

고분자로 감싼 효소를 이용한 폴리에스터의 완전한 탈중합화

김도현 · 유자형 | 울산과학기술원 화학과 (E-mail: jhryu@unist.ac.kr)

환경 문제에 대한 관심이 점점 증가하는 가운데, 생-분해성 플라스틱 개발에 대한 사회적 요구 및 필요성이 크게 대두되고 있다. 본 연구에서는 생-분해성 플라스틱을 빠른 시간 내에 미세-플라스틱 형성 없이 생-분해할 수 있는 시스템을 개발하였다.

플라스틱의 생-분해를 위해 미세 효소 입자를 이용한 연구들이 보고되고 있지만, 해로운 미세-플라스틱을 생성하거나 수 개월에서부터 길게는 수 년까지의 오랜 분해 시간이 요구된다는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 심층 활성 자리(deep active site)를 가진 나노 크기의 효소를 분산시킴으로써 결정성 플라스틱을 사슬 끝으로부터 탈중합화(chain-end-mediated processive depolymerization)를 통해 생-분해하는 연구를 보고하였다. 공업적, 상업적으로 자주 이용되는 생-분해성 플라스틱인 폴리에스터(polycaprolactone, PCL)와 폴리락산(poly(lactic acid, PLA)은 분해를 위해서는 높은 온도가 요구되지만, 본 연구에서 제안된 효소는 40 °C~60 °C 의 온도로 활성화 될 수 있으며, 중합체를 수 시간에서 수 일 내에 삼량체까지 분해할 수 있다. 본 연구에서는 Methacrylic methylene ester의 혼합물로 구성되어진 고분자를 효소 보호제(random heteropolymers; RHPs)를 이

용하여 라파아제(lipase 또는 proteinase K) 분해 효소를 감싸, 고온 또는 잘게 부수진 플라스틱으로부터 내부의 효소를 보호할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한 RHPs로 보호된 효소를 nanoparticle에 주입시켜 RHPs-enzyme-nanocluster를 만들었으며, 2 wt%로 플라스틱에 주입하였다. 본 연구에서 RHPs-lipase-nanocluster가 단 30시간 만에 PLA를 98%까지 분해함을 확인하였으며, 생성되어진 부산물인 lactic acid는 배수구로 씻겨 내려가거나 정원 토양에 첨가되는 것을 확인하였다. 대부분의 플라스틱은 결정체와 무정형으로 구성되어져 있는데, 전형적인 생-분해성 플라스틱에 사용되는 효소들은 무정형 부분을 분해하지만 결정성 부분은 분해할 수 없다는 한계로 분해 시 미세-플라스틱을 형성할 수 있다. 하지만 본 연구의 RHPs-enzyme-nanocluster는 나노 크기에서 효소를 분산시켰기 때문에, 결정성 부분에 효과적으로 접근할 수 있고 중합체를 완전히 분리하여 미세 플라스틱의 형성을 억제할 수 있다. 따라서 해당 연구는 빠른 시간내에 미세-플라스틱을 생성하지 않으며 플라스틱을 생-분해할 수 있는, 기존에 보고되지 않은 연구로서 진보된 생-분해성 플라스틱 개발에 이바지할 것으로 기대된다.

본 연구결과는 *Nature*에 “Near-complete depolymerization of polyesters with nano-dispersed enzymes”의 제목으로 2021년 4월에 게재되었다 (DOI: 10.1038/s41586-021-03408-3).

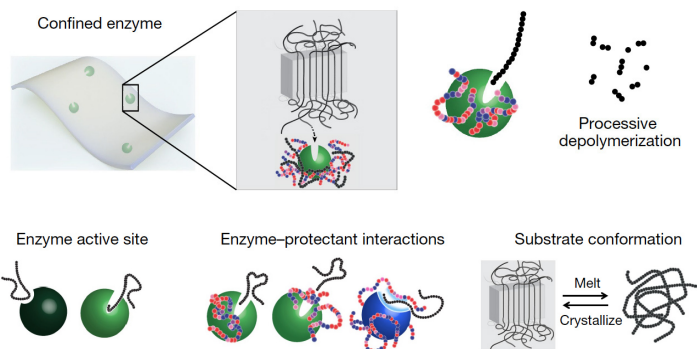


그림 1. 생-분해성 플라스틱을 분해할 수 있는 RHPs-enzyme-nanocluster.