열 속도 24.1℃/min)이며, 샘플을 목표 온도(350, 500, 650℃)에서 30분간 유지하도록 하였다. 특히 느린 열분해 동안 시료 4.0g을 칭량하여 알루미늄 호일로 만든 용기에 넣은 후 원자로 중앙으로 옮겨 상온에서 가열하였고, 중간 열분해 모드에서는 샘플을 용해로에 의해 가열되지 않은 원자로의 입구에 처음 위치시켰다.

[0062]

원자로가 목표 온도에 도달했을 때, 샘플은 열분해를 시작하기 위해 원자로의 중앙으로 밀어 넣었다. 응축성 액체 제품을 흡수하기 위해 네 개의 응축기가 직렬로 연결되도록 하였고, 처음 두 개의 콘덴서는 오일 생성물을 수집하기 위해 비우고, 마지막 두 개의 콘덴서는 클로로포름: 메탄올이 4:1로 혼합된 혼합액으로 채워 응축 가능한 휘발성 물질을 더 가둘 수 있도록 하였다. 마지막 콘덴서의 후면에서 가스 백은 가스 생성물을 수집하는데 사용하였다. 원자로를 상온으로 냉각시킬 때 고체 생산물은 무게를 측정하고 수집하여 하기 식 5를 이용하여 전하 산출량을 계산하였다. 또한 오일 생산수율은 하기 식 6에 의해 계산하였다. 가스 수율은 차(char)와 오일 수율을 빼서 계산하였다(하기 식 7). 또한 차(char)의 에너지 함량을 조사하기 위해 마스크 공급 원료 및 차(char)의 높은 가열 값(HHV), 에너지 밀도화(ED), 에너지 수율(EY)을 당업계의 방법에 따라 하기 방정식을 사용하여 계산하였다. 본 발명에서 표본들을 두 번 분석한 결과, 실험 오차는 ± 5% 이내였다.

$$\text{Biochar yield\%} = \frac{M_c}{M_s} * 100\% \quad (5)$$

$$\text{Bio-oil yield\%} = \frac{M_o}{M_o} * 100\% \quad (6)$$

여기서 상기 M_c 는 고체 생성물의 질량을 나타낸 것이고, M_s 는 각각 반응 전의 MLM 또는 IOM의 질량을 나타낸 것이고, M_o 는 액체생성물의 질량을 나타낸 것이다.

$$\text{Gas yield\%} = 100\% - \text{Biochar yield\%} - \text{Bio-oil yield\%} \quad (7)$$

$$\text{HHV} = 0.3419\text{C\%} + 1.1783\text{H\%} + 0.1005\text{S\%} - 0.1034\text{O\%} - 0.015\text{N\%} - 0.0211\text{Ash\%} \quad (8)$$

$$\text{ED} = \text{HHV}_{\text{char}} / \text{HHV}_{\text{feedstock}} \quad (9)$$

$$\text{EY (\%)} = \text{ED} * \text{Yield}_{\text{char}} \% \quad (10)$$

③ 생성물의 특성분석

MLM 및 IOM의 열분해에서 생성된 가스에 대한 가스 크로마토그래프 분석을 위해 GC-7920(중국 Zhongjiao Jinyuan)을 사용하였다. 또한 오일에서 광 유기체는 가스크로마토그래피(GC-MS, Shimadzu, QP-2020, 일본)와 질량분석법을 함께 분석하였다. 분석 전에 액체 생성물을 클로로포름/메탄올 용액을 이용하여 1%로 희석한 다음, 0.5 μL 의 샘플을 컬럼에 주입하였다. 표준 질량 스펙트럼 라이브러리 (NIST MS Search 2014)는 유기 화합물을 식별하기 위한 기준으로 사용하였다. 오일에서 π -결합 링이 있는 중화합물에 대한 상대적인 농도를 더 잘 분석하기 위해 UV 형광분광계(Shimadzu, RF-6000, Japan)를 사용하였다. 샘플은 분석 전에 에탄올을 이용하여 400 ppm으로 희석하였다.

또한, 차(char)의 결정 구조는 X-ray(Rigaku UltimaIV-2036E102, Japan)로 분석하였다. 실험 전, 차 샘플을 분쇄하여 미세 분말화하였다. 구리와 K*?의 방사원이 사용되었고, 스캔 범위는 5~90℃의 온도 및 분석속도는 20℃/min으로 하였다. 차의 원소 함량은 원소 분석기(European A3000-Single)로 분석하였고, 샘플의 C, N, H 및 S를 직접 감지하였으며, 산소 함량은 다른 유기 원소의 함량과 차의 회분 함량을 빼서 계산하였다.

차(char)의 열 안정성은 열경량계(TG) 기기(HCT-1, Hengjiu, China)를 사용하여 분석하였다. 이때, 질소는 50 mL/min의 유량으로 운반 기체로 사용하였다. 자세한 실험과정은 다음과 같다. 먼저 10mg의 샘플을 칭량하고 알루미늄 용해로 도가니에 넣고 20℃/min에서 105℃로 20분 동안 가열하여 수분을 제거하였다. 그런 다음 샘플을 20℃/min의 가열 속도로 850℃로 가열하였다. 분자의 기능 그룹의 분포는 푸리에 변환 적외선 분광법(FT-IR; Nicolet iS50, America)을 사용하여 분석하였다. 차(char)는 처음에는 고운 가루로 분말화한 후, 정확히 1.0mg의 고운 가루와 KBr 가루 199.0mg을 섞어 다시 고르게 갈아주었다. 그런 다음 샘플은 20MPa의 압력으로 얇은 디스크에 압착되어 적외선 분광계를 사용하여 분석하였다. 마스크 및 차(char)의 표면에 있는 기능 그룹의 변화는 DISPS(Nicolet iS50, America)로 분석하였고, 이때 샘플은 실온에서 700℃까지 10℃/min의 가열 속도로 가열하였다.

④ 수명주기 관점에서 본 환경영향 분석

LCA(Life Cycle Assessment)는 전 과정 평가라는 뜻으로, 전체 제품 시스템에 대한 환경 영향, 에너지 소비, 자원 고갈 및 기타 영향 범주를 평가하기 위한 지원 접근법이다. 본 발명에서는 'ISO 14040: 원칙과 프레임워크'와 'ISO 14044: 요건 및 지침' 국제 환경 표준의 권고사항을 참고하여 개량된 LCA 방법론으로 분석하였고, 본 발명의 LCA 방법론은 i) 목표 및 범위 정의, ii) 재고 데이터 수집, iii) 해석을 통한 영향 평가 단계를 포함한다.

- [0074] 본 발명에서 LCA의 분석 목적은 사용된 페마스크에서 생산되는 열분해 오일의 환경 부하를 이해하고 이를 공급 원료로 결정하는 것이다. 이러한 생산시스템(의료용 페마스크-에너지 간)의 기술적 및 생태적 잠재력을 조사하기 위해 폴리프로필렌의 도시소각, 위생매립 등 종래의 처리방법을 벤치마크로 활용하였다. LCA를 위하여, 조사 활동의 기준 역할을 하는 기능 단위는 단지 3개의 폴리프로필렌 층으로 구성된 1kg의 소비자 사용 후의 마스크 폐기물로 정의하였다.
- [0075] 본 발명에서 LCA 연구의 지리적 배경은 중국을 배경으로 하였고, 연구 시스템에 대한 가상 시나리오는 도 1에 개시되어 있다. 수술 마스크를 사용한 후에는 사용자가 다른 에너지의 사용 없이 금속 와이어와 귀 스트랩을 제거하고 분리하는 것으로 가정한다. 그 후 소독을 하고 업사이클링을 위해 남아있는 3겹의 섬유 폴리프로필렌 층을 모은다. 위의 절차들이 추가적인 에너지 소비를 유도할 수 있지만, 본 LCA 연구에서, 공급 원료(즉, 이미 사용된 수술 마스크)는 아무런 에너지 부담을 주지 않고 오직 열분해 시설의 게이트에서 에너지소비가 축적되기 시작한다. 따라서 열분해 시설에 도착하기 전의 운송 및 기타 활동은 제외한다. 그 이유는 인벤토리 데이터의 가용성과 높은 불확실성 수준의 도입 가능성을 제외하고도, 이러한 활동은 마스크가 사용된 후 폐기물이 열분해 공정의 공급 원료로 사용되는지 혹은 다른 폐기물 처리 방법을 사용되는지에 관계없이 발생할 수 있기 때문이다. 따라서, LCA의 범위는 도 1에 표시된 빨간색 네모에 포함된 일련의 조작 장치에 대해 '시스템' LCA를 수행하였다.
- [0076] 본 발명에서 시스템 경계는 업사이클링 변환(열분해 오일 생산)과 열분해 오일 활용의 두 단계를 포함한다. 첫 번째 단계는 공급 원료의 전처리로 시작되는데, 사용되고 난 수술 마스크는 입자 크기를 2-3mm로 줄이기 위해 절단 과정을 거친다. 페마스크의 수분이 0.04%에 불과하여 기존 공급 원료 요구량(10%)보다 현저히 낮다는 점을 고려할 때 건조 과정이 필요하지 않다. 열분해 원자로와 다음의 운전부위 구성은 실험결과에 따라 작성하였다. 열분해의 환경설정과 다음의 작동단위는 미리 실시한 실험결과를 바탕으로 설정하였다. 열분해 오일에 포함된 에너지 출력이 가장 높기 때문에 500℃ 및 중간 열분해모드의 온도가 반응조건으로 설정되었다. 공동 생산된 차와 가스는 연소실로 다시 재활용되어 공급 원료를 전처리하고 공정의 작동을 유지하기 위해 열을 제공할 수 있는 부산물로 간주하였다. 본 발명에서는 열분해 오일에 포함된 에너지 출력이 가장 높은 500℃ 및 중간 열분해모드의 온도가 반응조건으로 설정되었다. 함께 생산된 차와 가스는 연소실로 다시 재활용되어 공급 원료를 전처리하고 공정의 작동을 유지하기 위한 열을 제공하는 부산물로 간주하였다. 따라서, 열분해 오일은 응축 후 업사이클링 전환 단계에서 얻어지는 유일하게 원하던 생산물로 간주하였다. Zero Waste Scotland가 발간한 플라스틱-오일 제품 보고서에서 채택된 내용을 바탕으로 해당 응축 효율은 90%로 가정한다. 본 발명에서는 생성된 열분해 오일은 기존 화석 연료(즉, 경질 석탄 및 천연 가스)에서 파생된 전기를 대체하기 위해 연소된 것으로 가정한다. 열분해 오일을 전기로 전환하는 교체 비율과 변환 효율은 각각 1% 및 34%이다. 기능 유닛당 생성된 전기는 약 2.9 kWh로 계산한다.
- [0077] 또한, LCA는 ReCiPe(H) 중간점 방법을 기반으로 수행되었으며 지구 온난화 잠재력(GWP), 담수 생태독성(FETPinf), 민물자영양화(FEP), 인간독성(HTPinf), 이온화 복사(IRP-HE), 입자화확(FP), 산성화(TAP), 지상 생태독성(TETPINF)의 충격 범주를 포함하여 분석하였다.
- [0078] 본 발명에서는 방법론적 관점에서 Ecoinvent 3.7 데이터베이스를 데이터 소스로 선택하였고, 앞서 언급했듯이 페마스크 공급 원료를 작은 입자로 쪼개야 전환율을 높일 수 있다. 이 절차에 대한 예상 에너지는 0.011 ~ 0.057 kWh/kg 범위의 농업 잔류물을 분쇄하는 데 필요한 에너지를 기반으로 한다. 폴리프로필렌 원단의 부드러움 때문에, 최소값(0.011 kWh/kg)은 전처리 중 입력 에너지 수요로 가정하였다. 본 발명에서는 열분해 변환 단계의 입력 에너지 자원에 대한 데이터는 약 500 ° C에서 작동된 열분해 반응을 기준으로 하였고, 문헌 및 Ecoinvent 3.7 데이터베이스의 인벤토리 데이터를 문서화 하였다.
- [0080] <실시예 1>
- [0081] 페마스크의 열분해를 통한 액체 연료의 제조
- [0082] 일회용 의료용 페마스크를 증류수에 담근 후, 꺼내어 35° C에서 12시간 동안 건조시키고, 3~5 mm의 크기가 되도록 조각으로 절단하였다. 이후 의료용 페마스크의 절단한 조각을 중간층(MLM)과 내부 및 외부층(IOM)으로 각각 분리하였다. 이후 분리된 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM) 각각을 고정식 원자로에서 열분해를 수행하였다. 이때 질소를 85mL/min의 유량으로 운반 기체로 사용하였고, 열분해 전 10분 동안 질소로 원자로의 산소를 제거하여 산소 부재 상태가 되도록 하였다.

