



페플라스틱 공급망 최적화: 경제성과 효율성 중심의 선별·재활용 공정 개선

Optimization of Plastic Waste Supply Chain: Improving Sorting and Recycling Processes with a Focus on Economic Efficiency and Effectiveness

유준재 교수님 2팀, 지도교수 유준재 교수(화학공학과)

김다현(2021340007) 정인준(2021340043)

1. 연구 목적

연구의 필요성

- 플라스틱 재활용 현황: 재활용률은 9%에 불과
- 환경 이슈 및 관련 정책: 플라스틱 자원순환 추진 과제
- 수자업에 의존하는 기존 플라스틱 분리배출 시스템 및 비효율성

연구 목표

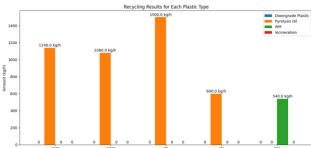
- Pyomo를 활용한 유형별 플라스틱 폐기물과 처리 방식에 따른 최적화 모델 제시
- 기존 연구의 한계 보완: feed 조건 및 재활용률 변화에 따른 공정 개선 방안 제시

| 구분 | 주요 내용 | 주요 추진 과제 |
|---------|--|-----------------------------|
| 연구의 필요성 | · 순환이슈가 심각해져서 환경·순환이슈가 중요해짐 · 순환이슈가 중요해짐에 따라 순환이슈가 중요해짐 | · 순환이슈가 중요해짐에 따라 순환이슈가 중요해짐 |
| 연구의 필요성 | · 순환이슈가 중요해짐에 따라 순환이슈가 중요해짐 · 순환이슈가 중요해짐에 따라 순환이슈가 중요해짐 | · 순환이슈가 중요해짐에 따라 순환이슈가 중요해짐 |
| 연구의 필요성 | · 순환이슈가 중요해짐에 따라 순환이슈가 중요해짐 · 순환이슈가 중요해짐에 따라 순환이슈가 중요해짐 | · 순환이슈가 중요해짐에 따라 순환이슈가 중요해짐 |

<자료1: 정부의 2024년도 플라스틱 자원순환 추진 과제>

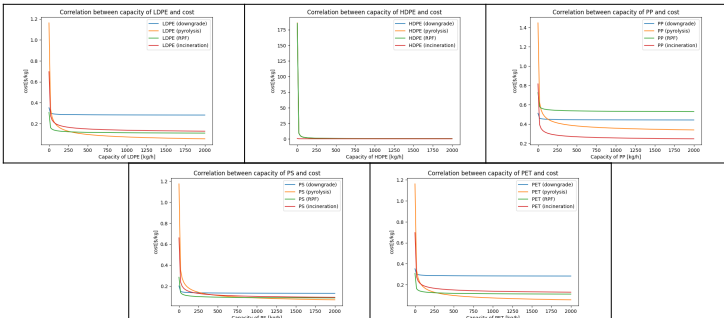
2. 선행 연구 및 보완점 분석

<Optimal sorting and recycling of plastic waste as a renewable energy resource considering economic feasibility and environmental pollution>



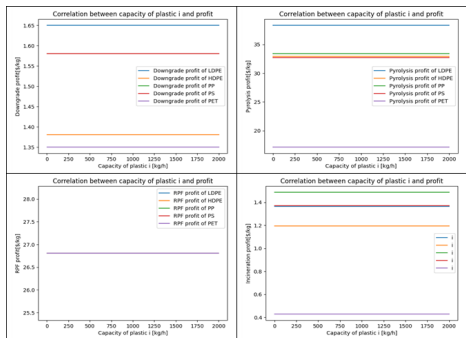
위 그래프는 각 플라스틱 유형이 어떤 방식으로 어떻게 처리되는지 보여줌. 선행 연구에서는 플라스틱 투입량이 고정되어 있었고, 효율 및 처리 방식이 제한된 조건에서 평가되어 일관된 경향을 보인다는 단점이 존재함.

1. Capacity vs. Cost 그래프 분석 결과



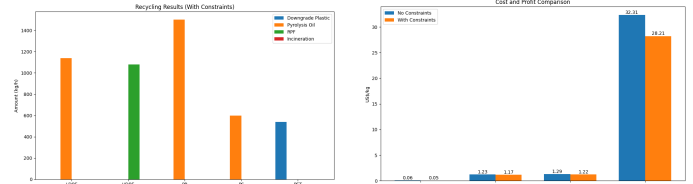
- ✓ Pyrolysis와 RPF 기술이 대부분의 플라스틱 유형에서 가장 경제적인 처리 기술임을 확인함.
- ✓ Incineration의 경우 플라스틱 투입량이 낮은 구간에서 높은 비용+투입량이 증가할수록 비용이 감소하지만 대량으로 처리 시 환경적 악영향이 존재함
- ✓ Downgrade의 경우 초기 비용이 낮고 안정적이지만 투입량 증가에 따른 비용 감소폭이 제한적이며 대규모 처리에 적합하지 않음

