

## 토양 매립 시험에서 Poly(butylene succinate-co-butylene adipate)의 생분해 특성

김 말 남\*

상명대학교 그린생명과학과

### Biodegradation Characteristics of Poly(butylene succinate-co-butylene adipate) during Soil Burial Test

Mal Nam Kim\*

Department of Green Life Science, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea

**Abstract** – Biodegradation behavior of poly(butylene succinate-co-butylene adipate) (PBSA) was examined when PBSA was buried in the natural soil and the soil inoculated with *Burkholderia cepacia* after sterilization. After 80 days of the soil burial test at room temperature, the PBSA film buried in the natural soil lost 34.0% of its initial weight, while the same film lost 59.2% of its initial weight when buried in the sterile soil inoculated with *B. cepacia*. The optical and SEM observations of the surface morphology of the PBSA film also indicated that the surface erosion and rupture took place faster when the film was buried in the sterile soil inoculated with *B. cepacia* compared to the film buried in the natural soil. Viable cell number in the natural soil and that the sterile soil inoculated with *B. cepacia* increased by a factor of 6~7 and 10~14, respectively as compared to the initial viable cell number.

**Key words** : soil, burial test, PBSA, biodegradation, *Burkholderia cepacia*

## 서 론

플라스틱으로 대표되는 합성고분자 재료는 편리하고 쾌적한 생활을 유지하는 중요한 재료로서 20C 초부터 널리 사용되어 왔다. 그러나 고성능과 장기 안정성을 목적으로 개발된 플라스틱은 사용 후 자연환경에서 오랜 기간 동안 분해되지 않고 잔존하여 폐플라스틱의 처리가 중요한 사회 문제로 대두되고 있다(Tharanathan *et al.* 2003; Chatterjee *et al.* 2010). 따라서 토양과 같은 자연환

경에서 분해가 가능하도록 플라스틱에 분해성을 부여하는 연구에 대한 필요성이 대두되었으며, 생분해성 플라스틱의 개발과 플라스틱 분해에 관한 연구는 폐플라스틱의 재활용과 함께 환경보호 측면에서 상호 보완적 역할을 할 수 있다(Nikolic *et al.* 2001).

생분해성 플라스틱은 특정 환경조건에서 세균, 진균 및 조류와 같은 미생물의 자발적 분해 작용에 의해 분해가 가능한 플라스틱으로(Davis 2003), 미생물에 의해 생합성되는 poly(hydroxyalkanoates)(PHA), 유기 합성 방법으로 제조되는 지방족 폴리에스테르인 polycaprolactone(PCL), poly(lactic acid)(PLA) 및 poly(butylene succinate-co-butylene adipate)(PBSA) 및 poly(vinyl alcohol)(PVA) 그리고

\* Corresponding author: Mal Nam Kim, Tel. 02-2287-5150, Fax. 02-2287-0070, E-mail. mnkim@smu.ac.kr

동·식물에서 유래한 천연 고분자인 cellulose, lignin, starch 및 chitin 등이 생분해성 플라스틱에 속한다.

PBSA는 1,4-butanediol과 succinic acid 및 adipic acid의 축중합으로 합성되며, 생산 단가가 비교적 낮고 기계적 물성이 polyolefin과 유사할 정도로 우수할 뿐만 아니라 (Tserki *et al.* 2006a), 훌륭한 가공성을 가져서 다양한 형태로의 성형이 가능하며, PBS에 비하여 생분해성이 높아 PBSA는 환경 친화적 생분해성 플라스틱으로서 그 사용 범위에 대한 발전 잠재력이 높다고 할 수 있다 (Zhao *et al.* 2005).

이러한 장점에도 불구하고 PBSA를 분해하는 미생물에 대한 연구는 그리 많이 이루어지지 않고 있으며, PBSA로 제조된 제품이 사용 후 토양환경에 폐기되었을 때의 분해 특성을 조사할 수 있는 토양 매립 시험에서의 PBSA 분해 특성 연구 역시 극소수 보고되고 있을 뿐이다.

Tserki *et al.* (2006a)은 succinic acid와 adipic acid의 mole 비율을 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60, 20/80 및 0/100으로 달리하여 제조한 PBSA, poly(butylene succinate) (PBS), poly(butylene adipate) (PBA)를 film으로 제작하여 토양에 5개월간 매립한 후 시료 표면의 변화를 SEM으로 관찰한 결과 PBS나 PBA에 비하여 보다 이들의 copolymer인 PBSA에서 더 분해가 빠르게 일어나는 것을 확인하였다.

Rizzarelli *et al.* (2004)은 PBA, poly(butylene succinate-co-butylene sebacate) (P(BS-co-BS)) 및 PBSA film을 30°C 압실에서 물을 포함한 perlite 속에 매립한 후 공기를 주입하면서 15일간 시료의 질량 변화를 측정할 결과, PBS에 비하여 공중합체인 P(BS-co-BS)와 PBSA에서 질량 감소가 더 많이 일어났다고 보고하였다.