[0083] 열분해는 350, 500, 650℃의 3가지 온도 조건에서 각각 수행하였고, 각 온도 조건에서 2개의 다른 가열속도로 열분해를 수행하였다. 2개의 다른 가열속도로는, 1) 5° C/min의 느린 가열 속도로 수행하는 느린 열분해이며, 샘플은 실온에서 목표 온도(350, 500, 650℃)까지 가열하였고, 목표온도 달성 이후에는 더 이상 가열하지 않았고, 2) 다른 열분해 모드는 가열 속도가 더 높은 중간 열분해(평균 가열 속도 24.1° C/min)이며, 샘플을 목표 온도(350, 500, 650℃)에 이르면 30분간 가열을 유지하도록 하였다. 열분해가 완료되면 이후 응축기에서 열분해 산물(액체연료(oil), 고체연료(char) 및 가스)를 수집하였다.

[0085] <실시예 2>

[0086] 본 발명의 방법으로 생산된 페마스크 열분해 생성물에 대한 특성분석

[0088] <2-1> 열분해 생성물의 생산수율 및 성분분포

[0089] 상기 실시예 1을 통해 의료용 페마스크의 중간층(MLM) 및 내부와 외부층(IOM) 각각에 대해 열분해를 수행하여 수득한 차르, 오일 및 가스 생성물에 대한 생산수율 및 H₂, CO, CO₂, CH₄에 대한 분포도를 분석하였고, 그 결과를 하기 표 2 및 표 3에 나타내었다.

표 2

다양한 열분해조건에서 페마스크의 MLM으로부터 생성된 차르(char), 오일(oil) 및 가스(gas)의 산출량 및 H₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₄ 함량분석 결과

Entry	Pyrolysis mode	T (°C)	Yields (%)							
			Char	Oil	Gas	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄
1	Slow	350	97.6	1.0	1.4	0.00	0.01	0.04	1.4	-
2	Medium	350	95.5	2.0	2.5	0.03	0.37	1.8	0.27	-
3	Slow	500	3.9	80.6	15.5	0.31	1.3	3.9	7.5	2.6
4	Medium	500	2.9	79.2	17.9	1.1	1.2	3.4	9.8	2.6
5	Slow	650	2.0	76.1	21.9	1.1	1.8	7.2	9.9	2.0
6	Medium	650	1.6	74.6	23.8	3.1	0.61	0.97	10.9	8.3

^a Reaction conditions: reactant = 4.0 g; N₂: flowing rate = 85 mL/min.

[0090]

표 3

다양한 열분해조건에서 폐마스크의 IOM으로부터 생성된 차르(char), 오일(oil) 및 가스(gas)의 산출량 및 H₂, CO, CO₂, CH₄ 함량분석 결과

Entry	Pyrolysis mode	T (°C)	Yields (%)							
			Char	Oil	Gas	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄
1	Slow	350	98.0	1.8	0.2	-	-	-	-	0.20
2	Medium	350	91.3	8.2	0.5	-	0.09	0.07	0.03	0.31
3	Slow	500	9.2	65.0	25.8	1.0	1.21	7.1	6.1	10.3
4	Medium	500	2.7	80.1	16.3	1.1	1.1	2.6	9.1	2.40
5	Slow	650	0.9	80.9	18.2	1.4	4.0	8.0	3.5	1.4
6	Medium	650	1.0	86.0	13.0	1.6	0.56	0.57	6.2	4.1

^a Reaction conditions: reactant = 4.0 g; N₂: flowing rate = 85 mL/min.

[0092]

[0094]

분석 결과, 상기 표 2 및 표 3에 나타난 바와 같이, 열분해의 온도 조건이 열분해 생산물의 구성에 매우 중요하게 영향을 주는 것을 알 수 있었는데, 350°C 온도로 수행한 경우에는 주로 차르(char) 생성물이 주를 이루는 것으로 나타났고(약 96.6%), 반면 오일과 가스의 수율은 2% 미만인 것으로 나타났다. 또한, MLM은 바이오매스 및 셀룰로오스/헤미셀룰로오스의 열분해와 다르게 350°C 미만의 온도에서 구조를 유지할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 느린 열분해 조건에서는 350°C에 비해 500°C의 온도에서 열분해를 수행한 경우, 차르(char) 비율이 97.6%에서 3.9%로 현저하게 감소한 것으로 나타났고, 반면 오일(석유)과 가스 생산량은 크게 증가한 것으로 나타났다. 따라서 온도가 상승하면 균열 반응이 촉진되어 차르(char) 생산물은 감소되고, 주로 오일과 가스 생성물이 형성됨을 알 수 있었다. 또한, 이러한 결과는 가열 속도가 높은 중간 열분해 조건에서도 유사하게 나타났다. 한편, 가열속도는 생산물의 구성에 아주 큰 영향을 주지는 못하는 것으로 나타났다.

[0095]

또한 각기 다른 온도 조건 중, 온도가 높을수록 가스 생산물은 증가하는 것으로 나타났는데, 높은 열분해 온도에서는 균열 반응을 촉진시켜 더 많은 가스가 생산된다.

[0097]

나아가 본 발명자들은 열분해 과정을 통해 생성된 기체 생성물의 H₂, CO, CO₂, CH₄ 분포를 분석하였는데, MLM을 대상으로 열분해를 수행한 결과, CO₂는 350°C의 열분해 온도에서 주요 생산물이었고, CH₄, C₂H₄는 더 높은 열분해 온도에서 주요 기체 생산물로 나타났다. 탈카르복실화 반응은 CO₂ 생산을 위한 주요 경로로 보이는 반면, 지방족 구조의 균열은 CH₄, C₂H₄ 형성을 위한 주요 경로로 판단되었다. H₂는 지방질 구조가 탈수소화하는 동안 형성되고, CO는 특히 더 높은 열분해 온도에서 H₂와 CO₂ 사이의 탈탄화 또는 수성 가스 전이 반응의 역반응 중에 형성되는 것으로 보인다. 또한, 상당량의 CO₂의 형성은 MLM에서 카복실기 에스테르기가 많다는 것을 나타낸다. 또한 더 높은 수율을 보이는 CH₄는 MLM 화합물이 풍부한 지방족 고리를 가지고 있음을 나타낸다. 가열 속도는 CO₂와 CH₄ 형성에 서로 반대방식으로 영향을 미쳤다. 가열 속도가 낮고 체류 시간이 긴, 느린 열분해에서 더 많은 CO, CO₂가 형성되는 것으로 나타났고 반대로, CH₄, C₂H₄는 가열 속도가 더 높은 중간 열분해에서 더 많이 형성되는 것으로 나타났다. 따라서 상기 표 2에 나타난 바와 같이, 가열 속도가 높을수록 균열반응이 더 많은 CH₄, C₂H₄의 형성이 촉진되는 반면, 낮은 가열 속도에서 체류 시간이 길수록 탈카복실화 반응이 더 많은 CO, CO₂가 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 IOM으로부터 열분해되어 생성된 기체 생성물의 H₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₄ 분포도 상기 표 3에 나타내었다.

[0099] <2-2> 열분해 생성물인 오일에 대한 특성분석

[0100] ① GC-MS 분석

[0101] 상기 본 발명의 방법에 의해 페마스크를 열분해하여 생성된 액체연료인 오일에 대하여, 오일에 함유된 다양한 유기 화합물에 대한 함량 분석을 정규화된 피크 면적 백분율로 분석하였고, 의료용 페마스크의 MLM로부터 열분해로 생성된 오일에 함유된 유기 화합물들의 결과를 하기 표 4에 나타내었고, 화합물의 그룹을 도 1a 및 1b에 나타내었다.

