목재공학 32(5): 29~38, 2004
Mokchae Konghak 32(5): 29~38, 2004

옥수수 전분을 충전제로 첨가한 생분해성 고분자 복합재료의 열적성질*1

김 희 수*2 · 양 한 승*2 · 김 현 중*2† · 이 영 규*3 · 박 희 준*4

Thermal Properties of Corn-Starch Filled Biodegradable Polymer Bio-Composites*1

Hee-Soo Kim*2 · Han-Seung Yang*2 · Hyun-Joong Kim*2†
· Young-Kyu Lee*3 · Hee-Jun Park*4

요 약

본 연구에서는 생분해성 고분자인 polybutylene succinate-adipate (PBS-AD)에 옥수수 전분을 충전제로 첨가한 생분해성 복합재의 열적성질에 대해 고찰하였다. 열분석은 온도에 대한 함수로서 복합재 물질의 화학적 성질과 중량 감소율을 측정할 수 있는 분석적인 방법으로 사용되고 있다. 옥수수 전분의 열안정성은 순수한 생분해성 고분자인 PBS-AD보다 낮았다. 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 생분해성 복합재의 열안정성과 열분해 온도는 감소하였고 회분의 함량은 증가하였다. 이것은 생분해성 복합재의 계면에서의 결합력이 옥수수 전분의 혼합비율이 증가할수록 감소하였기 때문이다. 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 생분해성 복합재의 유리전이온도(T_g)와 용융온도(T_m)에는 큰 변화가 없었다. 옥수수 전분이 혼합된 생분해성 고분자 복합재의 저장 탄성율(E′)과 손실 탄성율(E″)값은 PBS-AD보다 높았다. 이 결과는 옥수수 전분의 첨가로 인하여 생분해성 복합재의 강성이 증가하였기 때문이다. 고온에서 생분해성 고분자 복합재의 감소된 저장 탄성율 값은 온도가 증가할수록 고분자 사슬의 운동성이 증가하기 때문이다. 위의 결과들로부터, 옥수수 전분이 생분해성 고분자 복합재를 제조하는데 충전제로서 사용이 가능하다고 예상할 수 있었으며 옥수수 전분과 생분해성 고분자의 계면에서의 결합력을 향상시키기 위하여 결합제의 사용이 요구된다.

* 1 접수 2004년 6월 25일, 채택 2004년 7월 30일
본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00104-0) 지원으로 수행되었음.
* 2 서울대학교 임산공학과, Lab. of Adhesion & Bio-composites, Dept. of Forest Products, College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea
* 3 서울대학교 농업과학공동기기센터(NICEM), 재료물성분석기기실, National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University
* 4 익산대학 임산공업과, Dept. of Forest Products, Iksan National College, Iksan, Chonbuk 570-752, Korea
† 주저자(corresponding author) : 김현중(e-mail: hjokim@snu.ac.kr)

ABSTRACT

In this study, we investigated the thermal properties of corn-starch filled polybutylene succinate-adipate (PBS-AD) bio-composites. Thermal analysis (TA) is used to describe the analytical method for measuring the chemical property and weight loss of composite materials as a function of temperature. The thermal stability of corn-starch was lower than that of pure PBS-AD. As corn-starch loading increased, the thermal stability and degradation temperature of the bio-composites decreased and the ash content increased. It can be seen that the degree of compatibility and interfacial adhesion of the bio-composites decreased because of the increasing mixing ratio of the corn-starch. As the content of corn-starch increased, there was no significant change in the glass transition temperature (T_g) and the melting temperature (T_m) for the bio-composites. The storage modulus (E') and loss modulus (E'') of the corn-starch flour filled PBS-AD bio-composites were higher than those of PBS-AD, because of the incorporation of corn-starch increased the stiffness of the bio-composites. At higher temperatures, the decreased storage modulus (E') of bio-composites was due to the increased polymer chain mobility of the matrix polymer. From these results, we can expect that corn-starch has potential as a reinforcing filler for bio-composites. Furthermore, we recommend using a coupling agent to improve the interfacial adhesion between corn-starch and biodegradable polymer.

