

재활용 원료 물질 적용이 자동차용 PP 범퍼의 물질 순환성 및 탄소발자국

저감에 미치는 영향 연구

이 소 영¹⁾·정 환 수²⁾·박 수 한^{*3)}

건국대학교 대학원 기계로봇자동차공학부 미래모빌리티융합전공¹⁾·국립환경과학원 모빌리티환경연구센터²⁾·건국대학교 기계로봇자동차공학부^{3*)}

Study on Effects of Recycled Content on Material Circularity and Carbon Footprint Reduction for Automotive PP Bumpers

Soyoung Lee¹⁾ · Hwansoo Chong²⁾ · Suhan Park^{*3)}

*Department of Mechanical, Robotics, and Automotive Engineering, Convergence major of future mobility Engineering, Graduate School of Konkuk University¹⁾, Mobility Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research²⁾, School of Mechanical, Robotics, and Automotive Engineering, Konkuk University^{*3)}*

Key words : Automotive PP Bumper, Recycled Content, Life Cycle Assessment (LCA), Material Circularity (MCI), Environmental Impacts

교신저자, E-mail: suhanpark@konkuk.ac.kr

본 연구는 자동차용 PP (Polypropylene) 범퍼 제조 시 재활용 원료 물질 적용이 물질 순환성 향상 및 탄소발자국 저감에 미치는 영향을 전과정 관점에서 정량적으로 평가하기 위해 수행되었다. 최근 자동차 산업에서는 탄소 중립 달성과 자원순환성 향상을 위한 요구가 증가함에 따라 플라스틱 부품에 대한 재활용 원료 적용 확대가 중요한 과제로 부각되고 있다. 이에 본 연구에서는 대표적인 자동차 외장 부품인 PP 범퍼를 대상으로, 재활용 원료 물질 투입 비율 변화에 따른 물질 자원 순환성 및 환경영향 변화를 분석하였다.

분석을 위한 기능단위는 자동차용 PP 범퍼 1쌍으로 설정하였으며, 시스템 경계는 원료 채취 및 생산 단계부터 수명 종료 단계까지로 정의하였다. 다만 범퍼의 사용 단계에서 발생하는 직접적인 환경영향은 상대적으로 제한적이라는 점을 고려하여 사용 단계는 시스템 경계에서 제외하였다. 재활용 원료 투입비율에 따른 영향을 분석하기 위해 재활용 원료 함량을 단계적으로 변화시킨 시나리오(예: 25%, 50%, 95%)를 설정하여 비교 분석을 수행하였다. 환경영향 평가는 ILCD Midpoint+를 적용하여 다양한 환경영향 범주에 대한 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 수행하였다. 또한 재활용 원료 사용에 따른 환경부하 배분 방식의 차이를 분석하기 위해 재활용 할당 방법으로 Cut-off 방식과 Circular Footprint Formula(CFF)를 적용하여 결과를 비교하였다. 더불어 운송 거리 설정에 따른 분석 결과의 불확실성을 고려하기 위해 One-at-a-time(OAT) 방식의 민감도 분석을 수행하였다. 또한 재활용 원료 투입 비율 변화에 따른 자원 순환성 수준을 정량적으로 평가하기 위해 Material Circularity Indicator(MCI, 물질 순환성 지표)를 적용하였다. 이를 통해 재활용 원료 활용 확대가 자원 순환 구조 형성에 미치는 영향을 평가하고, 환경영향 결과와의 연관성을 함께 분석하였다.

분석 결과, 재활용 원료 투입비율이 증가할수록 MCI는 전반적으로 향상되는 경향을 보였으며, 대부분의 환경영향 범주에서도 환경부하가 감소하는 것으로 나타났다. 특히 재활용 원료 함량이 높은 시나리오에서 원료 생산 단계의 환경부하가 크게 감소하는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 자동차 플라스틱 부품에서 재활용 원료 활용을 확대할 경우 자원순환성 제고와 동시에 환경영향 저감 효과를 기대할 수 있음을 시사한다. 따라서 본 연구는 자동차용 플라스틱 부품에 대한 재활용 원료 적용 확대의 환경적 효과를 전과정 관점에서 정량적으로 제시함으로써, 향후 자동차 부품 설계 및 자원순환 정책 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

