에너지 캡스톤 디자인 (폐기물 자원 순환)

플라스틱 재활용과 열분해

1조 (김민재, 박철휘, 오준식, 최정우)

에너지 캡스톤 디자인 (폐기물 자원 순환)

Contents

1.왜 열분해인가?

2.열분해

3.분류기술

열역학적 관점에서 본 재활용의 의의

- 엔트로피의 열역학적 정의(수식)
- 엔트로피의 물리적 의미(에너지 관점)
- 엔트로피 측면에서 재활용이 갖는 의의

열역학적 관점에서 본 재활용의 의의

- 엔트로피의 열역학적 정의(수식)

- $dS = \frac{dq_{rev}}{T}$
- 상태 함수

$$dS_{sur} = -\frac{dq}{T}$$ (상태 함수 아님)

열역학적 관점에서 본 재활용의 의의

- 엔트로피의 물리적 의미(에너지 관점)

- 클라우지우스 부등식($dS_{tot} = dS + dS_{sur} \geq 0$)
- $dS_{tot} = dS + dS_{sur} = \frac{dq_{rev}}{T} - \frac{dq}{T}$

$\Rightarrow dG_{T,p} \leq 0 \ (\because G \equiv H - TS)$

열역학적 관점에서 본 재활용의 의의

- 엔트로피 측면에서 재활용이 갖는 의의

- 클라우지우스 부등식: 고립계(우주)의 엔트로피는 감소하지 않는다.

- 엔트로피의 증가는 유용한 에너지의 감소를 초래한다.

→ '지속 가능한 개발'을 위해 자원 재활용은 필수적

주제 선정 이유

- 왜 열분해인가?

열분해란?
폐플라스틱을 기름이나 가스로 변환시켜 원료를 직접 얻는 방식

장점: 대부분이 무산소 공정으로, 오염물질 발생이 적음
PE, PP, PET 등 다양한 플라스틱 원료 혼합물을 처리 가능

단점: 소각방식에 비해 에너지 효율이 떨어짐.

열분해=지속 가능한 개발

플라스틱 사용량 현황

- 편의점 상품 조사

상품 포장재 조사 결과

종류	뚜껑	라벨	몸통	종류	뚜껑	라벨	몸체
대용량 껌	HDPE	PS	HDPE	커피	PP	PS	PET
보리차	HDPE	PET	PET	요구르트	HDPE	PS	PET
이온음료	HDPE	PET/PP	PET	즉석밥		PET	PE
주스	PP	PET	PET	도시락	PP		PE
맥주	PP		PET	단지우유			PS
소주	HDPE	PP	PET	오뎅	PP		PE
케첩	PP	PP	PE	떡볶이	PP/PE		PE
간장	LDPE	PP	PET	편육	PP		PP
우동	PP						

※ LDPE= Low-density polyethylene , HDPE= High-density polyethylene, PP= polypropylene , PS= polystyrene, PET= polyethylene terephthalate
팀 내 직접 조사