표 4

MLM 열분해로 생성된 오일에 함유된 유기물의 함량분석 결과
(정규화된 면적 백분율로 표기) M: 중간 열분해 S: 느린 열분해

Component	Peak area (%)					
	350M ^a	350S ^a	500M ^a	500S ^a	650M ^a	600S ^a
11-Methyldodecanol-	—	2.6			2.4	
10-Dodecen-1-ol, 7,11-dimethyl-		8.1		4.0		2.7
Cyclooctane, 1-methyl-3-propyl		16.9	13.0	14.0	19.5	10.5
Cyclohexane, 1-ethyl-2-propyl-		7.5	7.6	3.6	15.6	4.9
Cyclohexane, 1,2,3,5-tetraisopropyl-		7.5	12.3	8.1	17.1	9.4
Tetracontane					1.6	
Octyl tetradecyl ether	13.0				5.6	9.8
Eicosyl octyl ether	4.4			2.7	3.6	
Docosyl octyl ether	45.6	18.2	21.3	21.4	5.9	20.6
Hexadecyl nonyl ether				1.6	1.3	
Nonyl tetracosyl ether	2.3	—				
Carbonic acid, octadecyl vinyl ester	4.9				2.1	
Fumaric acid, pent-4-en-2-yl tetradecyl ester	1.4					
Tetratriacontyl pentafluoropropionate	2.0	10.4	7.7	18.9	1.6	18.0
Tetratriacontyl heptafluorobutyrate		2.7				
Tricosyl pentafluoropropionate	1.3					
Heptacosyl trifluoroacetate		7.0	5.2	5.7	6.2	5.7
Octatriacontyl trifluoroacetate	15.9	19.2	31.1	18.5	16.5	15.1
Octatriacontyl pentafluoropropionate	9.1		1.8	1.6	1.1	3.5

[0102]

[0104] 분석 결과, 온도 및 가열 속도는 열분해 생성물인 오일에서 유기물의 분포와 함량에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. MLM을 열분해하여 수득한 액체연료인 오일에는 알코올, 알칸, 에테르, 에스테르 및 플로우린화물을 포함하여 5종류 계열의 화합물 그룹이 포함되어 있는 것으로 나타났다. 또한 낮은 열분해 온도 보다 높은 열분해 온도에서 더 다양한 화합물 그룹이 생성되는 것으로 나타났다.

[0105] 또한 열분해의 속도(느리거나 또는 중간 정도의 열분해)도 유기 화합물의 생성에 영향을 주는 것으로 나타났는데, 더 높은 가열 속도에서의 열분해는 열분해 온도가 증가함에 따라 에테르의 균열을 촉진하는 반면 낮은 가열 속도에서는 에테르의 형성이 촉진되는 것으로 나타났다. 중간 열분해 조건에서는 더 높은 가열 속도에서 시클로헥산, 1-에틸-2-프로필, 시클로헥산 및 1,2,3,5- 테트라이소프로필과 같은 탄화수소의 형성이 촉진되는 것으로 나타났다.

[0106] 느린 열분해 조건에서는 대조적인 경향이 나타났는데, 서로 다른 가열 속도가 오일 내 화합물의 분포에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 테트라트리 아콘틸 펜타플루오로 프로피오네이트, 옥타트리아콘틸 트리플루오로 아세테이트 및 옥타트리아콘틸 펜타플루오로프로피오네이트와 같은 불화물의 생산은 열분해 온도 및 가열 속도에 따라 각기 다르게 영향을 받는 것으로 나타났는데(표 4), 이는 화합물의 생성 및 추가적인 전환 반응에 따른 특정 반응 경로에 따라 달라지는 것으로 보인다.

[0107] 또한, IOM의 열분해로 생성된 오일에 함유된 화합물의 종류 및 함량 분석 결과도 하기 표 5 및 도 3에 나타내었다.

표 5

IOM 열분해로 생성된 오일에 함유된 유기물의 함량분석 결과
(정규화된 면적 백분율로 표기) S: 느린 열분해 ; M: 중간 열분해

Component	Peak area (%)					
	350S ^a	350M ^b	500S ^a	500M ^b	650S ^a	600M ^b
Cyclooctane, 1-methyl-3-propyl-	—	—	11.3	21.0	25.4	23.9
Cyclohexane, 1-ethyl-2-propyl-	—	—	0.64	5.3	1.2	5.2
Cyclohexane, 1,2,3,5-tetraisopropyl-	—	—	5.4	3.7	3.7	14.9
13-Methylheptacosane	—	—	—	—	—	2.0
1-Isopropyl-1,4,5-trimethylcyclohexane	—	—	—	—	—	4.1
Hexacosyl pentafluoropropionate	—	—	—	—	—	2.7
Tetraatriacontyl pentafluoropropionate	—	—	23.0	14.0	15.5	1.4
Octatriacontyl trifluoroacetate	—	—	3.5	13.0	16.9	10.7
Heptacosyl trifluoroacetate	—	—	4.3	9.3	9.1	7.2
Eicosyl heptafluorobutylate	—	—	3.0	1.9	—	1.7
Tricosyl pentafluoropropionate	—	—	2.1	—	—	—
Octatriacontyl pentafluoropropionate	—	—	2.0	—	—	—

[0108]

Nonyl tetradecyl ether	-	-	-	-	2.0
Carbonic acid, octadecyl vinyl ester	-	-	2.1	-	3.2
Octyl tetradecyl ether	-	-	-	-	2.3
Dodecyl octyl ether	-	-	12.6	14.0	14.4
10-Dodecen-1-ol, 7,11-dimethyl	-	-	7.7	5.3	3.2
11-Methyldodecanol	-	-	9.9	1.5	1.6
1-Hexacosanol	-	-	-	-	1.7
1-Hentetracontanol	-	-	-	-	1.0
1-Hentacosanol	-	-	1.7	-	-

[0109]

[0111] ② UV 형광 스펙트라 분석

[0112] 본 발명의 방법에 따라 페마스크로부터 열분해하여 생성된 오일에 대하여 오일에 함유된 화합물들의 분석 이외에도 π -공액 구조를 가진 중 유기물을 UV 형광으로 분석하였다.

[0114] 다른 조건의 온도 및 가열 속도에서 MLM의 열분해로 얻은 오일에 대한 형광 스펙트럼 분석 결과는 도 2c에 나타난 바와 같다. 286 nm 피크는 단일 벤젠 고리 또는 푸란 고리 구조와 동등한 π -공액 구조를 가진 유기물과 관련이 있는 것이며, 320 nm에 위치한 피크는 더 큰 고리 구조를 가진 유기물에 해당한다. 본 실험에서 분석한 결과에 의하면, 286 nm 피크를 가진 화합물의 함량은 320 nm에서보다 높은 것으로 나타났으며, 이는 생성된 오일에 단일 벤젠 고리 또는 푸란 고리 구조와 동등한 유기물이 더 많이 있음을 나타낸다. 서로 다른 온도와 가열 속도에서 형성된 오일의 피크 분포는 유사한 것으로 나타났으며, 이는 π -공액 구조를 가진 유기물의 진화에 대한 온도 및 가열 속도의 영향이 실질적으로 중요하지 않음을 의미한다. 또한, IOM의 열분해로 생성한 오일에 대한 UV 형광 분석 결과는 도 3c 및 3d에 나타내었고, GC-MS 분석 결과 마스크의 열분해 과정에서 페놀 화합물은 생성되지 않음을 확인할 수 있었다.

[0115] 또한, 본 발명에서 MLM의 열분해로 생성된 오일에 대한 3D 형광 스펙트럼 분석 결과를 도 4에 나타내었다. 단순한 벤젠 고리 구조 물질과 관련된 영역 I 및 II에서 두 개의 작은 피크가 관찰되었다. 또한, IV 영역에 집중된 피크는 벤젠과 많은 푸란 고리의 유기물에 해당한다. 느린 열분해 과정에서 I 영역에 위치한 피크의 강도는 온도가 증가함에 따라 감소하는 반면 영역 II에 위치한 피크의 강도는 약간 증가한 것으로 나타났다. 이것은 온도의 증가가 벤젠과 푸란 고리 구조를 가진 유기물의 분해를 촉진했음을 시사한다. 또한, 중간 열분해에서 다른 현상이 관찰되었는데, 온도가 증가함에 따라 영역 I, II 및 IV에 위치한 피크의 강도가 약간 증가한 것으로 나타났으며, 높은 가열 속도가 π -컨쥬게이트된 유기물의 형성 및 진화에 유리하도록 작용함을 알 수 있었다.

[0116] 이러한 결과로, 열분해의 온도와 가열 속도가 π -공액 구조를 가진 유기물의 진화에 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 나아가 본 발명자들은 IOM로부터 열분해를 통해 수득한 오일에 대한 UV 형광 분석을 수행하였고, 그 결과를 도 5에 나타내었다.

[0118] ③ FT-IR 분석

[0119] 본 발명의 방법에 따라 페마스크로부터 열분해하여 생성된 오일에 대하여, 각기 다른 온도와 가열 속도로 열분해하여 생성한 오일의 작용기를 FT-IR로 분석하였고, 그 결과를 도 2d에 나타내었다.

[0121] 그 결과, MLM의 열분해 동안 기능 분포는 유사한 것으로 나타났고, 3440 및 1450 cm^{-1} 에 집중된 피크는 알코올의 -OH에 기인한 것으로 보인다. =C-H 및 -C-H 피크는 각각 알켄과 알칸에 속하는 3070 cm^{-1} 및 2920 cm^{-1} 에서 관찰되었다. 또한 C-H의 강도는 훨씬 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 오일에 더 많은 알칸이 존재하기 때문이다. 따라서 -CH₃ (1380 cm^{-1})의 함유량도 더 높은 것으로 나타났다. 1780 cm^{-1} 및 1650 cm^{-1} 피크는 각각 C = O 및 C = C와 관련이 있으며, 또한 1120 cm^{-1} 에 위치한 피크는 C-O-C 작용기에 해당한다.

[0122] 또한, 본 발명에서 페마스크의 IOM을 열분해하여 수득한 오일에 대한 FT-IR의 결과도 MLM과 유사한 결과로 나타났으며 즉, 유사한 작용기로 구성되어 있는 것으로 볼 수 있다(도 3b).

[0124] ④ 오일의 원소 분석

[0125] 서로 다른 가열 속도와 온도에서 MLM을 열분해하여 수득한 오일에 대해 원소 분포를 분석하였고, 그 결과를 하기 표 6에 나타내었다.

표 6

MLM 열분해를 통해 수득한 오일 및 차르(char)에 함유된 원소 분석결과

Entry	Sample	Pyrolysis mode	T/°C	Mass (%)			C/H ratio	HHV (MJ/Kg)	ED (%)	EY (%)
				N	C	H				
1	MLM				81.4	16.8	0.40	47.6		
2	Oil	Slow	500	0.15	77.0	14.6	0.43	43.5		
3		Medium	500	0.16	73.2	14.2	0.4	41.8		
4		Slow	650	0.25	76.7	14.5	0.4	43.3		
5		Medium	650	0.23	73.1	13.8	0.4	41.2		
6		Slow	350		79.5	15.8	0.42	45.8	2.5	247.0
7	Char	Medium	350		80.5	16.1	0.42	46.5	2.6	252.3
8		Slow	500		31.3	3.9	0.67	15.3	0.9	3.4
9		Medium	500		42.1	7.0	0.50	22.6	1.2	3.6
10		Slow	650		23.7	0.95	2.1	9.2	0.5	1.0
11		Medium	650		23.3	2.0	0.97	10.3	0.6	0.9

[0126]

[0128] 분석 결과, 느린 열분해 동안 500℃에서 열분해하여 생성된 오일에 가장 많은 탄소(77.0 %) 함유를 가지고 있는 것으로 나타났고 반면, 낮은 수소(14.6 %) 함유를 가지고 있는 것으로 확인되었다. 이것은 본 발명의 방법으로 생산한 오일에 탄소가 풍부하게 존재한다는 것을 확인한 것이며, 이는 일반적으로 사용되는 바이오 매스 공급원료에서 생산된 바이오 오일과는 다름을 알 수 있다. 500℃에서 650℃로 열분해 온도가 상승함에 따라 탄소와 수소 함량은 각각 약간 감소하여(각각 77.0 ~ 76.7% 및 14.6 ~ 14.5%) 오일의 탄소 함유 화합물이 고온에서 더 안정적임을 알 수 있었다.

