환경산업연관분석을 활용한 플라스틱 부문의 환경부하량 평가

- Estimation of Environmental Load Generations of the Plastic Sector Based on Environmentally Extended Input-Output Analysis

Mingyu Kim[a], Hana Kim[b, *]

[a] Civil and Environmental Engineering, KAIST, Daejeon, Republic of Korea; [b] School of Digital Humanities & Computational Social Science, KAIST, Daejeon, Republic of Korea

*Corresponding author (hanakim0729@kaist.ac.kr) Presenter (kmingyu12@kaist.ac.kr)

1. Introduction

- 플라스틱은 내구성 및 경량성 등 여러 장점으로 인해 전 세계적으로 널리 사용되어 왔으나, 생분해가 어렵기 때문에 해양 및 육상을 포함한 전반적인 환경생태계에 심각한 피해를 주고 있음(Park, 2018; Moon et al, 2019)
- 따라서 우리나라를 포함한 많은 국가에서 최근 플라스틱 저감 정책들을 수립 및 시행하였으나, 플라스틱은 제조업, 식품 및 의류 산업 등 다양한 산업 부문에 깊게 연관되어 있다는 특징 때문에 단순히 플라스틱 사용을 줄이는 것만으로는 폐플라스틱 발생을 줄이기가 어려운 실정임(Rochman et al., 2013)
- 또한, 플라스틱 생산 시 투입되는 석유로 인해 2050년까지 전 세계 온실가스 배출량 중 15%에 해당하는 온실가스가 배출될 것으로 예상됨(Liu et al., 2021)
- 본 연구는 각 산업부문의 전반적인 생산 공정에서 발생된 폐 플라스틱 발생량을 평가하고 플라스틱 부문의 직·간접적인 온실가스 배출량을 분석하여 향후 플라스틱으로 인한 국내 환경부하량 저감에 기여하고자 함

2. Data and Methodology

2.1. Data

- EEIO의 부문분류는 다음과 같음
  - ○ Total GHG emissions(376X376), Total plastic waste generation(44X44)
  - ○ '플라스틱 제품'은 '플라스틱 1차 제품', '건축용 플라스틱 제품', '포장용 플라스틱 제품', '운송장비 및 조립용 플라스틱 제품', '기타 플라스틱 제품'을 포함
- 다음의 자료를 활용해 EEIO를 구축
  - ○ 2019년 생산자가격 기본부문 투입산출표(BoK, 2021)
  - ○ 에너지 통계연보(KEEI, 2021)의 1차 및 최종 에너지원별 toe 단위 에너지 소비량
  - ○ 온실가스 인벤토리(GIR, 2021)의 CO_2, CH_4, N_2O 각각에 해당하는 온실가스 배출량 산정식 및 배출계수
  - ○ '전국 폐기물 발생 및 처리현황(MoE, 2020)'의 각 지역별 및 산업별 폐플라스틱 발생량