플라스틱의 분해도 평가는 다양한 방법으로 수행되어 질 수 있는데 플라스틱 재료의 질량 감소, 인장 강도와 같은 플라스틱의 물성 변화를 측정하거나 플라스틱 표면의 형태 변화를 조사하는 방법과 분자량의 변화를 측정하는 것과 같이 물리적 특성의 변화를 측정하는 방법이 있다 (Sato *et al.* 2001). 그외 생물학적 측정 방법으로써 in vitro에서 효소 첨가에 의한 효소적 분해나 배양한 미생물에 의한 미생물적 분해 또는 토양 매립이나 수중 액침과 같은 실제 자연환경에 노출시켜 자연환경에 분포하는 미생물에 의한 생분해 방법 (Sudhakar *et al.* 2008; Corti *et al.* 2010) 등이 알려져 있다.

그 중 토양 매립 시험법은 폐기물 처리의 실제 조건과 유사하기 때문에 토양 속에 매립되는 폐플라스틱의 분해 정도를 예측하기 위해 전통적으로 사용되고 있는 방법이다.

토양은 생물의 생육에 필요한 영양원을 포함하고 있는

생명의 모체라 할 수 있다. 토양에는 유기물을 분해하는 방선균을 포함한 세균이나 진균과 같은 미생물이 서식하고 있으며, 이들의 활동이 식물의 생육과 자연계의 물질 순환에 큰 역할을 담당한다(서와 신 1997).

토양 속에 매립된 난분해성 폐플라스틱은 작물의 경작율과 토양의 배수성을 떨어뜨리고 수막현상을 일으켜 침출수의 범람을 초래하기도 한다. 생분해성 플라스틱 또한 폐기 후에 이를 분해하는 미생물이 토양에 존재하지 않는다면 난분해성 플라스틱과 마찬가지로 토양 속에서 분해되지 않고 남아서 토양 환경을 오염시키고 토양의 배수성 저하와 수막현상을 야기할 수 있다. 그러므로 플라스틱을 사용 후에 분해하기 위한 방법으로 이들 플라스틱에 대한 토양 매립 시험을 실시하여 토양 미생물에 의한 분해 특성을 조사하는 것이 필요하며 이러한 연구 결과는 폐플라스틱으로 오염된 토양 환경의 현장에서 플라스틱을 분해하고 제거하여 오염된 토양을 정화시킬 수 있는 생물복원 (bioremediation) 기술에도 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 경제성이 높으며 기계적 물성이 우수한 지방족 폴리에스테르 중 하나인 PBSA를 자연 토양에 매립하여 분해 거동을 조사하였으며 우리나라 토양에서 분리한(김 등 2007) PBSA 분해균 *B. cepacia*를 멸균 토양에 접종한 후 PBSA를 매립하였을 때 PBSA의 분해 거동을 조사하여 자연 토양에 매립한 경우와 상호 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 1. PBSA 시료

PBSA는 (주)이래화학으로부터 film 형태로 공급받았으며, 수평균 분자량은  $60,000 \text{ g mol}^{-1}$ , 중량평균 분자량은  $130,000 \text{ g mol}^{-1}$ 인 것을 사용하였다.

### 2. 멸균 토양의 제조

경기도 양평에서 상추를 재배하는 경작토를 채취하여 실험에 사용하였으며, 이 토양의 물리화학적 특성을 Table 1에 제시하였다.

토양 시료는 4°C를 유지하면서 실험실로 운반한 후 토양을 고압증기멸균 ( $121^\circ\text{C} \times 30\text{분}$ ) 후 건열멸균 ( $105^\circ\text{C} \times 24\text{시간}$ )하고 Nutrient Agar (NA)와 Plate Count Agar (PCA), Actinomycete Isolation Agar (AIA) 및 Sabouraud Dextrose Agar (SDA)에 각각 배양하여 세균, 방선균 및 진균이 전혀 성장하지 않는 것을 확인하였다.

**Table 1.** Physico-chemical characteristics of the soil

Moisture content (%)	20.3
pH	7.7
Total organic carbon (%)	3.2
Total organic nitrogen (%)	0.3
C/N ratio	10.7

### 3. 멸균 토양에 PBSA 분해균의 접종

멸균 토양에 본 연구실에서 분리한(김 등 2007) PBSA 분해균 *B. cepacia*를  $2.5 \times 10^9$  cfu g<sup>-1</sup>로 접종하여 토양 매립 시험에 사용하였다.