[0129] 중간 열분해에서도 유사한 경향이 관찰되었는데, 그러나 느린 열분해에 비해 탄소와 수소의 함량은 더 낮은 것으로 나타났고, 이는 더 많은 기체 생성물의 형성을 위한 가속화된 분해 반응 때문인 것으로 보인다(표 6 참조).

[0130] 또한, 열분해 동안 오일에 함유된 C/H 비율은 동일한 것으로 나타났으며, 오일이 더 지방족이고 덜 방향족이며

다양한 열분해 온도와 가열 속도가 오일의 조성에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 또한 오일의 HHV도 계산하였는데, 표 5에 나타낸 바와 같이, 낮은 가열 속도로 500 °C에서 형성된 오일이 가장 높은 HHV (43.5 MJ/kg)를 보였으며 이는 기존 바이오 오일보다 훨씬 높은 값으로 본 발명의 방법으로 생산된 오일이 액체 연료로 사용할 가능성이 있음을 알 수 있었다.

[0131] 나아가, MLM과 같이, IOM으로부터 열분해하여 수득한 오일 및 차르에 대한 원소 분석을 진행하였고, 그 결과를 하기 표 7에 나타내었다.

표 7

IOM 열분해를 통해 수득한 오일 및 차르(char)에 함유된 원소 분석결과

Entry	Sample	Pyrolysis mode	T (°C)	Mass (%)			C/H ratio	HHV (MJ/kg)	ED	EY (%)
				N	C	H				
1	MLM				81.7	16.7	0.41	47.6		
2	Oil	Slow	500	0.15	77.0	14.6	0.4	42.0		
3		Medium	500	0.16	73.2	14.2	0.4	43.2		
4		Slow	650	0.25	76.7	14.5	0.5	42.0		
5		Medium	650	0.23	73.1	13.8	0.5	42.3		
6		Slow	350		77.8	15.9	0.40	45.3	2.5	245.4
7	Char	Medium	350		76.5	15.8	0.40	44.8	2.5	232.2
8		Slow	500		32.4	4.2	0.64	16.0	0.9	8.3
9		Medium	500		37.9	6.8	0.46	20.8	1.2	3.1
10		Slow	650		13.2	0.87	1.3	5.1	0.3	0.3
11		Medium	650		12.7	0.66	1.6	3.7	0.2	0.2

[0132]

[0134] <2-3> 열분해 생성물인 차르(char)에 대한 특성분석

[0135] ① XRD 분석

[0136] 각기 다른 온도와 가열 속도에서 MLM의 열분해로 생성된 차르(char)의 결정 구조를 분석하였고, 그 결과를 도 6a에 나타내었다. 분석 결과, 생성된 차르에는 유기 및 무기 결정 구조가 모두 있는 것으로 확인되었다. 또한 14, 17, 18, 22 및 25° 에 위치한 피크는 MLM의 주요 유기성분인 (C₃H₆)_n [PDF # 54-1936]과 관련이 있으며, 29, 31, 39, 45, 47, 48 및 56° 에서는 무기 CaCO₃의 회절이 관찰되었다. CaCO₃는 충전제 또는 기타 목적으로 사용되는 전형적인 무기종이다.

[0137] 350 °C에서 (C₃H₆)_n은 차르의 주성분으로 완전히 열분해되지 않았으며 낮은 열분해 온도에서 생산된 오일의 무시할 수 있는 수율로 확인되었다. 온도가 500 또는 650 °C로 증가하면 (C₃H₆)_n 구조의 거의 완전한 열분해로 CaCO₃의 결정상이 차르에서 주된 구조로 확인되었다. 형성된 차르의 입자 크기는 Debye-Scherrer 방정식을 사용하여 계산되었으며 결과는 하기 표 7에 기재되어 있다. CaCO₃의 입자 크기는 350°C에서 500°C로 열분해 온도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다 (15.3에서 27.6nm로 증가). 따라서 온도가 높을수록 숯의 결정도가 증가하는 것으로 나타났고, 가열 속도도 CaCO₃의 입자 크기에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었는데, 느린 열분해는 CaCO₃의 결정성을 증가시키는 경향이 있는 반면, 중간 열분해에서의 높은 가열 속도는 반대 효과를 보였다.

표 8

열분해 모드 및 처리 온도에 따른 MLM 열분해로 생성된 차르(char)의 입자크기

Entry	Pyrolysis mode	T (°C)	Particle size (nm)	
			(C ₃ H ₆)n	CaCO ₃
1	Slow	350	12.7	15.3
2	Medium	350	13.8	13.3
3	Slow	500	27.6	27.7
4	Medium	500	28.5	27.6
5	Slow	650	23.2	33.2
6	Medium	650	24.1	22.7

^aReaction conditions: reactant = 4.0 g; N₂: flowing rate = 85 mL/min.

나아가 IOM 열분해에 따른 결과는 MLM과 유사한 결과를 보였으며, 결과는 하기 표 9 및 도 6b에 나타내었다.

표 9

IOM 열분해로 생성된 차르(char)의 입자크기

Entry	Pyrolysis mode	T (°C)	Particle size (nm)					TiO ₂
			C	C	C	C	C	
			(1 0 0)	(1 0 0)	(0 0 1)	(1 1 0)	(2 0 0)	
1	Slow	350	12.7	15.6	13.4	14.0	18.0	-
2	Medium	350	14.4	17.1	15.5	14.1	18.3	-
3	Slow	500	-	-	-	-	-	29
4	Medium	500	-	-	-	-	-	25
5	Slow	650	-	-	-	-	-	30
6	Medium	650	-	-	-	-	-	34

② 차르의 원소 분석

각기 다른 조건에서 MLM의 열분해로 생성된 차르의 원소 분석결과는 앞서 기술한 표 6에 나타내었다. MLM 공급 원료에서 탄소 및 수소 함량은 각각 81.4 % 및 16.8 %인 것으로 나타나 산소가 주된 원소로 알려진 바이오매스와는 다른 것으로 나타났다. 350 °C에서 차르에서 C 및 H 함량은 유사한 것으로 나타난 반면, MLM의 폴리프로필렌에 대한 열분해에서는 C와 H가 거의 없는 것으로 나타났다. 고온에서의 MLM 열분해는 폴리프로필렌의 열분해와 유사하게 탄소 및 수소 함량이 크게 감소한 것으로 나타났다.

또한 차르의 에너지 함량을 조사하기 위해 HHV, ED 및 EY을 분석한 결과를 상기 표 6에 나타내었는데, 분석결과 350°C에서 생성된 차르가 가장 높은 에너지 함량을 가지는 것으로 나타나 연료 용도에 적합함을 알 수 있었다.

또한 350 °C에서 열분해로 생성된 차르는 원래의 공급원료와 크게 다르지 않은 것으로 나타났다. 500 °C 이상의 온도에서 생성된 차르는 대부분의 탄소와 수소가 오일로 변환되기 때문에 고체 연료로서의 사용 가치가 없다.

[0146] 나아가 IOM을 열분해하여 수득한 차르에 대한 에너지 함량 분석결과는 MLM과 유사한 결과를 보였으며, 그 결과는 상기 표 7에 나타내었다.

[0147] 따라서 이러한 결과를 통해 본 발명자들은 의료용 페마스크의 MLM 및 IOM의 열분해로 수득되는 산물인 오일, 차르(char) 및 가스 중에서 액체 연료인 오일(또는 석유)이 연료로 사용될 수 있는 주요 생성물임을 알 수 있었다.

[0149] ③ 열중량 분석(Thermogravimetric analysis)

[0150] 다른 온도와 가열 속도에서 MLM의 열분해로 생성된 차르의 열 안정성 분석 결과는 도 7에 나타내었다. 350°C에서의 느린 열분해 모드에서 차르의 함량은 96.8 % 감소했고, 이는 456 ~ 466°C 사이의 MLM 폴리프로필렌의 열분해에 해당되는 것으로 나타났다. 잔류물은 차르의 무기 종에 해당한다. MLM 폴리프로필렌 성분의 열분해는 매우 좁은 온도 범위에서 발생하는데, 350°C에서 최소 열분해를 보이며, 500 °C에서 열분해가 거의 완료되는 것으로 나타났다.

[0151] 또한, 도 7c에는 500°C에서 열분해하여 생성된 차르의 열 안정성을 보여준다. 중간 열분해 동안 466°C에서는 차르 생성물의 급격한 중량감소가 나타났는데, 이는 더 높은 가열속도에도 불구하고 짧은 체류 시간동안 폴리프로필렌 성분의 연속적인 열분해와 관련된 것으로 보인다. 700°C 이상의 온도에서 보이는 또 다른 피크는 무기종의 분해 때문인 것으로 보인다.

[0152] 실상, MLM의 열분해로 생성된 차르의 열 안정성은 높은 열분해 온도에서 생성된 차르의 탄소 함량이 낮기 때문에 무기종에 의해 크게 결정된다.

[0153] 이러한 결과는 IOM의 열분해 결과에서도 유사하게 나타났는데, IOM의 열분해에 따른 차르의 열 안정성 결과는 도 8에 나타내었다.

[0155] ④ FT-IR 분석

[0156] 본 발명에 의해 MLM 및 IOM의 열분해로부터 생성된 차르에 대한 FT-IR 스펙트럼을 도 9에 나타내었다. 분석 결과, MLM로부터 생성된 차르의 작용기 분포는 유사한 것으로 나타났다. 또한 3450 및 2900 cm^{-1} 에 집중되어 있는 피크는 각각 알칸의 O-H 및 -C-H와 관련이 있는 것으로 보인다.

[0157] 알칸에 있는 -C-H의 강도는 650 °C에서 생성된 차르에서 관찰되었고, 특히 높은 가열 속도의 중간 열분해에서 관찰되었다. 알칸 구조의 열분해는 체류 시간에 민감하게 나타났고, 느린 열분해에서 완전한 열분해가 진행되었다. C = O 및 C = C 작용기는 각각 1800 및 1632 cm^{-1} 에 위치되어 있었다. C = O는 차르에서 무거운 에스테르에 해당하는 반면, 알켄의 C = C는 탈수소화와 같은 라디칼 반응 중에 형성 될 수 있고, 이는 기체 생성물인 H₂가 형성된 것과 같이 H₂를 생성할 수 있다.