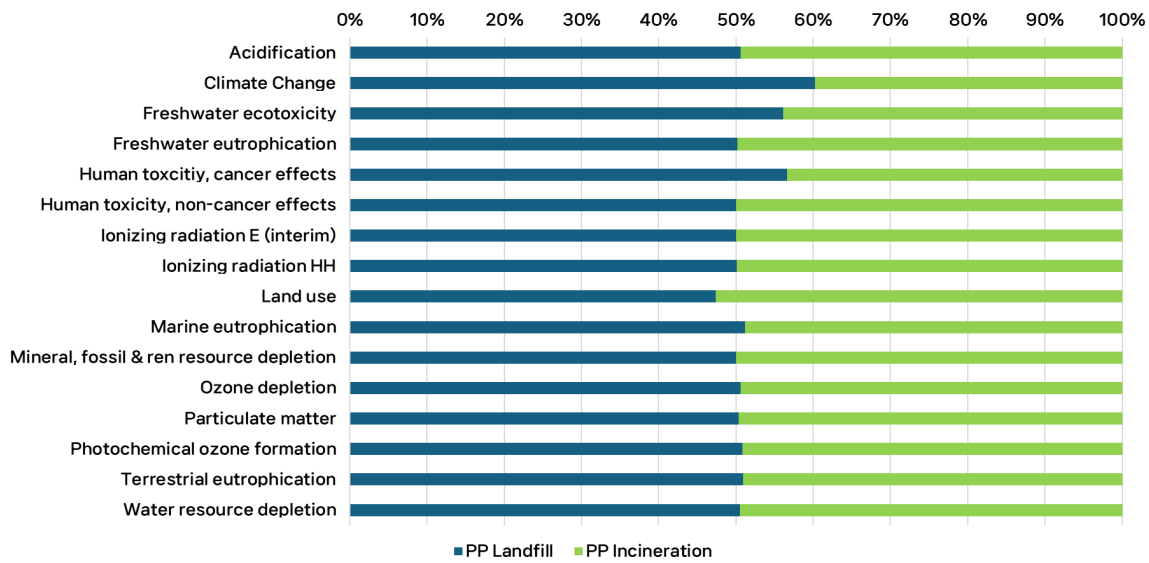


Fig. 1 Comparison of environmental impact contributions for polypropylene (PP) waste treatment scenarios (Landfill & Incineration) across multiple impact categories.

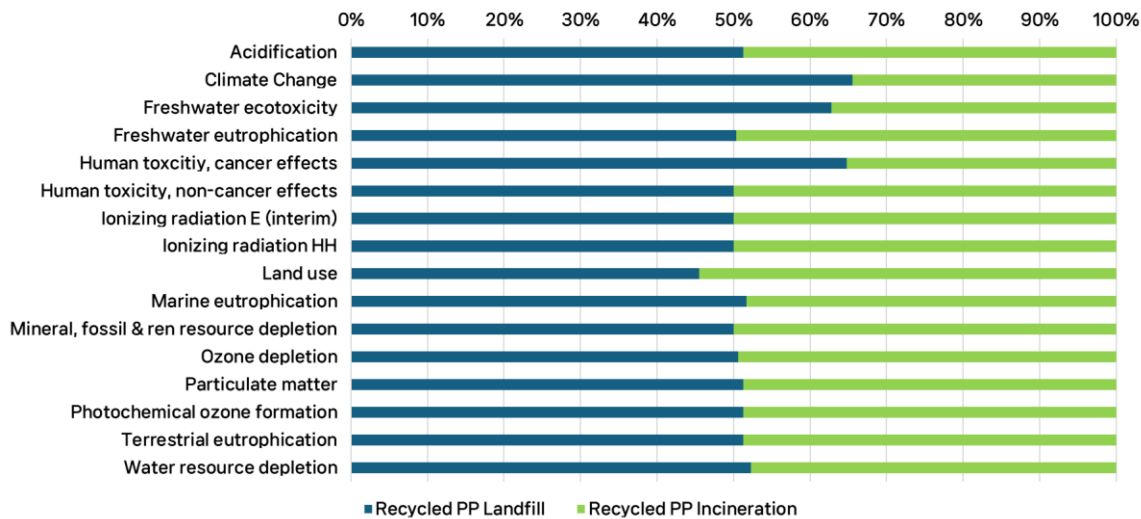


Fig. 2 Comparison of environmental impact contributions for recycled polypropylene (rPP) waste treatment scenarios (Landfill & Incineration) across multiple impact categories.

Acknowledgement

본 연구는 한국연구재단 중견후속연구지원사업(RS-2023-00208502)과 국립환경과학원 모빌리티환경연구센터 연구용역사업(NIER-2025-04-02-053, NIER-04-02-058)의 지원을 받아 수행되었습니다. 지원 기관에 감사드립니다.