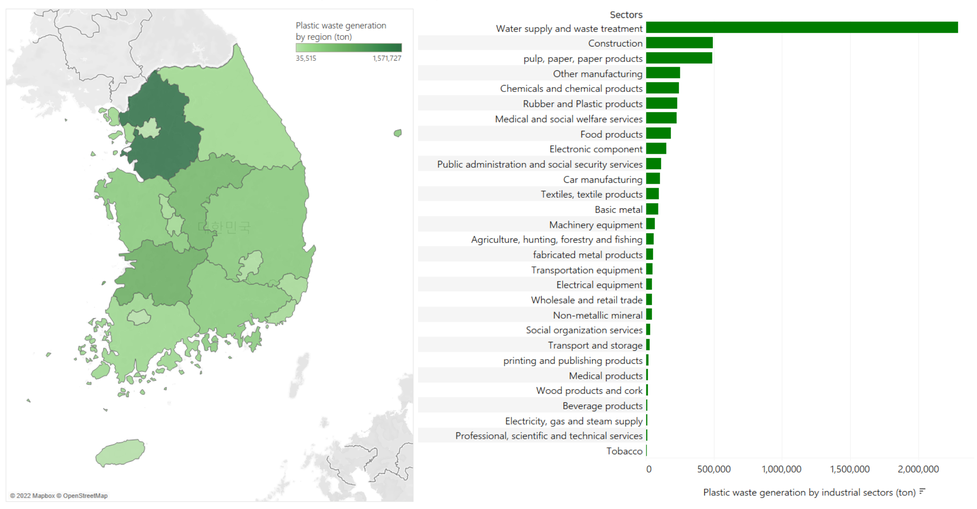


Figure 1. Direct plastic waste generation by region and industry sector

2.2. Methodology

- 환경산업연관분석(Environmental Extended Input-Output Analysis; EEIO)은 산업연관분석 방법을 응용한 분석 기법으로 특정 산업의 활동이 전체 경제에 미치는 환경부하량을 추정할 수 있음(kwon, 2020)
- 환경산업연관분석은 다음과 같은 식을 통해 수행됨(Miller & Blair, 2009)

$$E = b(I-A)^{-1}f$$

E = Total environmental load generation
b = Direct environmental load generation
I = Identity matrix
A = Technology matrix derived from sectoral transactions
$(I-A)^{-1}$ = Leontief inverse matrix
f = The final demand

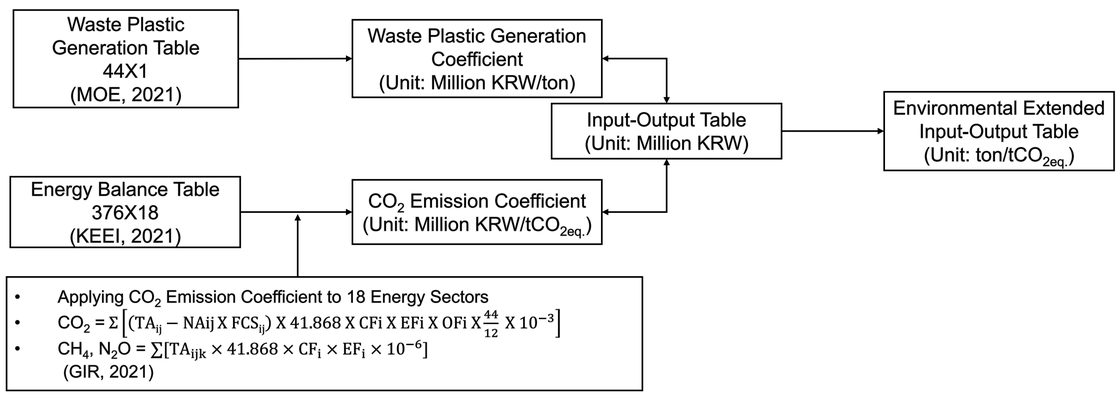


Figure 2. The overall process of the converting IO table to Environmental Extended IO table (Source: kim, 2015)

3. Result and Discussion

3.1. The plastic sector's GHG emissions

- 총 온실가스 배출량은 9768.82 $ktonCO_{2eq.}$으로, 이 중 직접적 온실가스 배출량(Scope 1)이 11.39%, 간접적 온실가스 배출량(scope 2, 3)이 88.61%를 차지
- '플라스틱 제품' 하위 부문들의 Scope 1 배출량은 8.91~13.74%(평균 12.98%), Scope 2 배출량은 49.87~67.67%(평균 56.21%), Scope 3 배출량은 12.64~34.34% (평균 30.82%)로 구성됨
- '플라스틱 제품' 부문 중 온실가스 배출 계수($kgCO_{2eq.}$/million KRW)는 'Primary Plastic Products(60.36)', 'Clocks(53.17)', 'Bags and Handbags(21.86)'와 같은 상대적으로 노동집약인 산업에서 높게 나타났음