[0158] 또한 1432 및 876 cm^{-1} 에 위치한 피크는 각각 CaCO₃의 C-O 및 CO₃²⁻에서 기인한 것이며, 온도와 가열 속도가 차르 표면에 있는 관능기의 함량에 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

[0160] ⑤ DRIFTS 분석

[0161] 다른 온도 및 가열 속도에서 생성된 차르에서 작용기의 진화는 in-situ DRIFTS를 사용하여 특성화하였다. MLM 공급 원료에서 3590 cm^{-1} 에서 -OH와 관련된 피크가 관찰되었다.

[0162] 차르에서 -OH의 강도는 온도 상승에 따른 뚜렷한 감소를 보이지 않았는데, 이는 긴 지방족 사슬을 가진 알코올이 상대적으로 안정적임을 나타낸다. = C-H 및 -C-H 피크는 각각 3055 및 2880 cm^{-1} 에서 관찰되었다. 온도가 증

가함에 따라 알칸 구조의 C-H 강도는 감소한 반면 탈수소화 반응으로 인해 알켄의 강도는 약간 증가했다. 또한, 각각 2230 및 2020 cm^{-1} 에서 피크를 갖는 CO_2 및 CO도 관찰되었다.

[0163] 탈카복실화 및 탈카보닐화 반응을 통해 생성된 CO_2 와 CO 각각은 차르 표면에 흡착되었다. 1800과 1670 cm^{-1} 에 위치한 피크는 각각 카르복실산과 에스테르에 있는 C = O의 흡수를 나타낸 것이다. C = C 흡수 피크는 1590과 1530 cm^{-1} 에서 관찰되었다. 공급 원료 및 차르 모두에서 C-O 및 CO_3^{2-} 의 흡수 피크가 관찰되었으며, 이는 CaCO_3 으로부터 형성되었다. C-O와 CO_3^{2-} 의 강도는 CaCO_3 의 분해로 인해 온도가 증가함에 따라 증가하였다. 또한 1120과 1020 cm^{-1} 에 위치한 C-O-C의 작용기도 관찰되었으며, 공급 원료의 강도는 온도에 따라 증가하는 반면, 차르의 강도는 감소하였다. 그 이유는 차르 표면의 산소 함유 유기물이 불안정했기 때문일 수 있다. 한편, IOM의 열분해 결과도 MLM의 결과와 유사한 결과는 보였으며, 결과는 도 10에 나타내었다.

[0164] in-situ DRIFTS를 사용하여 관찰된 흡수 피크 강도 변화는 도 11에 나타내었다. MLM 공급원료에서 = C-H 및 C-H의 강도는 온도가 증가함에 따라 감소하여 MLM에서 알켄과 알칸이 분해되어 더 많은 기체 생성물을 생성하는 것을 알 수 있다. 증가된 C = C 강도는 더 높은 온도가 탄화를 촉진했음을 의미한다. 또한 C = O 강도가 먼저 증가하고, 이후 500 °C에서부터 감소하였다. 이는 산소 함유 휘발성 물질이 고온에서 불안정하고 쉽게 분해되기 때문이다. 그럼에도 불구하고 생성된 차르에서 다른 현상이 관찰되었는데, 느린 열분해 동안 온도가 증가함에 따라 = C-H의 함량이 감소하는 반면 C-H 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 알켄이 고온에서 불안정하고 온도 상승이 알칸 형성을 촉진했기 때문인 것으로 판단된다.

[0165] 고온의 차르에서 C = O와 C = C의 강도 변화는 MLM 공급 원료와 비슷하지만 그 정도는 더 약한 것으로 나타났다. 중간 열분해에서도 유사한 경향이 관찰되었다. 또한 느린 열분해에 비해 숯의 C = O 강도가 낮은 것으로 나타났다. 이것은 더 긴 체류 시간이 산소에서 산소 함유 유기물의 형성에 유리함을 나타낸다.

[0166] 또한, IOM 열분해 역시 MLM 결과와 유사한 것으로 나타났는데 그 결과는 도 11d-11f에서 볼 수 있다. 이러한 결과를 통해 온도 및 가열 속도는 열분해 동안 차르 표면에 있는 반응기 및 반응 네트워크에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

[0168] <실시예 3>

[0169] LCA(Life cycle assessment) 평가결과

[0170] LCA를 기반으로, 의료용 폐마스크를 부가가치 에너지 제품으로 전환하면 환경 개선 가능성이 있는 것으로 확인되었다. 조사된 시스템은 기존의 폐기물 관리 접근법보다 GWP, FETPinf, HTPinf 및 TETPinf가 더 우수한 것으로 나타났다. 그러나 IRP-HE, PMFP, POFP 및 TAP는 열분해 장치의 현장 배출과 전기 발생의 활용 프로세스로 인해 생성된 영향에 대한 환경적 단점이 존재했다.

[0171] 다양한 영향 범주에 대한 LCA 분석 결과를 하기 표 10 및 표 11에 나타내었다.

표 10

환경 영향, 에너지 소비 및 자원 고갈에 대한 수명주기 평가 (LCA) 결과

	Electricity for pyrolysis	Natural gas for pyrolysis	On-site emission from pyrolysis unit	Pyrolysis oil to electricity	Credits of substituting electricity from coal	Credits of substituting electricity from natural gas
Global warming potential (kg CO ₂ -eq/FU)	1.40E-01	2.09E-05	1.50E-01	3.20E+00	-4.39E+00	-2.25E+00
Freshwater ecotoxicity (kg 1,4-DCB-eq/FU)	1.25E-03	8.74E-08	0.00E+00	5.04E-03	-2.86E-02	-2.38E-02
Freshwater eutrophication (kg P-eq/FU)	2.68E-05	2.99E-10	0.00E+00	3.81E-05	-1.27E-03	-3.41E-05
Human toxicity (kg 1,4-DCB-eq/FU)	2.59E-02	7.51E-07	0.00E+00	2.65E-01	-1.09E+00	-1.09E+00
Ionizing radiation (kg U235-eq/FU)	2.10E-03	6.78E-08	0.00E+00	1.79E-01	-1.12E-02	-8.87E-03
Particulate matter formation (kg PM10 eq/FU)	3.05E-04	8.23E-09	9.52E+00	6.70E-03	-9.63E-03	-9.38E-04
Photochemical oxidant formation (kg NMVOC/FU)	4.54E-04	3.17E-08	4.48E+00	1.34E-02	-1.34E-02	-3.81E-03
Terrestrial acidification (kg SO ₂ -eq/FU)	5.80E-04	2.49E-08	3.36E+00	2.39E-02	-1.66E-02	-3.06E-03
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DCB-eq/FU)	5.28E-06	7.93E-10	0.00E+00	4.25E-04	-2.24E-04	-2.81E-04

[0172]

표 11

기존의 관리방식을 사용하여 폐마스크를 처리할 때의 환경적 영향 분석

	Municipal incineration	Sanitary landfill
Global warming potential (kg CO ₂ -eq/FU)	2.55E+00	9.50E-02
Freshwater ecotoxicity (kg 1,4-DCB-eq/FU)	8.92E-02	5.95E-02
Freshwater eutrophication (kg P-eq/FU)	3.33E-06	1.61E-06
Human toxicity (kg 1,4-DCB-eq/FU)	5.76E-01	3.51E-01
Ionizing radiation (kg U235-eq/FU)	5.02E-04	1.19E-03
Particulate matter formation (kg PM10 eq/FU)	1.05E-04	3.45E-05
Photochemical oxidant formation (kg NMVOC/FU)	4.14E-04	1.25E-04
Terrestrial acidification (kg SO ₂ -eq/FU)	2.54E-04	6.89E-05
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DCB-eq/FU)	2.56E-04	5.94E-06

[0174]

[0175] 사례 1과 사례 2는 각각 석탄과 천연가스 전기 대신에 열분해 오일로 대체하는 연구이다. 화석 연료에서 전기를

생산할 때 생기는 부정적인 환경적 영향을 피함으로써 얻은 이익을 계산한 후, 사용된 수술 마스크를 열분해를 통해 전기로 변환하는 것은 GWP, FETP, HTPinf 및 TETPIf와 관련하여 기존의 폐기물 관리 접근법보다 더 나은 성능을 보였다. 처음 네 개의 범주에서 순 네거티브 방출은 전기 대체와 결합되었다. 해당 배출물의 감소 가능성은 0.52배에서 751배로 다양했다. 이러한 범주의 개선은 기존의 소각 및 매립지에 비해 인간 및 생태계 건강 수준에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 가장 두드러진 개선은 FEP에서 관찰되었다. 높은 인 배출로 인한 높은 영양소와 미네랄 수준은 민물 체내의 해조류의 과도한 성장과 산소 고갈을 초래할 수 있다. 화농성 기름을 사용하면 인 등 배출량을 기존 매립지의 약 751배 줄일 수 있으며, 이는 FEP의 발생을 대부분 피할 수 있다.

[0176] 한편, 도 12에 나타난 바와 같이, 전기 생산에 경화탄을 대체하기 위해 열분해 오일을 사용하는 것은 일반적으로 환경부담을 상쇄하는데 매우 큰 장점이 있다. 그러나 전반적인 개선에도 불구하고, 열분해성 오일의 전기로의 변환은 앞서 언급한 5가지 영향 범주에서 나오는 거의 모든 배출물을 만들어 내는 가장 지배적인 환경 부담이다. 반면, 다른 영향 범주(IRP-HE, PMFP, POFP, TAP)에서는 조사된 시스템의 환경 기능이 기존 소각 및 매립장보다 현저히 낮게 나타났다. 이에 상응하는 영향은 기존 접근법보다 10,000배 더 클 수 있다. 상기 4개 범주 중 PMFP에 대해 조사된 시스템의 성능이 가장 나쁜 것으로 나타났다. 전력생성을 위한 열분해유 생산은 기존 소각보다 PM10의 9×10^4 배 이상 높은 배출량을 달성할 수 있다. 미립자 물질(PM) 형성은 PM이 즉시 배설되지 않고 호흡기에 축적되기 때문에 흡입 시 사람에게 호흡기 건강 영향을 미치는 역할을 한다. 도 12f와 같이 이러한 상황의 주요 원인은 열분해 장치의 현장 배출(PM10 eq, NMVOC, SO2 eq 배출)과 열분해 오일의 전기 전환(U235 eq 배출)에 있다.