### 4. PBSA film의 토양 매립 시험

자연 토양 및 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양을 자외선 멸균한 스티로폼 용기 (495 mm × 310 mm × 210 mm)에 50 mm 깊이로 넣고 70% ethanol로 처리한 PBSA film (30 mm × 30 mm × 0.2 mm)을 나일론 망에 싸서 토양 매립 시험을 수행하였다. 스티로폼 용기의 상단은 공기 중에 분포하는 미생물의 오염을 방지하기 위하여 건열 멸균한 솜으로 둘러싸서 실험하였다. 토양 매립 시험은 토양의 함수율을 25~27%로 유지하면서 상온에서 80일간 실시하였다

### 5. PBSA의 생분해도 측정

10일 간격으로 PBSA film을 매립 토양으로부터 수거하여 멸균증류수로 세척하고 건조기 (60 ± 2°C)에서 24시간 건조시킨 후 Kim *et al.* (2006)의 방법에 따라 토양 매립의 시간 경과에 따른 PBSA film의 질량 감소율을 다음과 같이 결정하였다.

$$\text{PBSA film의 질량 감소율 (\%)} = [(M_0 - M_d) / M_0] \times 100$$

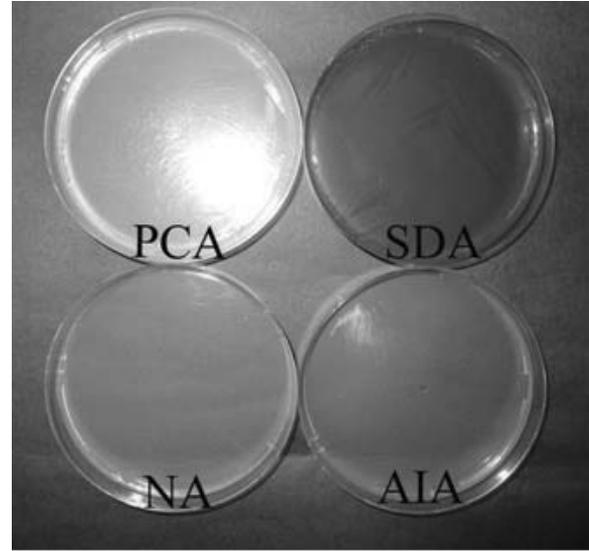
여기서  $M_0$ 는 토양 매립 전 PBSA film의 질량이며  $M_d$ 는 각 측정 일에 수거한 PBSA film의 질량이다.

### 6. PBSA film 표면의 형태 변화

토양 매립 시험 과정에서 PBSA film 표면의 변화를 디지털카메라와 SEM (Jeol, JSM-5600LV)으로 기록하였다.

### 7. 세균의 개체수 측정

세균의 개체수 측정에 적합한 배지로 알려져 있는 (Balestra *et al.* 1997) PCA와 NA 평판배지를 이용하여 균체수를 측정하였다. PBSA film을 PBSA 분해균 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양 및 자연 토양에 80일간 매립한 후 두 종류의 토양을 각각 PCA와 NA 평판배지에



**Fig. 1.** Asepsis of the sterilized soil tested by using the Plate Count Agar (PCA), Nutrient Agar (NA), Sabouraud Dextrose Agar (SDA), and Actinomycete Isolation Agar (AIA).

접종하고 30°C에서 72시간 배양하여 세균의 개체수를 측정하였다.

### 8. 토양의 물리화학적 특성 조사

토양의 함수율과 pH 및 elemental analyzer (Thermo Quest Italia S.P.A)로 총 유기탄소량과 총 유기질소량을 측정하여 토양의 물리화학적 특성을 조사하였다.

## 결과 및 고찰

#### 1. 멸균 토양의 제조

채취한 토양을 고압증기멸균과 건열멸균한 후 NA, PCA, AIA 및 SDA에 배양하였을 때 Fig. 1과 같이 세균, 방선균 및 진균의 생장이 없는 것으로 나타나 고압증기 및 건열에 의하여 멸균 토양을 제조하였다.

#### 2. 자연 토양의 물리화학적 특성

Table 1은 채취한 토양의 함수율, pH, 총 유기탄소, 총 유기질소 양 및 C/N비를 분석한 결과이다. 채취한 토양은 중성 pH를 보였으며 유기탄소함량이 3.2%로 비교적 높은 값을 나타내었다.

#### 3. PBSA film의 생분해 거동

Fig. 3은 PBSA film을 자연 토양 및 PBSA 분해균 *B.*

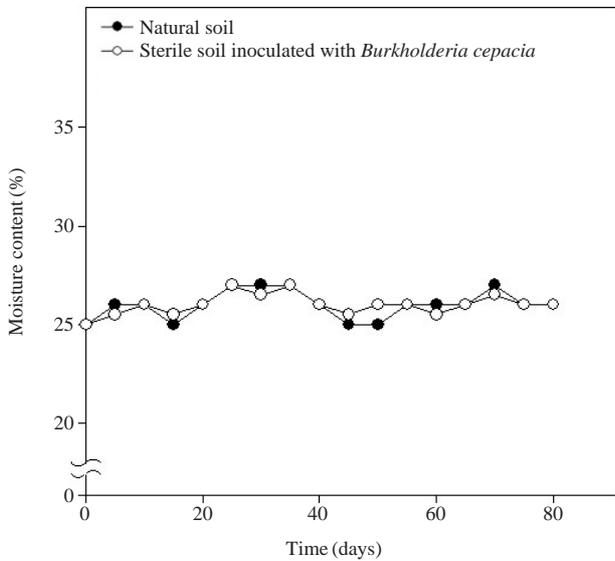


Fig. 2. Moisture contents of natural soil and sterile soil inoculated with *Burkholderia cepacia* during the soil burial test.