Keywords: biodegradable polymer, corn-starch, thermal stability, glass transition temperature (T_g), melting temperature (T_m), storage modulus (E'), loss modulus (E'')

1. 서 론

산업이 발달하면서 석유화학제품의 소비가 증가함에 따라 환경 보호적인 측면에서 폐플라스틱 처리에 대한 문제점이 점차적으로 증가하고 있는 실정이다. 현재 상품화 되어 있고 유통되고 있는 플라스틱은 비분해성 물질이므로 사용 후 자연 환경에 버려질 경우 완전히 자연 분해되는데 수백 년 이상 소요되어 자연 생태계의 순환 사이클을 파괴하게 된다. 그러므로 이러한 문제들을 해결하기 위하여 재활용하거나 에너지 재생원으로 사용되고 있지만 비분해성 플라스틱의 소량만 재활용되고 나머지는 토양 속에 매립된다. 그러므로 생분해성 고분자의 활용은 이러한 문제점을 완전히 해결할 수 있지만 현재에는 가격이 기존의 비분해성 플라스틱에 비해 비싸고 최종산물의 사용이 제한되어 있어 현재에는 많이 이용되고 있지 못하고 있는 실정이다(Nikolic *et al.*, 2001; Uesaka *et al.*, 2000; Eom *et al.*, 2004).

본 연구에서 사용된 PBS-AD (polybutylene succinate adipate)는 생분해성 플라스틱의 일종이며 자연환경에 존재하는 미생물에 의해 생분해가 가능하며, 물성은 비분해성 플라스틱인 폴리프로필렌(PP), 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)과 유사하다. 또한 최근에는 전분을 함유한 생분해성 플라스틱에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데 전분을 함유한 폴리에틸렌 필름은 이미 상업화되어 생분해성 포장 재료로서 사용중에 있다(Scott *et al.*, 1995). 전분이 플라스틱의 생분해성을 향상시키기 위해 플라스틱의 충전제로 많이 사용되는 이유는 비교적 손쉽게 다량으로 얻을 수 있는 천연물로써 생분해성이 뛰어나고 가격 또한 저렴하기 때문이다. 전분의 종류에는 곡류(cereals), 두류(legumes) 및 서근류(roots and tubers) 등이 있으며, 분자구조 및 크기에 따라 아밀로오즈(amylose)와 아밀로펙틴(amylopectin)으로 분류된다. 아밀로오즈는 특히 옥수수 전분(corn starch)에 많이 함유되어 있는데, 아밀로오즈는 필름 형성능력을 향상시키는 역할을 한다. 이러한 전분의 특성을 이용하여 미국과 캐나다에서는 PE (polyethylene) 필름에 전분을 첨

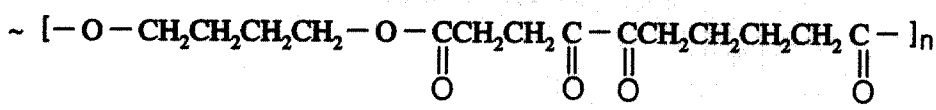

Fig. 1. Chemical structure of PBS-AD.

가하여 제조하고 있으며, 또한 전분의 높은 생분해성을 이용하여 쓰레기 포장용 또는 백화점 및 식료품점에서의 포장용으로 사용될 수 있고 농업용 mulching 필름으로서도 이용될 수 있다(Choi *et al.*, 1996; Fujimaki, 1998; Takeda *et al.*, 1987).

생분해성 복합재의 열적 성질은 다양한 분석기기에 의하여 측정될 수 있으며 측정된 결과를 이용하여 복합재의 적절한 제조온도, 열안정성 및 점탄성적 성질을 제시하여 생분해성 복합재의 적용 방안에 대하여 알아볼 수 있을 것이다. Ratto 등(1999)은 지방족 생분해성 고분자에 옥수수 전분이 첨가된 복합재를 제조하여 점탄성적 성질을 측정한 결과 옥수수 전분의 첨가량이 증가할수록 복합재의 강성이 증가한다고 발표하였고 Franco 등(2004)은 전분을 충전제로 첨가한 생분해성 복합재를 제조하여 열 중량 분석기를 사용하여 전분의 열분해 온도를 측정하였다.

본 연구는 그 동안 주로 연구를 진행해 왔던 비분해성 플라스틱 대신에 생분해성 고분자의 일종인 PBS-AD에 친환경 강화충전제인 옥수수 전분을 첨가하여 생분해성 플라스틱 복합재를 제조하고 제조된 생분해성 고분자 복합재의 열적성질을 측정하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 생분해성 고분자

본 연구에서 사용된 생분해성 고분자는 (주) SK 케미칼에서 구입한 polybutylene succinate-adipate (PBS-AD)를 사용하였다. PBS-AD의 분자량은 5.5×10^4, 용융지수는 20 g/10 min (190°C/2,160 g) 그리고 밀도는 1.22 g/cm^3 이었다. 화학구조는 Fig. 1과 같다.