플라스틱 사용량 현황

- 주로 사용된 플라스틱 원료

생필품에 사용된 주요 플라스틱

LDPE: 뚜껑
HDPE: 뚜껑
PP : 뚜껑, 라벨 등
PS: 포장지 , 라벨 등
PET: 투명 음료수 병

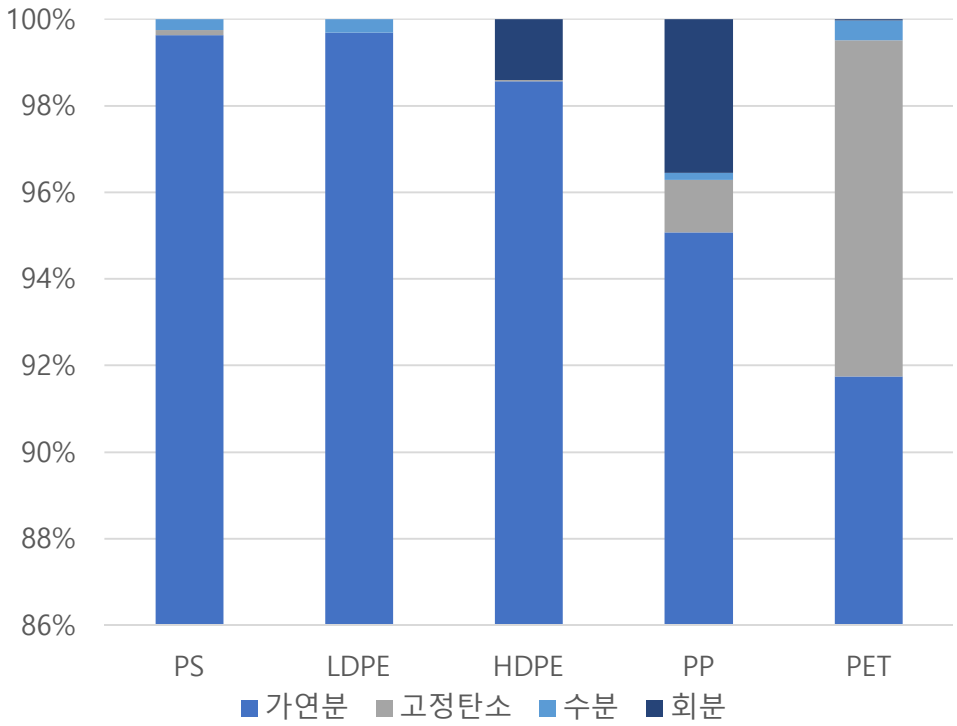
LDPE, HDPE, PP, PS, PET 상기 5종을 주요 분석 소재로 정함.

열분해 생성물

- 주요 플라스틱 원료 별 열분해 생성물

플라스틱 종류별 열 분해 결과

종류	수분	고정탄소	가연분	회분
PS	0.25	0.12	99.63	0.00
LDPE	0.30	0.00	99.70	0.00
HDPE	0.00	0.03	98.57	1.40
PP	0.15	1.22	95.08	3.55
PET	0.46	7.77	91.75	0.02



A review on pyrolysis of plastic wastes Shafferina Dayana Anuar Sharuddin, Faisal Abnisa ⇑, Wan Mohd Ashri Wan Daud, Mohamed Kheireddine Aroua

열분해 생성물

- 열분해유(오일)

열분해 후 생성되는 오일의 품질

-현재 유통되고 있는 연료유의 발열량과 큰 차이가 없음
(8000~10000kcal/kg)

-황분 및 중금속 함량의 경우, 모두 국내 품질 기준치를 만족
(황분: 0.03(m/m)% 미만 , 중금속: 1mg/kg 미만)

*염소분의 경우 국내 기준치가 없지만 263mg/kg으로 다소 높음

김홍경,「폐플라스틱의 종류별 열분해 생성물 특성 분석」,『심포지움 2019년 1호』,한국폐기물자원순환학회, 2019, p205-220

열분해 생성물

- 열분해 부산물

열분해 부산물에는 Char, 연소 가스, 비응축성 가스가 있음.

Char의 경우, 보조 연료 재활용 폐기물 기준과 대조.
중금속 안전기준은 만족하나, 저위 발열량이 기준보다 낮음.
(저위발열량: 수분의 기화열을 제한 발열량)