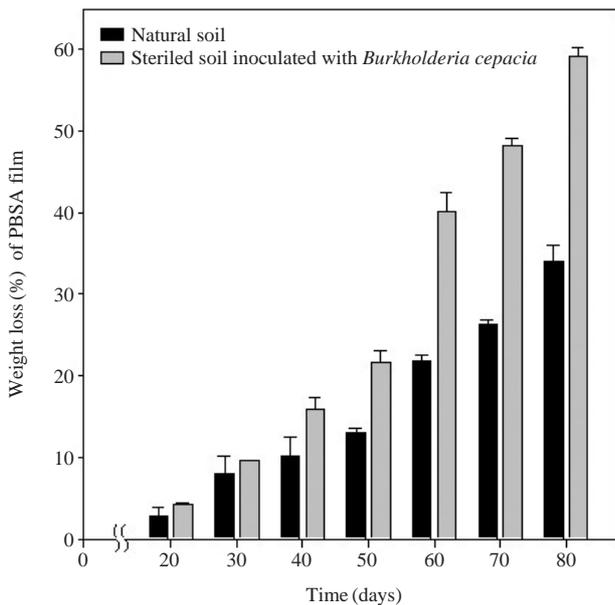


Fig. 3. Biodegradation of PBSA during the soil burial test for 80 days in the natural soil and the sterile soil inoculated with *Burkholderia cepacia*.

*cepacia*를 접종한 멸균 토양에 각각 매립하고 시간 경과에 따라 PBSA film의 질량 감소 정도를 측정된 결과이다. *B. cepacia*는 김 등(2007)이 우리나라의 토양에서 분리한 PBSA 분해균으로서 분해활성이 높은 장점을 가지고 있다. 자연 토양 및 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양 모두에서 매립 시간이 경과할수록 PBSA film의 질량 감소가 더 크게 일어났으나 전자보다는 후자에서 더 많은

질량 감소가 관찰되었다. 즉, 매립 시간이 20, 30, 40, 50, 60, 70 및 80일 경과하였을 때 자연 토양에서 PBSA film의 질량 감소율은 각각 2.8, 8.1, 10.2, 12.9, 21.9, 26.4 및 34.0%이었으나, *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양의 경우에는 각각 4.2, 9.6, 15.9, 21.6, 40.2, 48.2 및 59.2%이었다.

*B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에서 자연 토양에 매립한 것보다 PBSA 분해 활성이 매립 초기부터 종료 시까지 더 높게 나타난 것은 멸균 토양 내에 접종한 단일 균주 *B. cepacia*가 PBSA 분해 고활성 균주로서 자연 토양에 분포하고 있던 복합 미생물 군집보다 더 높은 PBSA 분해 활성을 나타낸 것에 기인하는 것으로 *B. cepacia*를 PBSA film이 매립된 토양의 미생물적 복원에 활용할 수 있음을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

김 등(2007)은 *B. cepacia*가 실험실 규모의 변형 Sturm test (ASTM D5209-92)에서 37°C, 40일간 생분해 실험한 결과 PBSA의 78.0%가 CO<sub>2</sub>로 무기질화 되었다고 보고한 바 있다. 이에 비하여 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양 속에서는 40일 후 질량 감소가 15.9% 수준에 머물렀다. 이는 후자의 경우 상온에서 생분해를 진행한 반면 전자의 경우는 *B. cepacia*의 최적 생장 온도인 37°C에서 생분해를 진행한 것에 기인하며 무기염 배지 내에서 수행하는 변형 Sturm test의 경우 PBSA의 abiotic hydrolysis로 인하여 PBSA film의 생분해가 촉진된 것도 한 원인인 것으로 판단된다.

Nishioka *et al.* (1994)은 Gram 양성세균, Gram 음성세균 및 진균 등 다양한 미생물이 PBSA를 분해할 수 있으며 이들은 토양, 퇴비 및 활성슬러지와 같은 자연환경에 분포하는 것으로 보고한 바 있고 Uchida *et al.* (2000)은 일본 Tsukuba 지역의 토양에서 PBSA 분해균 BS-3을 분리하여 *Acidovorax* 속으로 동정하고 최소배지에서 PBSA pellet (Mw 58,000)을 생분해한 결과 75%의 질량 감소를 보고하여 일본 토양의 매립에 의한 PBSA의 분해에 대해서는 보고된 바 있으나 우리나라 토양에서 'in situ' PBSA의 분해는 보고가 미진하였는데 본 연구의 자연 토양에서 매립 80일 후 PBSA film의 질량 감소가 34.0%에 달하였으므로 Uchida *et al.* (2000)의 결과보다는 분해활성이 낮지만 우리나라 토양 내에도 PBSA를 분해하는 복합 미생물군집이 존재한다고 볼 수 있다.