2.1.2. 강화충전제

강화충전제는 (주)대상에서 제조한 200 mesh 이상의 옥수수 전분을 사용하였으며 성분의 구성 비율은 아밀로펙틴(%) : 아밀로오스(%) = 75 : 25이었다.

2.2. 생분해성 복합재 원료 혼합

옥수수 전분으로 강화 충전된 생분해성 고분자 복합재의 제조 공정은 다음과 같다. 우선 생분해성 복합재의 강화충전제로 첨가될 옥수수 전분을 105°C에서 약 24시간 동안 건조시켜 함수율을 2% 미만으로 조절하였다. 생분해성 고분자와 옥수수 전분 분말의 혼합비는 중량기준으로 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40으로 하여 혼합하였다. 혼합된 재료를 실험실용 twin-screw extruder의 호퍼(hopper) 내로 공급하였으며, 이때 배럴(barrel)의 온도는 생분해성 고분자 용융온도인 87°C보다 높은 120°C로 조절하였다. 그리고 진공펌프를 일정한 압력으로 조정하여 압출기의 내부를 진공 상태로 조정하였다. 다이의 노즐로부터 빠져나오는 긴 막대상의 물질(strand)을 냉각장치에 통과시켜 냉각한 다음 펠레타이져(pelletizer)에 의해 펠렛(pellet) 형태로 절단하였다. 이러한 펠렛 형태의 입자를 다시 오븐에서 60°C에서 24시간 건조하였다. 건조된 펠렛은 수분의 침투를 방지하기 위해 폴리에틸렌백에 보관하였다. Twin-screw extruder를 이용한 생분해성 복합재의 제조 과정을 Fig. 2에 나타내었다.

2.3. 생분해성 복합재 필름 제조

생분해성 복합재 필름의 제조는 복합재의 용융온도가 80°C이므로 100°C의 온도에서 용융시킨 후 코팅장치를 사용하여 이형지 위에 코팅하였다. 이때 필름의 두께는 0.5 mm로 제조하였다. 제조된 필름은 옥수수 전분에 의한 수분의 침투를 막기 위하여 폴리에틸렌

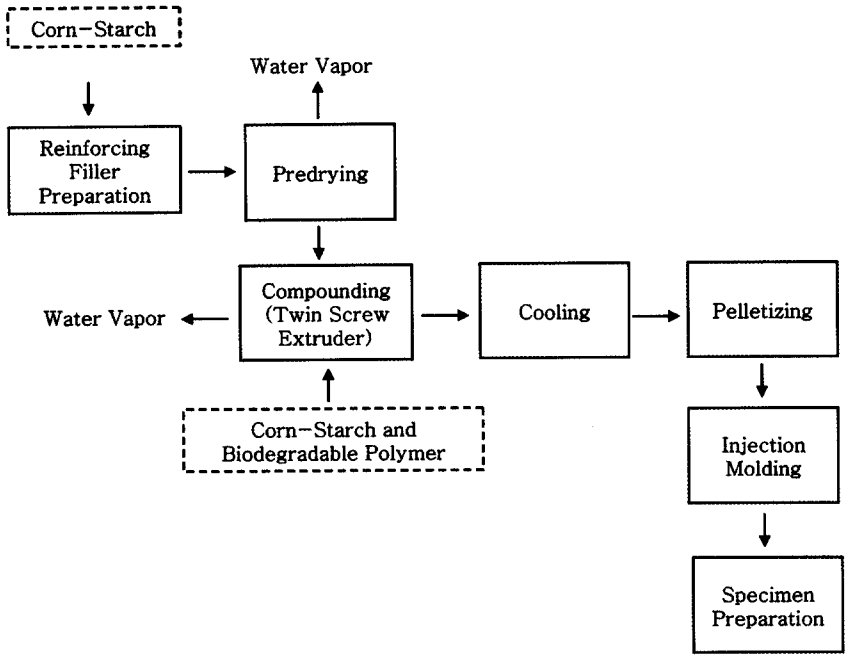

Fig. 2. Schematic process of compounding of PBS-AD with corn-starch in a twin screw extruding system.

백에 보관하였다.

