

Poly(β -hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)의 생분해도에 미치는 hydroxyvalerate 함량의 영향

임설희, 조정숙, 류희옥^{1,2}, 최희식²

이화여자대학교 과학기술대학원 지하환경연구실, ¹숭실대학교 환경·화학공학과, ² 바이오세인트(주)
전화 (02)3277-3519, FAX (02)3277-3275

Abstract

Biodegradability of the poly(β -hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) [PHB/V] containing 0, 10 and 15mol% hydroxyvalerate [HV] was studied. Biodegradability of PHB/V was evaluated at 30°C for 58 days and 55°C for 33 days by monitoring the time-dependent changes in weight loss(erosion) of aerobic conditions in a temperature-controlled microcosms containing the earthworm cast (30°C) and compost (55°C). It was found that PHB/V biodegradability occurred with increasing HV monomer concentration from 0 mol% to 15 mol%.

Key words : Biodegradation, Poly(β -hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)
Hydroxyvalerate content, Earthworm cast, Compost

1. 서론

석유 화학 공업의 발달과 함께 발전한 합성 플라스틱은 가공성, 경제성 등이 뛰어나 금속, 요업 재료 등을 대체시켜 나가고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 플라스틱 생산품의 대부분이 단기간에 사용되어 이들의 폐기물은 해양환경이나 토양환경에 축적되고 분해되는데 수 백년이 걸리므로, 합성 플라스틱을 대체할 수 있는 생분해성 플라스틱을 사용할 필요성이 대두되고 있다. 분해성 플라스틱이란 일반적으로 미생물이나 빛에 의해 썩거나 분해되어 CO₂, H₂O 또는 carboxylic acids와 같은 화합물로 되는 것을 말한다. 분해성 플라스틱 중에서 현재 산업적으로 생산되어 활용되고 있는 것으로는 extracellular물질인 pullulan, xanthan, alginate 그리고 intracellular물질인 PHA(polyhydroxyalkanoates)를 들 수 있다. 이 중 분해성 고분자로서 응용에 가장 많이 주목받고 있는 것은 PHA이다. PHA는 많은 종류의 세균들이 탄소원이 다량 존재하는 조건에서 다른 영양소가 부족할 때 체내에 합성 축적하는 polyester 구조의 탄소 및 에너지의 저장 물질이다(Doi, 1990). 또한, 생합성 물질인 PHA는 자연계에서 미생물 토양에 의해 완전히 분해되므로 환경오염을 저감하는 환경친화물질이다(Madigan *et al.*, 1997). 토양에서 생분해성 플라스틱의

분해속도에 영향을 미치는 주요한 요인은 내적 요인으로서 플라스틱의 두께, 이차 구조물의 특성 등과, 외적 요인으로서 분해 미생물의 활성도, 수분, 온도, pH 등이 있다(Madigan *et al.*, 1997). 본 연구에서는 microcosm을 이용하여 HV mol%가 PHB/V 분해속도에 미치는 영향을 규명하고, PHB/V 분해과정에서 토양의 화학적 특성을 조사하였다.

2. 연구방법

시료준비

본 연구에서 사용한 생분해성 플라스틱은 glucose를 기질로 하여 *Ralstonia eutropha*를 이용해 생산한 PHB/V로 HV 함량이 0 mol%(sample A), 10mol%(sample B) 및 15 mol%(sample C)인 3종류 시료를 사용하였다. 각 PHB/V 시료를 성형하여 두께가 0.55~0.67mm의 film으로 만들었다. PHB/V films은 1×1cm으로 절단하여 구멍 크기 0.02mm인 망사 (3×3cm)에 넣어 PHB/V 분해 주머니를 만들었다.

Microcosm

생분해성 플라스틱의 분해실험은 tray에 50g의 지렁이 분변토 혹은 퇴비를 깔고 PHB/V 분해주머니를 넣은 뒤 40g의 토양을 넣었다. 지렁이 분변토는 30℃, 퇴비는 55℃에서 배양하였고, 수분 함량이 50~60%가 되도록 수분을 공급하였다.

PHB/V 생분해도 평가 및 microcosm의 특성 변화 조사

지렁이 분변토 혹은 퇴비 microcosm에서의 PHB/V 생분해도를 평가하기 위하여 배양시간 별로 PHB/V 분해 주머니를 회수하여 PHB/V films을 물로 씻은 후 60℃에서 5시간 건조한 후 무게를 측정하였다. PHB/V film이 분해되는 동안의 microcosm의 특성변화를 조사하기 위해서, pH, 전기전도도, 유기물 함량, 탈수소 효소 활성 및 미생물수(일반세균, 방선균, 곰팡이)를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

PHB/V 생분해도 비교

지렁이 분변토 및 퇴비 microcosm에서 PHB/V film의 생분해도를 조사한 결과를 Fig. 1에 도시하였다. 30℃ 지렁이 분변토에서는 배양 58일후에 PHB/V film이 80% 이상 분해되었다. 이에 비해 55℃ 퇴비에서는 PHB/V film이 거의 대부분이 분해되는데 약 33일이 소요되었다. 토양에서 PHB/V 분해속도에 영향을 주는 가장 중요한 요인이 온도인데, PHB/V는 세포외 효소인 depolymerase에 의하여 주로 분해된다. 곰팡이와 세균이 분비하는 depolymerase는 50℃~70℃까지의 온도 범위에서 최고의 활성을 나타낸다고 보고되고 있다(Kasuya *et al.*, 1994, Oda *et al.*, 1995). 본 실험

에서도 30°C보다는 55°C에서 PHB/V의 분해가 빠르게 진행되어, PHB/V 분해는 비교적 고온에서 급격히 촉진되는 것으로 판단되었다.