#### 4. 토양 매립 시험에서 PBSA film 표면의 형태 변화

Fig. 4는 PBSA film을 자연 토양 및 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에서 매립 시간에 따른 PBSA film 표면의 형태 변화를 기록한 것이다. 분해 전 PBSA film 표면은 우윳빛의 매끄러운 표면을 보였으나 분해가 진행될수록

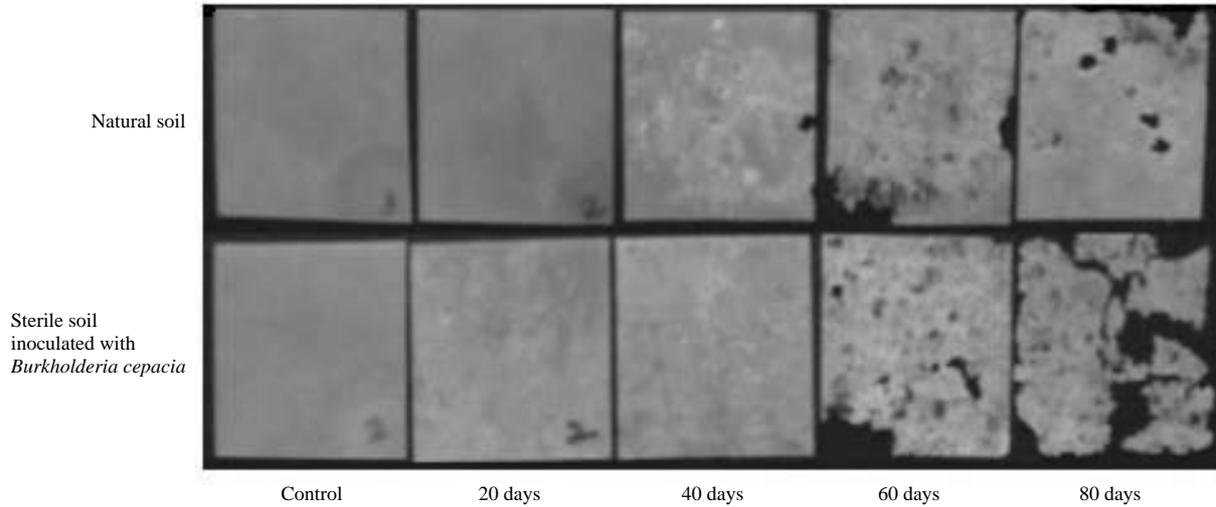
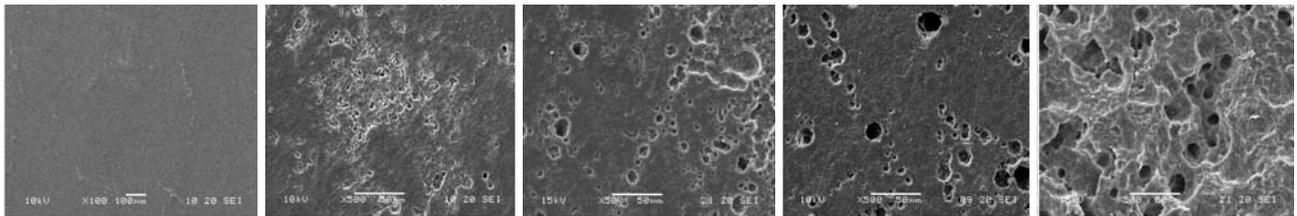


Fig. 4. Rate of surface erosion of PBSA film as observed by an optical microscope.

Natural soil



Sterile soil inoculated with *Burkholderia cepacia*

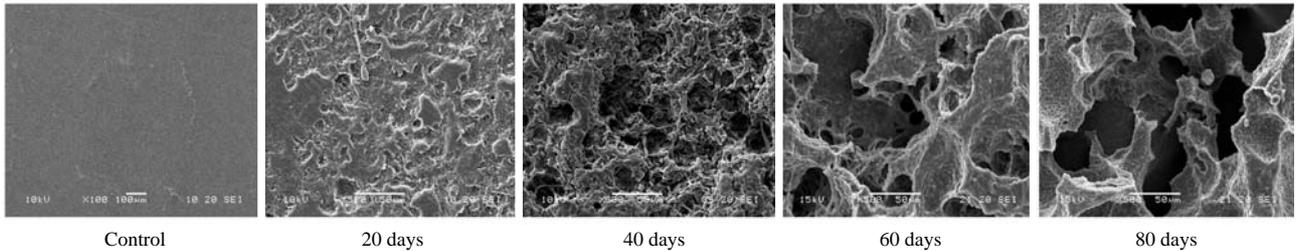


Fig. 5. SEM photographs of the surface morphology of PBSA as a function of soil burial time.