2. Capacity vs. Profit 그래프 분석 결과



- ✓ LDPE, HDPE, PP, PS는 Pyrolysis 공정에서 가장 높은 수익성을 가짐
 - ✓ PET의 경우 RPF 공정이 가장 높은 수익성을 가지는 것을 확인할 수 있음
 - ✓ Downgrade와 Incineration의 경우 대체적으로 낮은 수익을 보여 경쟁력이 떨어짐
- 이는 플라스틱 유형별 공정선택에 대한 경제적 타당성을 입증하는 결과임

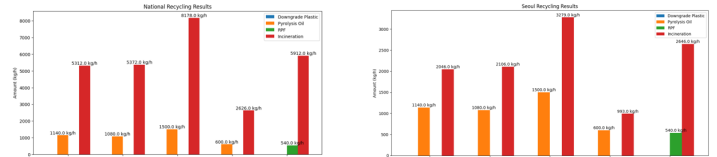
타당성 분석: 조건 제약 시 결과 비교



| 구분 | 제약 조건o | 제약 조건x(선행연구) |
|----------------|---|---------------------|
| 재활용 기술 선정 방식 | Downgrade: 최소 10% Pyrolysis: 최소 20% RPF: 최소 15% | 비율 효율성, 수익 최적화'를 위함 |
| Overall Profit | 2821\$/kg | 3231\$/kg |

제약조건 추가 시 비효율적인 방식: 제약 조건 없는 상태가 최적의 결과 도출함을 시사

3. Feed 조건별 공정 분석

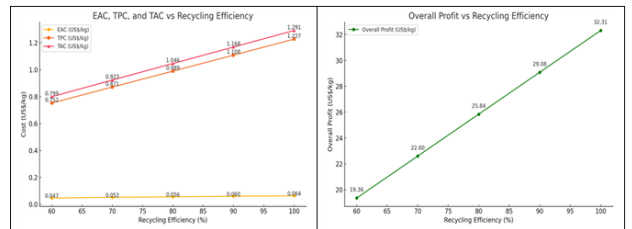


전국/서울의 플라스틱 폐기량에 기반하여 Feed의 양을 변화 + 각 플라스틱 비율을 LDPE/HDPE/PP/PS/PET을 30%/25%/20%/15%/10%로 설정하여 각 플라스틱이 처리된 양에 대한 분석을 진행함

- ✓ 전국/서울: Incineration이 가장 큰 비중을 차지(낮은 초기 투자 비용, 간단한 운영 때문)

서울의 경우 Pyrolysis와 RPF로 처리되는 비율이 전국보다 높음(지역적 인프라, 기술 차이 및 정책적 요인) 이때 Incineration이 가장 큰 비중을 차지하고 있음: 재활용 공정 최적화를 위해 기술 개선을 통한 제약 극복 및 비용 감소와 정책적 규제 등 개선 방향이 필수적임

4. 재활용률 제한 조건별 공정 분석



실제 재활용 공정에서 발생 가능한 처리 효율의 변화를 반영, + 처리 효율을 100%에서 60%까지 감소시키며 분석 (현실적인 재활용 공정에서 모든 투입량이 산출물로 변화되지 않고 처리 과정에서의 손실을 고려함)

- ✓ 연간 설비 비용(EAC), 총 비용(TAC), 총 수익(Overall profit) 등 경제적 지표의 변화를 분석 진행
- ✓ 처리 효율이 감소함에 따라 설비 가동률 감소나 원료 소비, 가동 시간이 감소하여 총 비용이 감소 but 처리 효율 감소에 따른 산출물의 총량이 줄어들며 발생하는 수익 손실이 비용 절감 효과를 초과하여 수익이 급격하게 감소함(특히 효율이 80% 이하로 감소할 경우 수익성 악화가 급격히 진행됨)
- ✓ 폐기물을 처리하는 과정에서 효율이 경제성을 결정하는 중요한 요소임을 확인, 처리 효율 개선을 위한 기술 개발이나 효율 감소 시 보완 전략을 마련하는 등 수익 최적화 전략 병행이 필수적임

5. 기대효과 및 발전가능성

기술적 발전 가능성

- Feed 및 재활용 처리 효율 조건 변경을 통한 최적화 모델 개발: 기술 고도화, 산업적 실현 가능성 향상 기여 가능
- 지속적인 기존 모델의 한계 보완, 플라스틱 선별 및 재활용 효율성 극대화

경제적, 환경적 기여

- 최적화 모델을 기반으로 한 공정에서의 비용 절감 + 수익 증대 동시 실현 가능
- Feed 및 재활용 처리 효율 조건 별 발생하는 비용 구조, 수익성 분석: 가격 경쟁력 강화
- 최적화 모델이 산업 환경, 생산 목표에 맞춘 공정 설계 지원: 공급 안정화 및 생산성 향상 가능