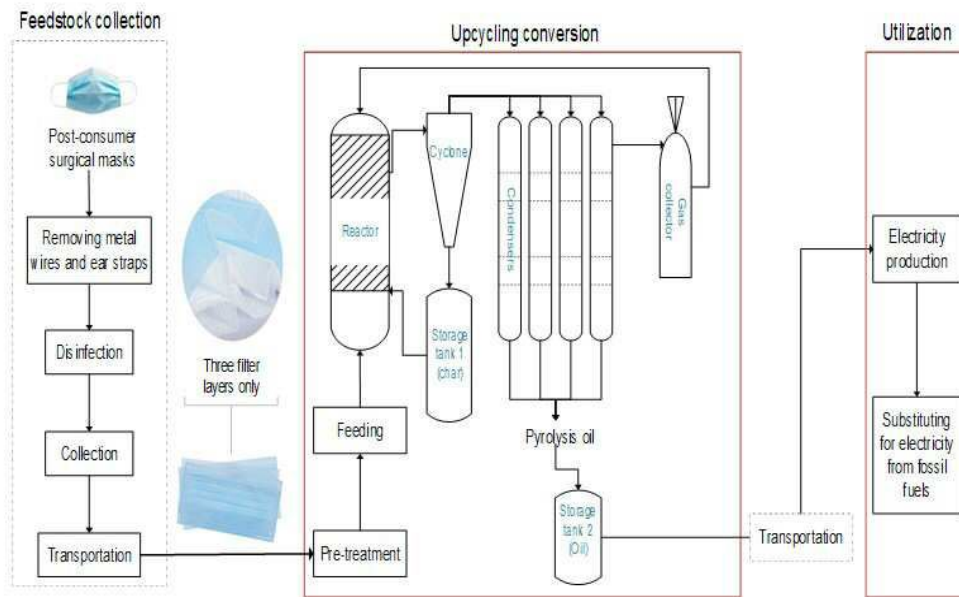
[0178] 이상의 결과를 통해 본 발명자들은 본 발명의 방법에 따라 의료용 폐마스크를 열분해하는 경우, 폐마스크로부터 액체연료, 즉 오일을 높은 수율로 생산할 수 있음을 알 수 있었고, 특히 폐마스크의 MLM을 500 °C의 온도에서 열분해 할 경우, 약 80%의 높은 수율로 액체연료를 생산할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 본 발명의 방법으로 생산된 액체연료는 우수한 열안정성을 갖는다는 것을 확인하였고, 폐마스크의 열분해로 수득한 액체연료(오일)에는 탄소와 수소가 풍부했으며 최대 HHV가 43.5 MJ/kg으로서 기존 바이오매스로부터 생산된 바이오 오일과는 크게 차이를 확인할 수 있었다.

[0179] 나아가 LCA를 기반으로 하는, 폐마스크의 액체 연료화에 따른 부가가치 에너지 제품으로의 전환에 대한 환경분석 결과, 잠재적으로 환경 개선효과가 있음을 알 수 있었다. 분석 결과에 의하면, 기존 폐기물 관리 방식보다 GWP, FETPinf, FEP, HTPinf 및 TETPinf가 더 우수한 것으로 나타났다.

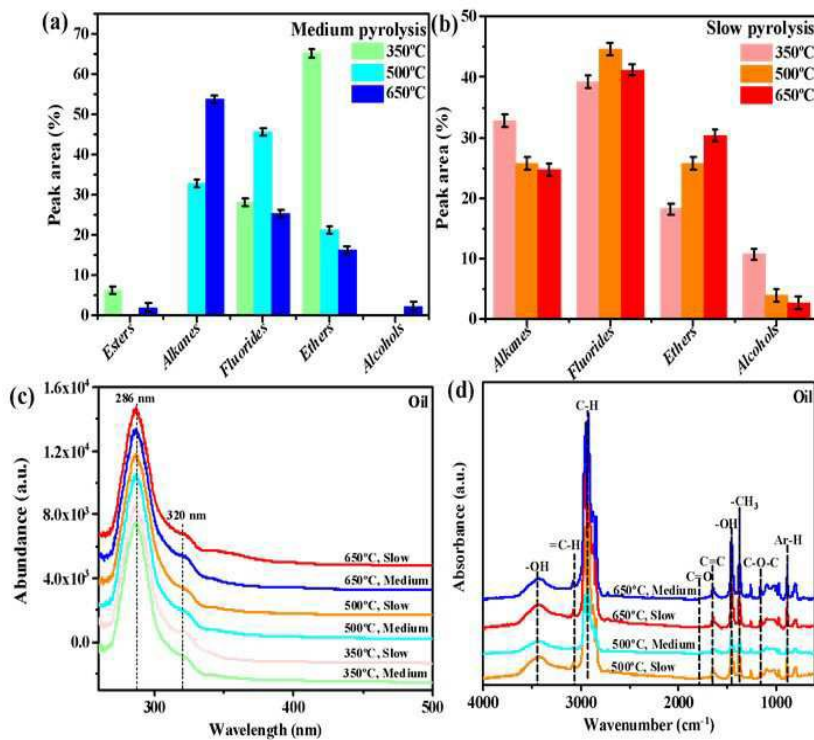
[0181] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