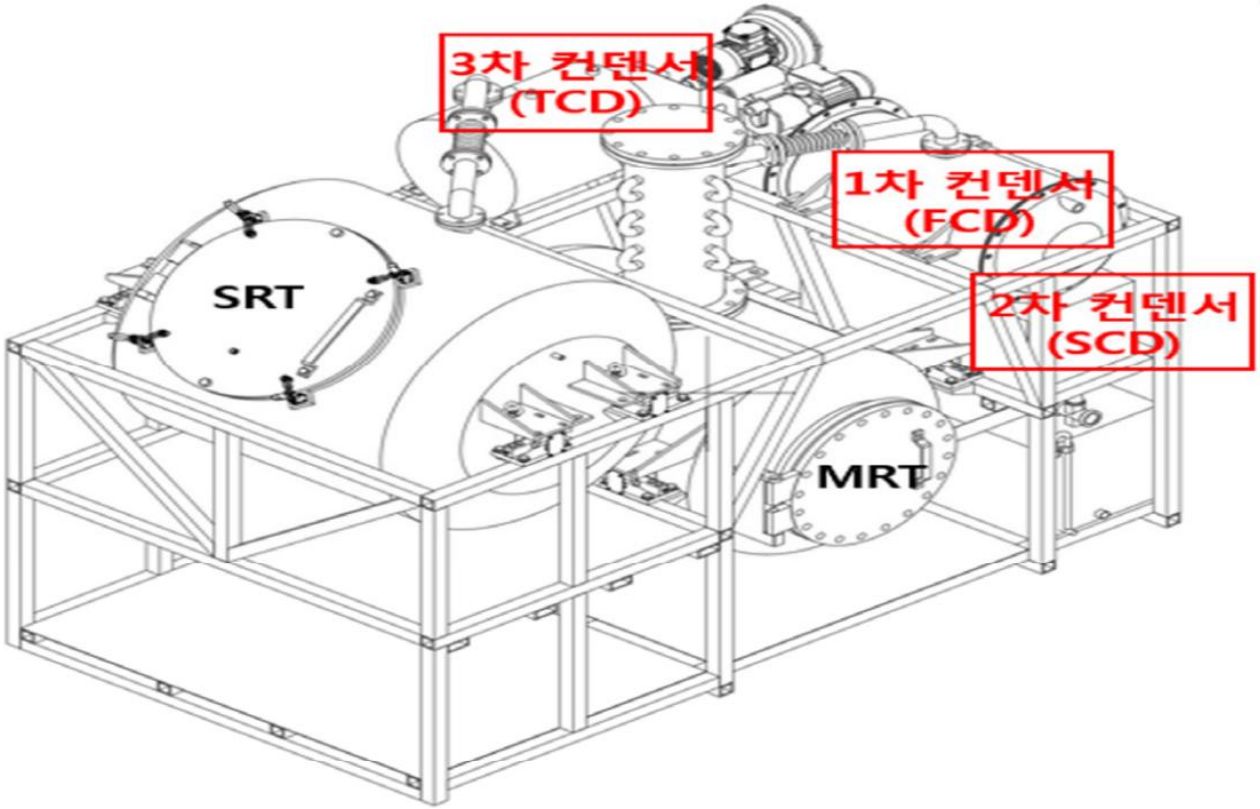
연소 가스는 이산화황, 이산화질소, 염화수소 모두 안전기준치 만족

비응축성 가스는 암모니아, 황화수소, 메탄티올 모두 안전기준치 불만족

김홍경,「폐플라스틱의 종류별 열분해 생성물 특성 분석」,『심포지움 2019년 1호』,한국폐기물자원순환학회, 2019, p205-220

열분해 실험

- 열분해 설비



실험에 사용된 이중 회분식 열분해유 처리기의 모습

SRT(Sub-reactor)

불연물질을 걸러내어 용융된 플라스틱만을 MRT에 전달하는 역할을 수행

MRT(Main reactor)

실질적 열분해 반응이 일어나는 장소

FCD/SCD (First/Second condenser)

MRT에서 분리된 유증기를 압축해 열분해유 생성

TCD(Third condenser)

수증기 및 HCl(g) 포집

열분해 실험

- 열분해 플라스틱 시료

플라스틱 재생 플레이크
여러 번의 선별 및 세척을 통하여,
플라스틱 원료 상태에 가깝도록 가공한
상태의 재활용 플라스틱



▲재생 플레이크(좌)와 압축 폐 플라스틱(우)의 사진

EPR압축 폐플라스틱

(EPR: Extended producer responsibility, 산재 책임 재활용제)

가공 전의 폐플라스틱으로, 한국의 EPR은 생산자가 분담금을 지급, 업체를 통해 처리. 각종 불연물질 등의 오염물질이 제거되지 않은 상태.

각 시료는 PE, PP, PS를 1:1:1로 혼합함.

열분해 실험

- Case 설계

실험 Case별 공정 진행 방식

	시료	SRT	MRT	FCD	SCD	TCD
Case1	플라스틱 재생 플레이크	X	O	O	O	X
Case2	EPR 압축 폐플라스틱	X	O	O	O	X
Case3	EPR 압축 폐플라스틱	O	O	O	O	O

오염물질 및 수분 측정 방식

수분

Case 1&2: 배출구에 양수기를 설치, 수증기 포집

Case 3: TCD에서 포집된 수증기

오염물질

Case 1: 고려하지 않음(선별 완료)

Case 2: 반응 전 불연물질 1차 선별 및 반응 후 불연물질만을 2차 선별

Case 3: SRT에서 걸러진 불연물질 선별

열분해 실험

- Case 별 결과 도출

구성	Case 1	Case 2	Case 3
투입량(kg)	30	30	30
오염물질 (kg)	0.0	1.2	1.0
수분 (kg)	0.0	2.3	1.7
순도 (%)	100	93.7	95.0

수득률	Case1	Case2	Case3
Oil (%)	80.1	68.7	76.4
Gas (%)	10.2	16.4	12.0
Solid (%)	9.7	14.9	11.6
실수득률	**Case1**	**Case2**	**Case3**
Oil (%)	80.1	64.4	72.6
Gas (%)	10.2	15.4	11.4
Solid (%)	9.7	14.0	11.0

결론: Case 1&2,3에 의해 플라스틱의 선별 중요성을 알 수 있으며,
Case 2,3에서 오염물질 제거의 중요성을 알 수 있음.