HV 함량이 0, 10, 15 mol%인 3종류의 PHB/V film의 생분해도를 비교한 결과, HV 함량이 가장 높은 15 mol% PHB/V 시료의 분해도가 가장 좋았다. HV 함량에 대한 PHB/V 분해에 대한 의존성은 morphology의 차이에 기인하다고 볼 수 있다. PHB/V는 main component의 crystalline lattice에 결정화되고 그 속에 minor component의 상당량은 lattice defect로서 형성된다. 그러므로 PHB/V의 lattice defect의 수는 HV 함량이 높을수록 증가한다. 그 결과 crystalline phase의 fragility는 HV 함량에 따라 증가하고 PHB/V의 분해를 가속시키는 것으로 알려져 있다 (Fujiwara *et al.*, 1999).

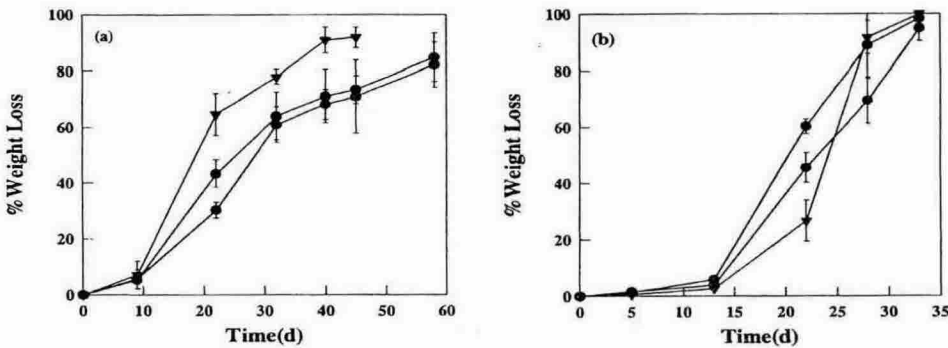


Fig. 1 Changes in %weight loss of PHB/V.

(a) earthworm cast microcosm(30°C) (b) compost microcosm(55°C)

●PHB ○PHB/V(10mol% HV) ▼PHB/V(15mol% HV)

PHB/V 분해에 따른 microcosm의 특성 변화

지렁이 분변토 microcosm에서 PHB/V film을 분해시켰을 때, 배양 시간이 경과함에 따라 분변토의 pH는 6.2에서 4.5로 저하되었다. 그러나 퇴비 microcosm의 경우 배양 시간이 경과함에 따라 pH는 7.8에서 9.0으로 상승하였다. 각 microcosm에서 분변토와 퇴비의 전기전도도는 배양시간에 따라 감소하였다. 각 microcosm에서 PHB/V film이 분해되는 동안의 분변토와 퇴비의 미생물 활성 변화를 탈수소 효소 활성으로 조사하였다(Fig. 2). 각각의 경우, 탈수소 효소 활성은 증가하다가 감소하는 경향이 관찰되었다.

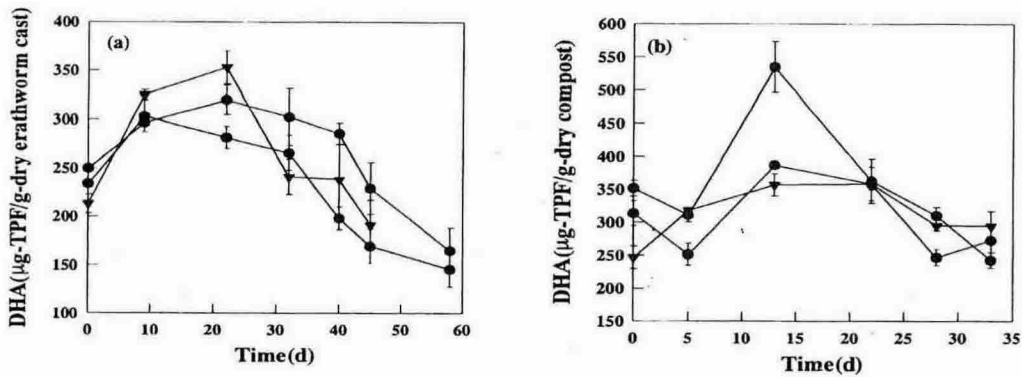


Fig. 2 Changes in DHA(dehydrogenase activity) of PHB/V.
 (a) earthworm cast microcosm(30°C) (b) compost microcosm(55°C)
 ●PHB ○PHB/V(10mol% HV) ▼PHB/V(15mol% HV)

인용문헌

- Doi, Y. 1990. Biodegradation of biosynthetic and chemosynthetic polyhydroxy alkananoates. *Microbial Polyester*, pp. 39-51.
- Fujiwara, M., Kasuya, K. Doi Y., Inoue, Y. 1999. Effect of monomer composition and composition distribution on enzymatic degradation of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate). *Micromol. Chem. Phys*, 5: 977-982.
- Kasuya, K., Doi, Y., and Yao, T. 1994. Enzymatic degradation of poly((R)-3-hydroxybutyrate) by *Comamona testosteroni*-ATSU of soil bacterium. *Polymer Degradation and Stability*, 45: 376-386.
- Mardigan, M.T., Martinko, J.M., and Parker, J. 1997. *Biology of microorganisms*. p. 986
- Oda, Y., Asari, H., Urakami, T., and Tonomura, K. 1995. Microbial degradation of poly(3-hydroxybutyrate) and polycaprolactone by filamentous fungi. *Journal of Fermentation and Bioengineering* 80: 265-269.