

혐기성 소화 공정에서 바이오플라스틱 분해성 향상을 위한 전처리 및 동시소화 전략

이석연 | (재)FITI 시험연구원 (E-mail: dltjrdjs@fiti.re.kr)

바이오플라스틱은 순환경제 실현을 위한 대안 소재로 주목받고 있으나, 혐기성 소화(anaerobic digestion, AD) 조건에서는 고분자 구조 특성에 따라 분해성이 크게 제한되는 경우가 많다. 특히 PLA, PBAT, PBS 등은 메조필릭 조건에서 낮은 메탄 수율과 긴 지연기를 보이며, 안정적인 에너지 회수가 어렵다. 최근 연구에서는 물리적·화학적 전처리 및 유기성 폐기물과의 동시소화(co-digestion)를 통해 이러한 한계를 극복하고자 하는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 본 토픽에서는 주요 바이오플라스틱의 혐기성 분해 특성과 이를 개선하기 위한 전처리 및 공소화 전략을 종합적으로 고찰하고, 실질적인 폐기물 관리 적용 가능성을 논의한다.

혐 기성 소화 공정에서 바이오플라스틱의 분해 거동은 단순한 생분해성 여부가 아니라, 미생물 군집이 실제로 해당 고분자를 기질로 인식하고 이용할 수 있는지 여부, 즉 '활성화 가능성'에 의해 좌우된다. 대부분의 바이오플라스틱은 높은 결정성, 소수성 표면 및 방향족 구조로 인해 혐기성 조건에서 미생물 접근성이 낮아, 장기간 공정 내에 비활성 물질로 잔존하는 경향을 보인다.

최근 연구결과에 따르면, 열 및 수열 전처리는 바이오플라스틱의 분자 사슬 절단, 결정성 저하, 친수성 증가를 유도하여 가수분해 단계에서의 접근성을 크게 향상시킨다. 특히 PLA와 PHA 계열은 120-150 °C 조건의 수열 전처리 후 용해도가 급격히 증가하며, 가용성 저분자 물질로 전환되어 혐기성 미생물에 의해 빠르게 이용 가능한 활성

상태로 변화하는 것이 확인되었다. 기존에 거의 메탄 생성에 기여하지 못하던 PBS와 PBAT 역시 강한 수열 전처리 후에는 제한적이거나 메탄 생성에 참여하는 활성화 효과가 관찰되었다.

동시소화는 이러한 전처리 기반 활성화를 공정적으로 보완하는 핵심 전략으로 작용한다. 음식물류 폐기물이나 하수슬러지와 동시소화는 탄질비(C/N ratio) 개선과 함께 미생물 군집의 다양성을 증가시켜, 전처리로 활성화된 바이오플라스틱 유래 저분자 물질의 대사를 촉진한다. 특히 단독 소화 조건에서는 축적되기 쉬운 유기산이나 중간 분해산물이 동시소화 조건에서는 안정적으로 소비되며, 공정 저해 없이 메탄 생성 단계로 전환되는 효과가 보고되고 있다.

이러한 연구결과는 바이오플라스틱을 단순히 '생분해성 소재'로 분류하는 기존 접근에서 벗어나, 혐기성 소화 공정 내에서 활성화 여부를 기준으로 평가해야 함을 시사한다. 즉, 전처리와 동시소화는 바이오플라스틱을 비활성 고분자 상태에서 미생물 이용 가능한 활성 기질로 전환하는 핵심 수단이며, 이는 향후 바이오플라스틱의 최종 처리 전략 및 관련 시험·인증 기준 수립에도 중요한 기술적 근거가 될 수 있다.

본 연구결과는 *Polymers*에 “Enhancing Bioplastic Degradation in Anaerobic Digestion: A Review of Pretreatment and Co-Digestion Strategies”의 제목으로 2025년 6월에 게재되었다 (DOI: 10.3390/polym17131756).

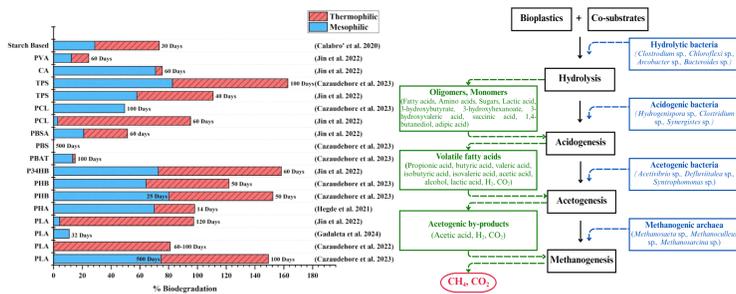


그림 1. (좌) 중온(mesophilic) 및 고온(thermophilic) 혐기성 소화 조건에서 바이오플라스틱(PLA, PHB, PBAT, PBS, PCL, 전분계 등)의 생분해도 비교 그래프. (우) 바이오플라스틱 및 공기질(co-substrates)의 혐기성 소화 과정에서 가수분해, 산생성, 아세트산 생성 및 메탄 생성 단계로 이어지는 미생물학적 분해 메커니즘 모식도.