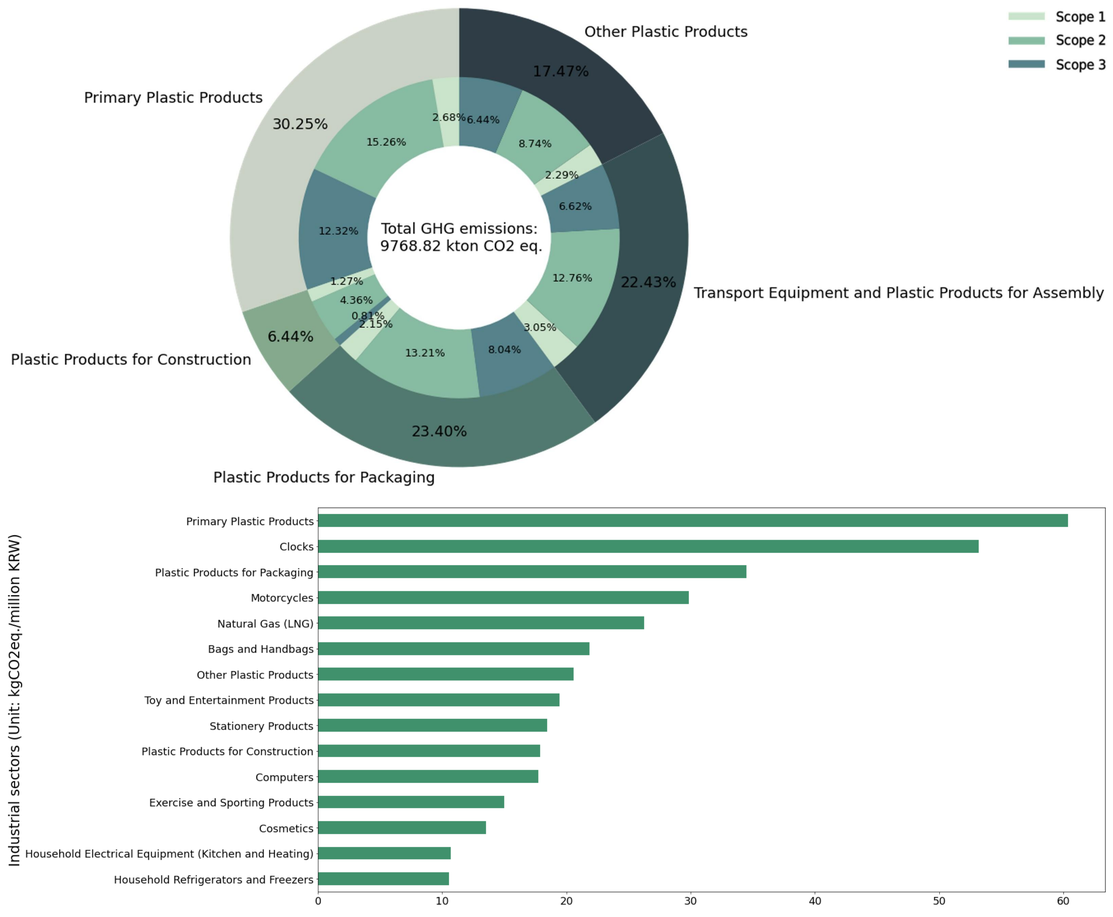


Figure 3. Total GHG emissions and emission intensity(Up to 15) in the plastic sector

3.2. Plastic waste generation by sector

- 총 폐플라스틱 발생량은 8,041kton이며, 이 중 직접적 폐플라스틱 발생량은 69.22%, 간접적 폐플라스틱 발생량은 30.78%를 차지
- 부문별 총 폐플라스틱 발생 계수(kg/million KRW)는 'Water supply and waste treatment(126.57)', 'Other manufacturing(41.01)', 'Mining(34.776)'에서 높았으며, 간접적 폐플라스틱 발생 계수가 직접적 폐플라스틱 발생 계수보다 높은 산업 부문은 'Mining(57.34 times)', 'leather and footwear(1.95 times)', 'Precision instrument(1.06 times)'이었음
- 최종수요별, 국내 폐플라스틱 발생에 대한 기여를 살펴보면, 'Consumption(2,580kton, 46.36%)', 'Investment(1,281kton, 23.02%)', 'Exports(1,704kton, 30.62%)'로 나왔음
- 국산 제품 생산의 폐플라스틱 발생 기여도(kg/million KRW)는 'Water supply and waste treatment(57.25, 12.70, 25.08)', 'Other manufacturing(8.95, 6.68, 6.61), 'Pulp, paper, paper products (7.49, 3.80, 6.79)'와 같은 산업부문에서 높은 수치를 기록하였음(Consumption, Investment, Export 순)