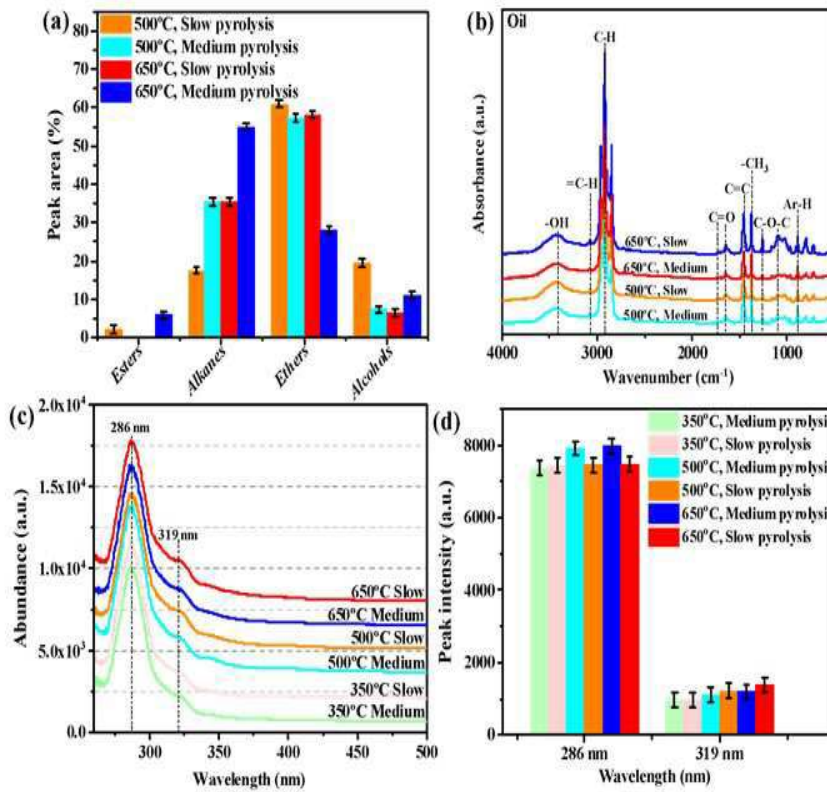
도면1



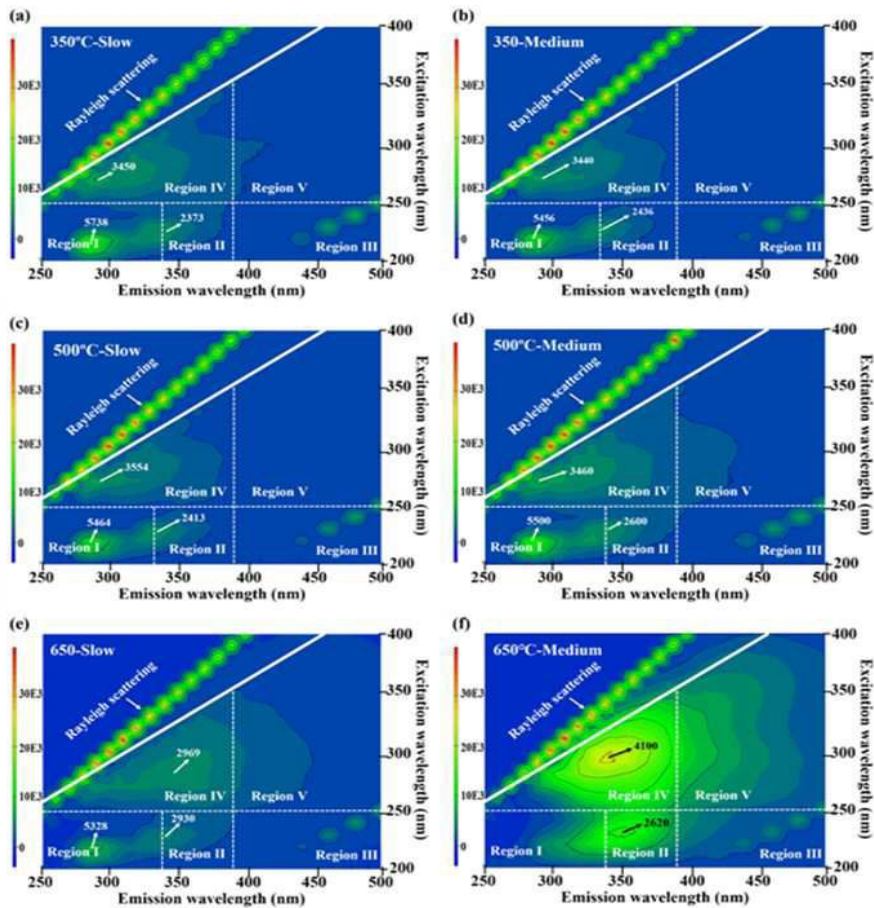
도면2



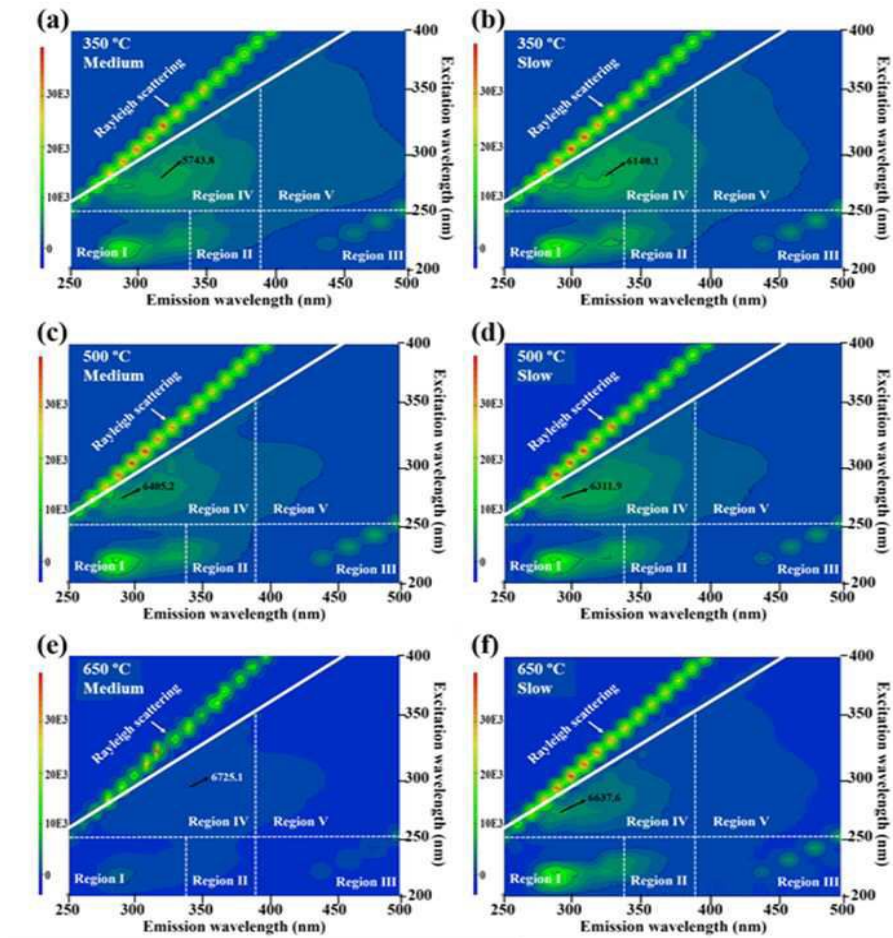
도면3



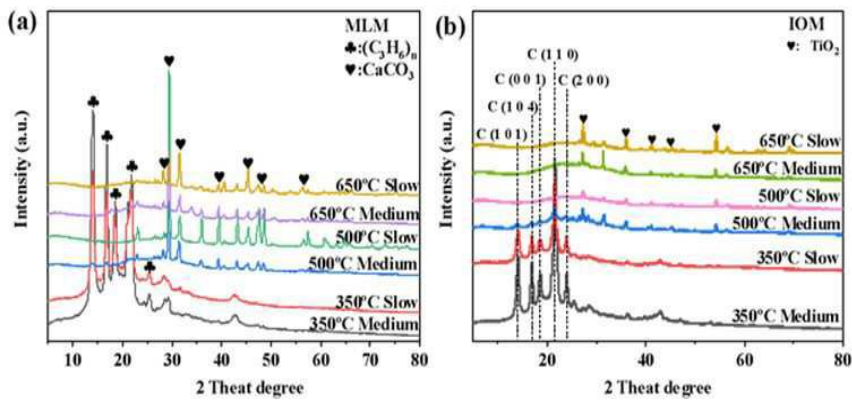
도면4



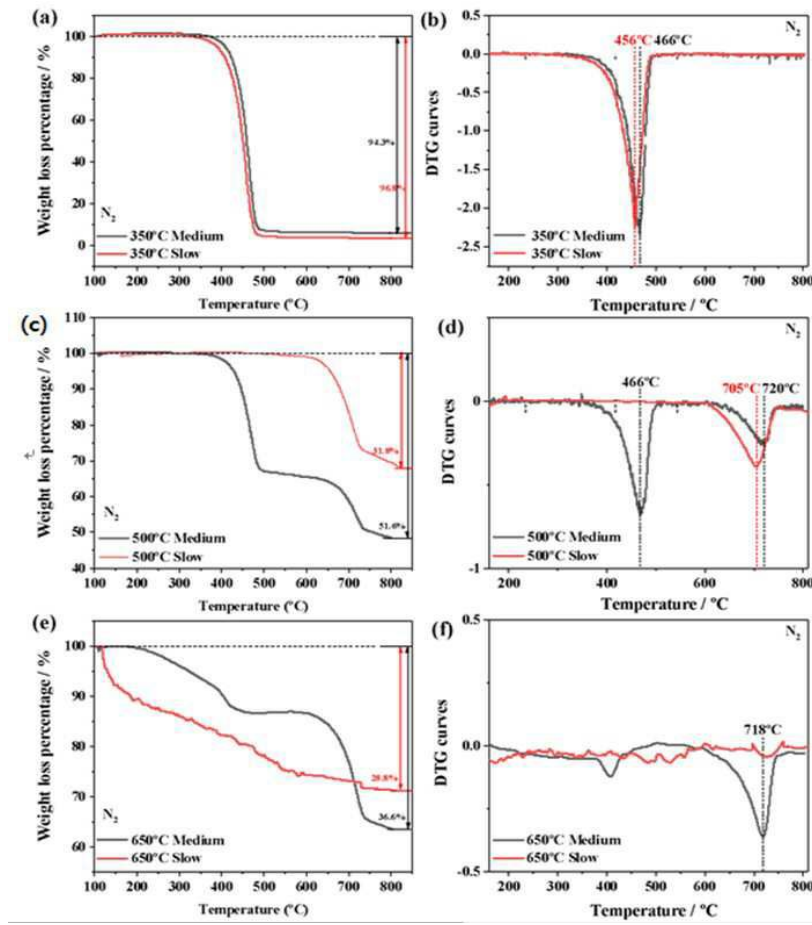
도면5



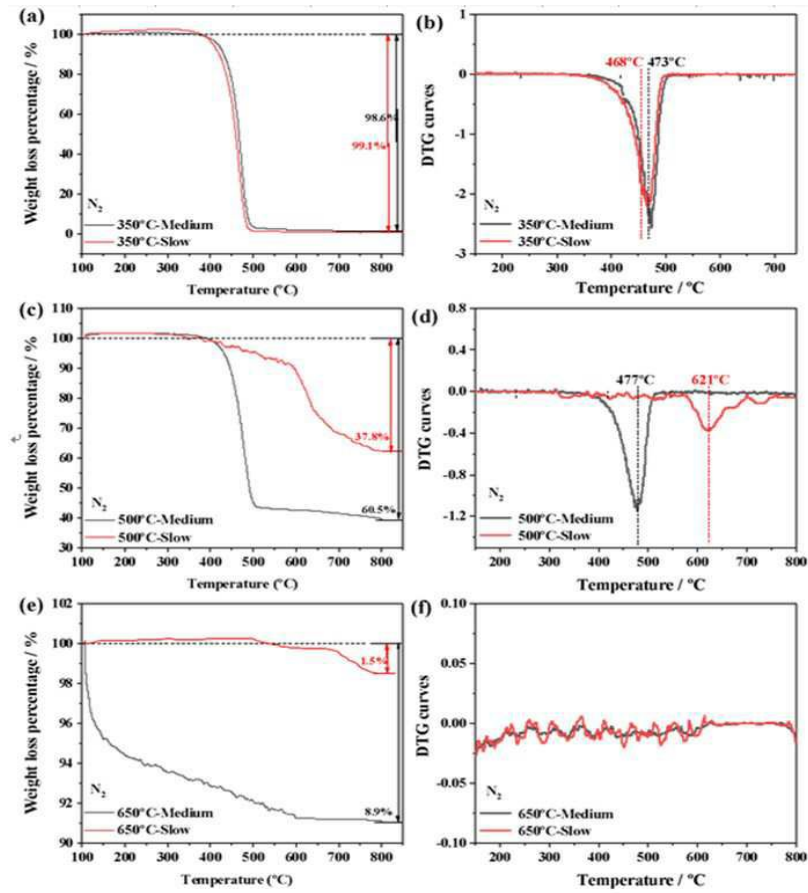
도면6



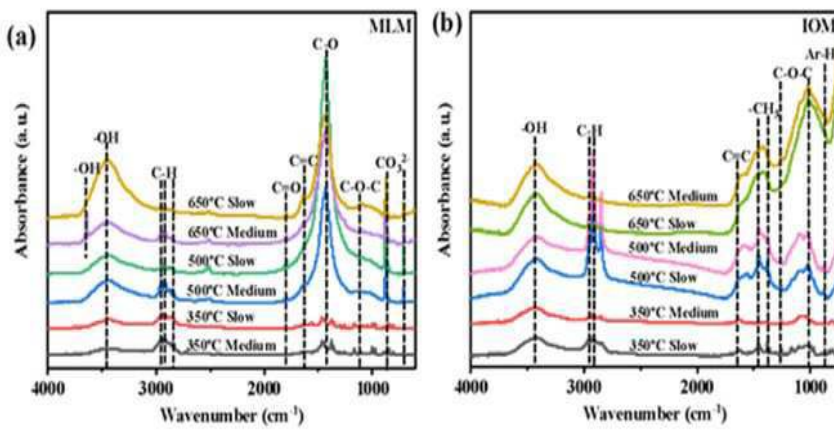
도면7



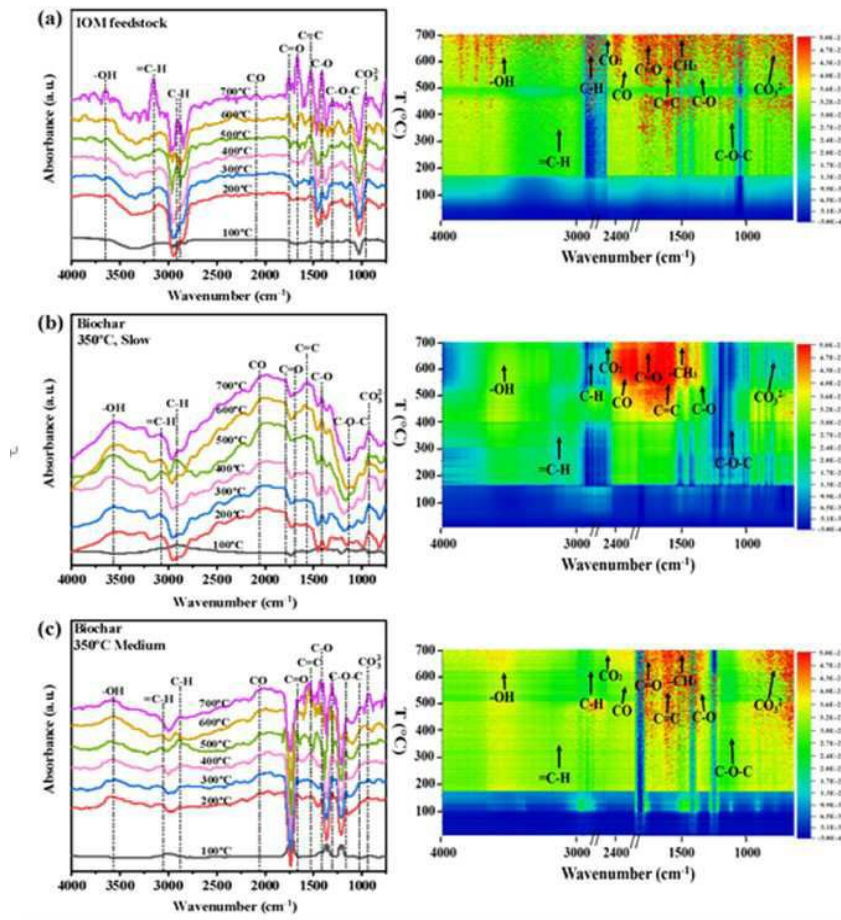
도면8