김홍경,「폐플라스틱을 이용한 회분식 열분해 공정 시 운전 조건에 따른 열분해 오일의 수율 영향 비교」,『한국폐기물자원순환학회지 2019년 vol36』, 한국폐기물자원순환학회, 2019, p361-367

플라스틱 분류기술

과거에 사용하던 선별기술

-플라스틱 비중 차이에 의한 혼합 폐플라스틱 선별분리 공정기술

의의: 혼합 폐플라스틱을 수지 종류별로 분리해 재활용 플라스틱의 효율을 높임.

방법: 1st) 폐플라스틱에서 포함되어 있는 금속, 무기 소재, 종이 등 비플라스틱 소재를 제거하고 플라스틱 소재를 수집하는 공정
2nd) 수집된 플라스틱을 다음 선별 분리 공정을 위해 파쇄하는 준비 공정
3rd) 습식 분리 공정을 통해 비중 차이로 수지 종끼리 분리하는 선별분리 공정에서 혼합 폐플라스틱 중 활용할 수지 종류를 선정해 선택적으로 분리

한계점: 혼합 폐플라스틱의 조성은 국가에 따라 또한 도시와 농촌에 따라 지역별로 사용되고 수거되는 수지의 종류가 상이하므로 국내에서도 각 지역에 따라 용액 비중을 선정할 필요가 있음.

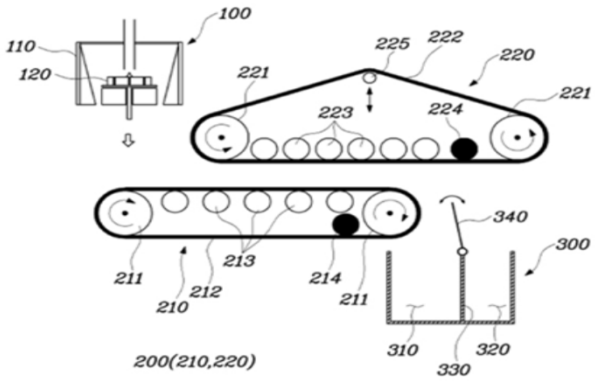
플라스틱 분류기술

최근에 사용되는 선별기술

-이중 컨베이어형 정전 선별 유닛 및 이를 이용한 정전 선별기

의의: 제철용 석탄 중 저 등급 석탄의 활용도와 공정효율을 높이고, 친환경 공정을 실현

방법: **정전 선별기술은 석탄입자와 회분입자를 마찰 시켜 서로 다른 전하를 갖도록 한 뒤 음극 • 양극 판 사이로 통과시켜 양전하를 띤 입자는 음극판으로, 음전하를 띤 입자는 양극 판 방향으로 이동시켜 분리하는 기술이다.**



플라스틱 사용량 현황과 분류기술

미래 과제

- **과거 (2000년대 초반) 활발히 연구되어오고 있으며 최근 다시 플라스틱** 재활용의 중요성이 부각되어 다양한 회사와 연구소에서 선별기술에 대한 연구에 박차를 가하고 있는 추세이다.

에너지 캡스톤 디자인 (폐기물 자원 순환)

4.Reference

A review on pyrolysis of plastic wastes Shafferina Dayana Anuar Sharuddin, Faisal Abnisa ⇑, Wan Mohd Ashri Wan Daud, Mohamed Kheireddine Aroua

김홍경,「폐플라스틱의 종류별 열분해 생성물 특성 분석」,『심포지움 2019년 1호』,한국폐기물자원순환학회, 2019, p205-220

김홍경,「폐플라스틱을 이용한 회분식 열분해 공정 시 운전 조건에 따른 열분해 오일의 수율 영향 비교」,『한국폐기물자원순환학회지 2019년 vol36』, 한국폐기물자원순환학회, 2019, p361-367

Thank you.