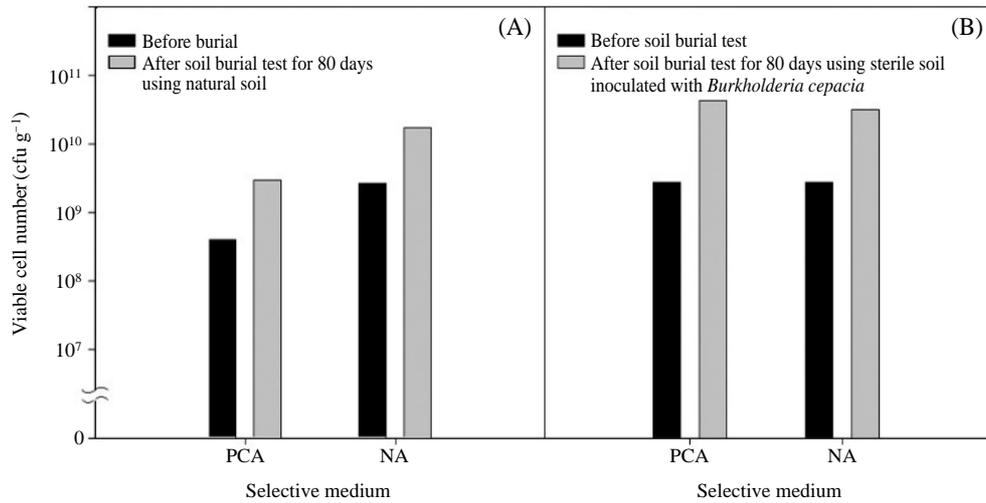
PBSA film 표면에서 변색이 일어났다.

자연 토양의 경우는 40일경부터, *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양의 경우는 매립 20일경부터 PBSA film 표면의 변색이 시작되어 시간이 경과할수록 변색 범위가 커지고 두 종류의 토양 모두에서 80일째에는 PBSA film 표면 전체로 변색 현상이 확대되었다.

ISO 846(1997)에 의하면 미생물은 두 가지 메카니즘으로 플라스틱을 분해하는데 미생물의 생장에 필요한 탄소원으로 플라스틱을 직접적으로 이용하여 분해하는 것과 미생물이 방출하는 대사물질에 의해 플라스틱의 분해가 간접적으로 이루어지는 것이 있다. PBSA의 초기 분자량

은 미생물이 체내로 흡수 대사하기에는 너무 크므로 미생물이 방출하는 대사물질에 의하여 분해된 후 분자량이 충분히 작아지면 미생물 체내로 흡수되어 대사되는 방법으로 분해될 것으로 보인다. 본 연구에서 PBSA film의 분해가 진행됨에 따라 Fig. 4에서 나타난 PBSA film 표면의 변색 현상은 자연 토양 및 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에 분포하는 미생물이 방출하는 대사산물에 의하여 PBSA의 간접적인 분해가 이루어졌기 때문으로 생각된다.

*B. cepacia*를 접종한 멸균 토양의 경우는 매립 40일경부터 PBSA film에 hole이 생기기 시작하였고 나일론



**Fig. 6.** Bacterial numbers of natural soil (A) and sterile soil (B) inoculated with *Burkholderia cepacia* before and after the soil burial test for 80 days.

**Table 2.** pH of the natural soil and sterile soil inoculated with *Burkholderia cepacia* after 80 days of the soil burial test.

pH	Natural soil		Sterile soil inoculated with <i>Burkholderia cepacia</i>	
	Soil retrieved from the PBSA film surface	Soil retrieved remote from PBSA film	Soil retrieved from the PBSA film surface	Soil retrieved remote from PBSA film
	7.3	7.2	7.7	7.5

Initial pH of the natural soil and the sterile soil inoculated with *B. cepacia* was 7.7 and 7.1 respectively

망을 이용하여 부서진 PBSA film을 회수할 수 있었으나, 80일 이후에는 분해가 상당히 진행되어 film이 쉽게 부서져서 회수가 어려웠다. 자연 토양에서 매립한 경우 Fig. 3의 질량 감소 결과와 같이 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에 매립한 것에 비하여 PBSA의 변색 및 hole 생성이 더 늦게 일어났다.

Fig. 5는 자연 토양 및 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에서 매립 시간에 따른 PBSA film 표면의 형태를 전자현미경으로 관찰한 사진이다. 분해 전의 PBSA film은 매끈하고 hole이 없었으나 자연 토양 및 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에 매립한 80일째에는 PBSA film의 표면에 큰 hole들이 생긴 것을 볼 수 있다.