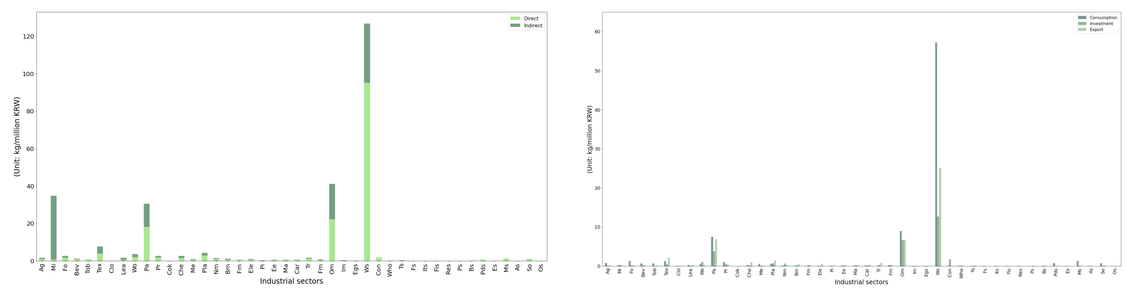


Figure 4. Total plastic waste generation intensity by supply and demand perspective

4. Conclusion

- 이번 연구는 환경산업연관분석을 활용하여 국내 플라스틱 산업의 공급망에서 발생한 직·간접적인 온실가스 배출량 및 폐플라스틱 발생량을 분석하였으며 의의는 다음과 같음

1. 2019년 기준 환경산업연관표 작성을 통해 플라스틱 부문을 포함한 다양한 산업부문들의 직·간접적인 온실가스 배출량을 계산하였으며, 특히 간과하기 쉬운 간접적 온실가스 배출량인 scope 2, 3 배출량을 산정하여 향후 산업부문 별 온실가스 배출 저감 정책 수립에 기여할 것임
2. 플라스틱 부문에 대한 온실가스 배출이 대부분 Scope 2, 3부문에서 발생하므로(8649.83 $ktonCO_{2eq.}$) 플라스틱 부문의 온실가스 배출 저감을 위해 플라스틱 생산의 절감뿐만 아니라 플라스틱 생산에 투입되는 전력의 신재생 에너지화, 효율적인 공정 도입을 통한 공급망에서의 탄소 배출 절감 등의 방법을 통한 간접적 탄소 배출 절감의 필요성 또한 확인
3. 플라스틱 부문에 대한 온실가스 배출 계수의 경우 'Primary Plastic Products', 'Clocks', 'Bags and Handbags' 등과 같은 노동집약적 산업 부문에서 높게 형성되었으며, 이는 향후 온실가스 저감 정책 강화에 따라 플라스틱 제품 산업에서 특히 해당 산업의 고용에 악영향을 미칠 것으로 예상됨
4. 직접적인 폐플라스틱 절감을 위해 'Water supply and waste treatment', 'Other manufacturing', ' Pulp, paper, paper production'과 같은 산업부문의 소비 감소가 시급하며, 'Mining' 부문의 수요 감소가 간접적인 폐플라스틱 절감에 크게 기여할 것으로 예상됨

5. Reference

- 문성민, 전소희, 엄태식, & 심봉섭, 2019, 미세플라스틱 문제 해결을 위한 친환경소재 연구동향. 공업화학전망, 22(2), 25-43.
- 박지혜, 2018, 미세플라스틱 오염현황 및 주요 국가의 관리방안과 시사점. 저널 물 정책· 경제, 31, 77-88.
- Lee, D., Kim, J., & Park, H. S., 2022, Characterization of industrial hazardous waste generation in South Korea using input-output approach. Resources, Conservation and Recycling, 183, 106365.
- Miller, R. E., & Blair, P. D., 『Input-output analysis: foundations and extensions.』, Cambridge university press., 2009, 34-41
- Yang, Y., Park, Y., Smith, T. M., Kim, T., & Park, H. S., 2022, High-Resolution Environmentally Extended Input-Output Model to Assess the Greenhouse Gas Impact of Electronics in South Korea. Environmental Science & Technology, 56(4), 2107-2114.
- Kim, H. (2015). The comprehensive equity implications of a carbon pricing policy in south Korea: based on environmentally extended input output analysis together with household expenditure data. Journal of Environmental Policy, 14(2), 101-131.
- Liu, S., Kots, P. A., Vance, B. C., Danielson, A., & Vlachos, D. G. (2021). Plastic waste to fuels by hydrocracking at mild conditions. Science Advances, 7(17), eabf8283.
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., ... & Thompson, R. C. (2013). Classify plastic waste as hazardous. Nature, 494(7436), 169-171.

※"이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018R1A5A7025409)."

KAIST



Mingyu Kim
Master's Degree
Civil and Environmental Engineering
kmingyu12@kaist.ac.kr