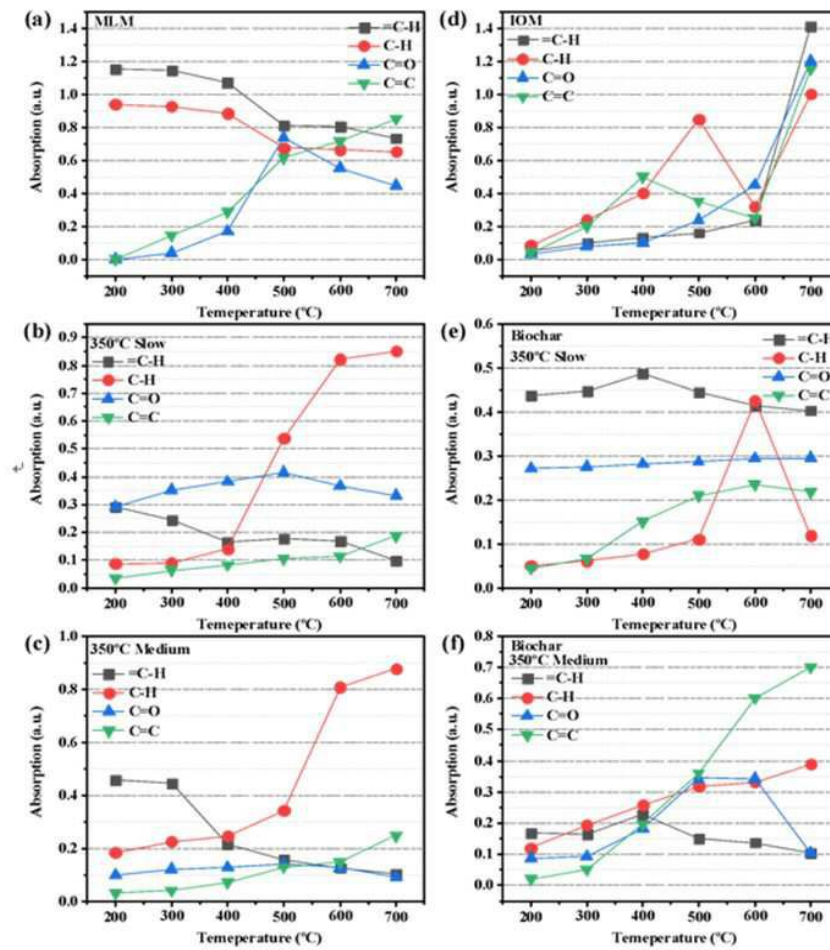
도면9



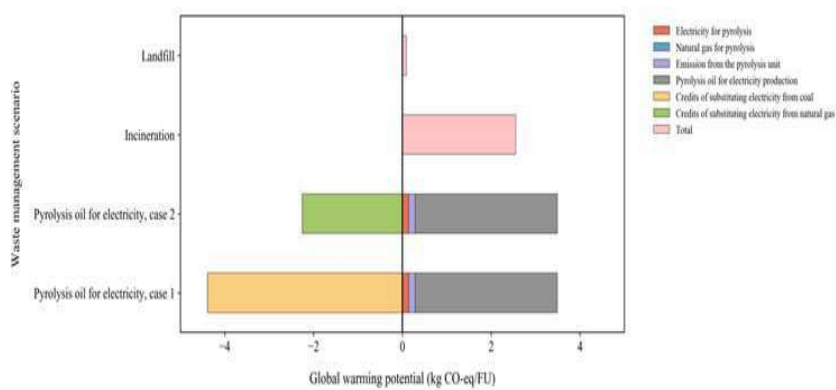
도면10



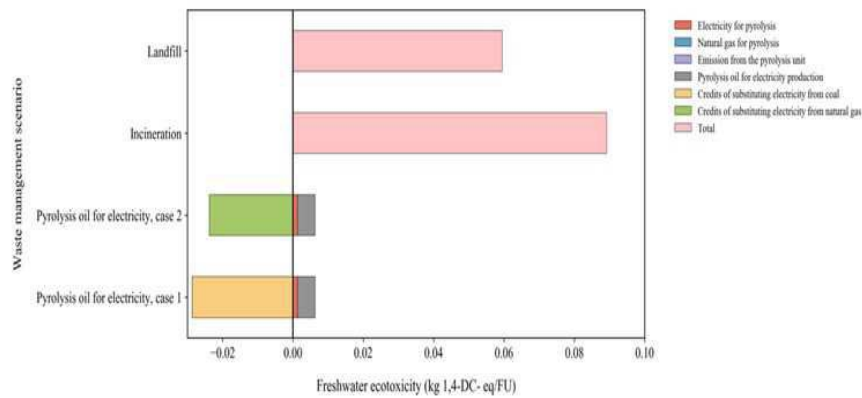
도면11



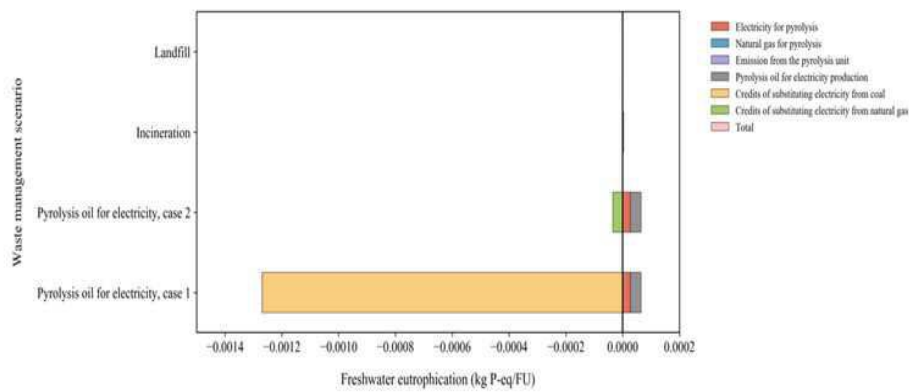
도면12a



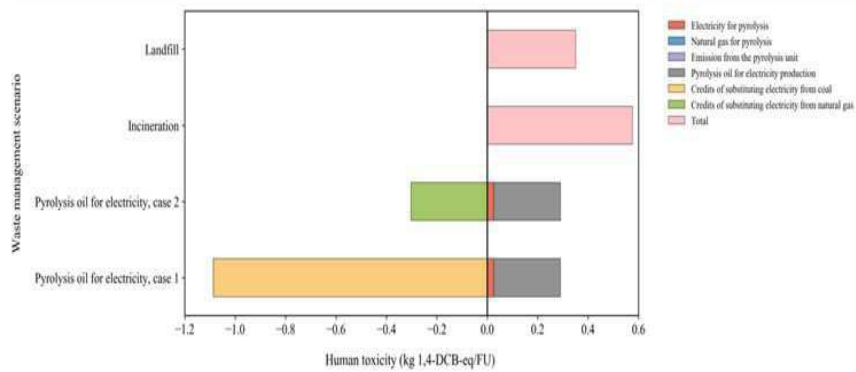
도면12b



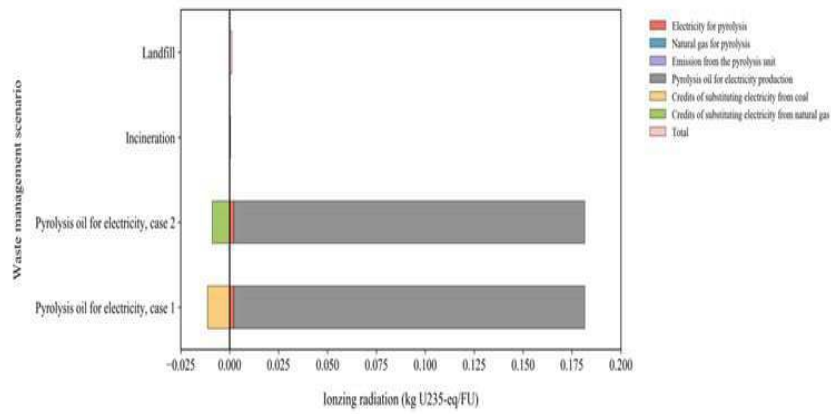
도면12c



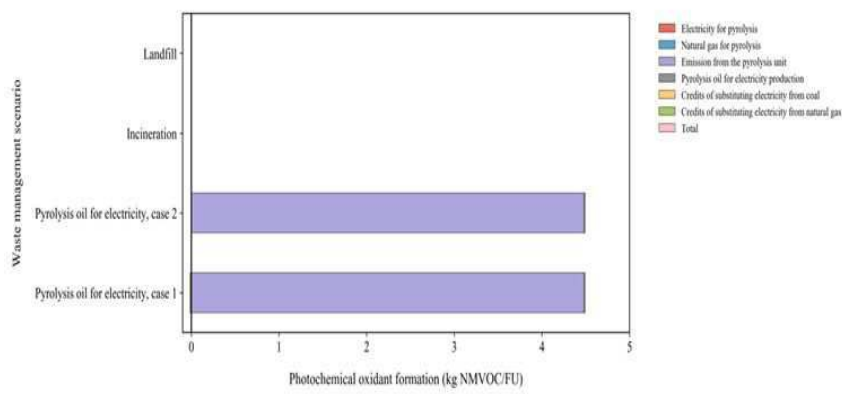
도면12d



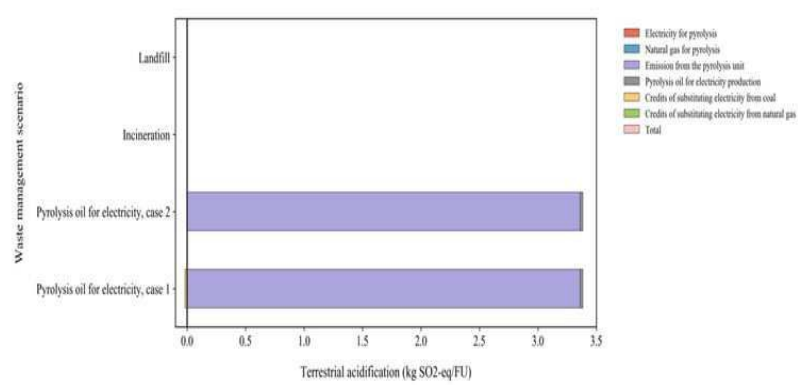
도면12e



도면12f



도면12g



도면 12h