자연 토양에서는 매립 20일경부터 PBSA film에 hole이 생기고 시간이 지남에 따라 hole의 크기가 점차 커져 80일째에는 PBSA film이 관통될 정도로 침식되었다.

*B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에서는 매립 20일경부터 PBSA film의 표면에 침식 현상이 관찰되기 시작하였으며 자연 토양 속에 매립하였을 때 침식 현상이 더 빠르게 나타났다.

## 5. 토양 매립 시험에서 세균수의 변화

일반적으로 PCA와 NA배지는 토양 환경으로부터 세균의 개체수 측정에 적합한 배지로 알려져 있다 (Bailestra *et al.* 1997).

Fig. 6은 자연 토양 및 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에 PBSA film을 매립한 후 80일이 경과하였을 때 각 토양을 PCA와 NA 평판배지에 배양하여 검출된 세균수를 측정된 결과이다.

두 종류의 토양 모두에서 매립 전에 비하여 PBSA film을 매립한 후 80일이 경과하였을 때 세균수가 증가하였다.

자연 토양에서는 매립 시험 전에는 PCA배지에서  $4.0 \times 10^8$  cfu g<sup>-1</sup>, NA배지에서  $2.7 \times 10^9$  cfu g<sup>-1</sup>의 세균이 검출되었으나 80일간의 매립 시험 후에는 PCA배지에서  $3.0 \times 10^9$  cfu g<sup>-1</sup>, NA배지에서  $1.7 \times 10^{10}$  cfu g<sup>-1</sup>이 검출되어 매립 전에 비하여 각각 7.5배와 6.3배 증가되었으며, *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양의 경우는 매립 시험 이전에는 PCA와 NA 평판배지에서 모두 *B. cepacia*의 개체수가  $2.5 \times 10^9$  cfu g<sup>-1</sup>이었으나 80일간 매립 후에는 3.6

$\times 10^{10}$  cfu  $g^{-1}$ 과  $2.7 \times 10^{10}$  cfu  $g^{-1}$ 로서 각각 14.4배와 10.8배 증가되었다. 이는 토양 미생물이 PBSA film를 대사에 필요한 영양원으로 사용하였음을 의미한다.

### 6. 토양 매립 시험에서 토양의 pH 변화

Table 2는 토양 매립 시험 후 자연 토양 및 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에서 PBSA film의 주변 토양과 PBSA film과 멀리 떨어진 토양의 pH를 측정할 결과이다.

토양 채취 당시의 pH는 7.7이었으며 토양을 멸균하였을 때는 pH가 7.1로 낮아졌다. 80일간의 매립 기간을 거치면서 자연 토양은 초기 pH 7.7에서 7.3과 7.2로 pH가 소폭 감소한 반면, *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양의 경우는 초기 pH 7.1에서 7.7과 7.5로 소폭 증가하였다.

PBSA의 주 사슬에는 butylene succinate와 butylene adipate가 random하게 연결되어 있으며 분자의 말단에 수산기 (-OH) 혹은 카르복실기 (-COOH)가 있으므로 (Tserki *et al.* 2006b) PBSA의 분해가 진행되면 ester 결합이 해리되고 수산기의 수가 증가하여 pH가 감소하게 된다.

80일간의 매립 시험 후 자연 토양의 pH가 소폭 감소한 것은 PBSA의 분해에 따라 ester 결합이 -COOH 및 -OH 기로 전환되어 산성이 증가한 때문으로 보인다.

한편 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에서 매립 시험 후 토양의 pH가 각각 7.7과 7.5로 측정되어 매립 전보다 pH가 소폭 증가된 것은 *B. cepacia*의 대사 물질이 알카리성을 띠고 있음을 암시한다고 할 수 있다.

Tokiwa and Jarerat (2005)은 poly(L-lactide) (PLA) 분해균 *Tritirachium album*과 *Saccharothrix waywayandensis*를 이용한 PLA 분해에서 0.1% gelatin을 첨가하였을 때 PLA 분해 활성이 증진되는 현상을 관찰하였으며, 무기 염액체배지에서 30°C, 14일간 PLA를 분해하였을 때 0.1% gelatin을 첨가한 경우는 배지의 pH가 7.0에서 8.0으로 증가하였으나 gelatin을 첨가하지 않은 경우는 배지의 pH가 7.0에서 7.5 증가 폭이 적었다고 보고하였다.

본 연구에서 *B. cepacia*의 대사물질을 분리하여 분석하고자 시도하였으나 대사물질의 농도가 극히 낮고 토양의 구성성분이 복잡하여 명확한 분석은 달성하지 못하였다.

### 적 요

자연 토양 및 *Burkholderia cepacia*를 접종한 멸균 토양에 PBSA film을 매립하여 PBSA의 생분해 특성을 조

사하였다. 상온에서 80일간 매립 시험을 실시한 결과, 자연 토양에서는 PBSA film의 34.0%, *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에서는 59.2%의 질량 감소가 일어났으며 PBSA film의 표면 형태 변화도 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에 매립한 경우가 자연 토양에 매립한 경우에 비하여 PBSA film 표면의 침식 및 균열이 더 빠르게 일어났다. PBSA film을 매립하였을 때 80일 후 자연 토양에서 세균수는 6~7배 증가한 반면 *B. cepacia*를 접종한 멸균 토양에서 개체수는 10~14배 증가하였다.

### 사 사

본 연구는 2010학년도 상명대학교 교내 선발과제 연구비를 지원받아 수행한 연구입니다.

### 참 고 문 헌

- 김말남, 이선희. 2007. 고허성 Poly(butylene succinate-co-butylene adipate) 분해균의 선발. 환경생물. 25: 267-272.
- 서장선, 신제성. 1997. 논 토양 서식 미생물의 다양성에 관한 연구. 한국토양비료학회지. 30:200-207.
- Balestra GM and IJ Misaghi. 1997. Increasing the efficiency of the plate counting method for estimating bacterial diversity. J. Microbiol. Methods 30:111-117.
- Chatterjee S, B Roy, D Roy and R Banerjee. 2010. Enzyme-mediated biodegradation of heat treated commercial polyethylene by Staphylococcal species. Polym. Degrad. Stab. 95:195-200.
- Corti A, S Muniyasamy, M Vitali, SH Imam and E Chiellini. 2010. Oxidation and biodegradation of polyethylene films containing pro-oxidant additives: Synergistic effects of sunlight exposure, thermal aging and fungal biodegradation. Polym. Degrad. Stab. 95:1106-1114.
- Davis G. 2003. Characterization and characteristics of degradable polymer sacks. Mater. Charact. 51:147-157.
- ISO 846. 1997. Plastics-Evaluation of the action of microorganisms. Geneve, Switzerland.
- Kim HS, HJ Kim, JW Lee and IG Choi. 2006. Biodegradability of bio-flour filled biodegradable poly(butylene succinate) bio-composites in natural and compost soil. Polym. Degrad. Stab. 91:1117-1127.
- Nikolic MS and J Djonlagic. 2001. Synthesis and characterization of biodegradable poly(butylene succinate-co-butylene adipate)s. Polym. Degrad. Stab. 74:263-270.
- Nishioka M, T Tuzuki, Y Wanajyo, H Oonami and T Horiuchi. 1994. Biodegradation of Bionolle. pp.584-590. In Biodegra-

- dable Plastics and Polymers (Doi Y and K Fukuda eds.). Elsevier Science B.V. Amsterdam.
- Rizzarelli P, C Puglisi and G Montaudo. 2004. Soil burial and enzymatic degradation in solution of aliphatic co-polyesters. *Polym. Degrad. Stab.* 85:855-863.
- Sato H, M Furuhashi, D Yang, H Ohtani, S Tsuge, M Okada, K Tsunoda and K Aoi. 2001. A novel evaluation method for biodegradability of poly(butylene succinate-co-butylene adipate) by pyrolysis-gas chromatography. *Polym. Degrad. Stab.* 73:327-334.
- Sudhakar M, M Doble, PS Murthy and R Venkatesan. 2008. Marine microbe-mediated biodegradation of low- and high-density polyethylenes. *Int Biodeterior Biodegradation.* 61: 203-213.
- Tharanathan RN. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends Food Sci. & Technol.* 14:71-78.
- Tokiwa Y and A Jarerat. 2003. Microbial degradation of aliphatic polyesters. *Macromol. Symp.* 201:283-289.
- Tokiwa Y and A Jarerat. 2005. Accelerated microbial degradation of poly(L-lactide). *Macromol. Symp.* 224:367-376.
- Tserki V, P Matzinos, E Pavlidou, D Vachliotis and C Panayiotou. 2006a. Biodegradable aliphatic polyesters. Part I. Properties and biodegradation of poly(butylene succinate-co-butylene adipate). *Polym. Degrad. Stab.* 91:367-376.
- Tserki V, P Matzinos, E Pavlidou and C Panayiotou. 2006b. Biodegradable aliphatic polyesters. Part II. Synthesis and characterization of chain extended poly(butylene succinate-co-butylene adipate). *Polym. Degrad. Stab.* 91:377-384.
- Uchida H, T Nakajima-Kambe, Y Shigeno-Akutsu, N Nomura, Y Tokiwa and T Nakahara. 2000. *FEMS Microbio. Lett.* 189:25-29.
- Zhao JH, XQ Wang, J Zeng, G Yang, FH Shi and Q Yan. 2005. Biodegradation of poly(butylene succinate-co-butylene adipate) by *Aspergillus versicolor*. *Polym. Degrad. Stab.* 90: 173-179.

Manuscript Received: July 19, 2010  
Revision Accepted: August 10, 2010  
Responsible Editor: Hak Young Lee