2.4. 실험방법

2.4.1. 열중량 분석(Thermogravimetric analysis, TGA)

열중량 분석은 Rheometric Scientific TGA 1000 (서울대학교, NICEM)을 사용하여 실시하였다. 실험 시편은 생분해성 복합재 중 10~13 mg을 취하였고, 질소를 20 mℓ/min으로 공급하였으며, 승온 속도는 20°C/min으로 25°C부터 800°C까지 온도를 승온시키면서 실시하였다. 실험 중 산화를 방지하기 위해 고순도의 질소(99.5%의 질소, 0.5%의 산소) 상태에서 실험을 실시하였다.

2.4.2. 시차주사열량계(Differential scanning calorimetry, DSC) 분석

시차주사열량계 분석은 TA사의 Q1000 (서울대학교, NICEM)을 사용하여 실시하였으며 시편의 무게는 5~8 mg이었다. 각각의 시편은 -80~200°C의 온도범위에서 측정하였으며 승온 속도는 10°C/min이었다.

2.4.3. 점탄성적 성질(Dynamic mechanical thermal analyzer, DMTA) 분석

생분해성 복합재의 점탄성적 성질은 Rheometric Scientific DMTA Ⅳ (서울대학교, NICEM)을 사용하여 실시하였다. 시편의 크기는 10.0 mm (폭)×15.0 mm (길이)×0.5 mm (두께)이며, tension mode에서 실시하였다. 측정온도는 -80~200°C의 온도범위에서 실시하였으며, 승온 속도는 2°C/min으로 하여 측정하였다. 주파수는 0.5 Hz 그리고 신율은 0.1%를 적용하여 실시하였다.

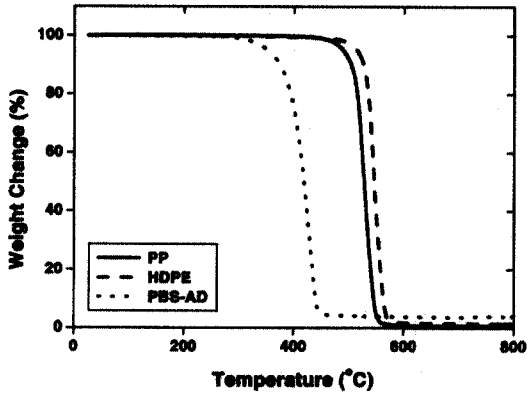

Fig. 3. TGA thermograms of PP, HDPE, and PBS-AD.

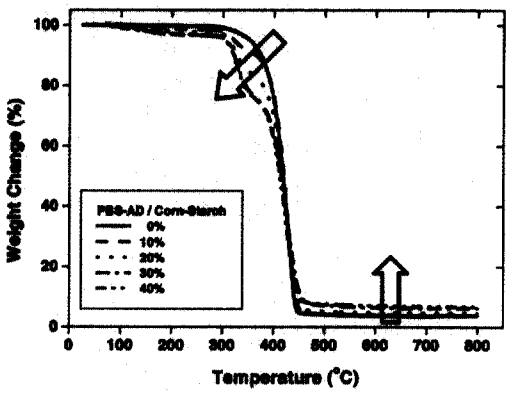

Fig. 4. TGA thermograms of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

3. 결과 및 고찰

3.1. 열중량 분석(Thermogravimetric analysis, TGA)

Fig. 3은 비분해성 고분자인 polypropylene (PP), high-density polyethylene (HDPE) 그리고 생분해성 고분자인 PBS-AD의 열분해 곡선을 보여 준다. 열중량 분석기는 온도에 따른 함수로 온도가 증가함에 따라 물질의 열중량 감소를 측정할 수 있다. PP, HDPE 그리고 PBS-AD의 열분해 곡선을 보면 한 온도 범위에서 급격한 열에 의한 중량의 감소를 확인할 수 있다. 이러한 결과는 고분자 물질은 주로 단량체들이 사슬에 의해 결합되어 있기 때문에 온도가 증가함에 따라 어느 한 시점에서 고분자 사슬이 온도에 의해 열에 약한 부분부터 분해되어 단량체를 형성한 후 다시 분해되어 가스 상태를 형성하며 열에 의해 분해되기 때문이라고 볼 수 있다. 생분해성 고분자는 기존의 비분해성 고분자인 PP, HDPE에 비하여 더 낮은 온도에서 분해되는 현상을 볼 수 있는데 이것은 생분해성 고분자 사슬이 비분해성 고분자보다 더 낮은 온도에서 고분자 사슬이 열에 의해 분해된다고 볼 수 있다. 고분자 물질의 이용에 있어서 고분자 물질의 열적 안정성 및 열분해온도는 매우 중요하다. Fig. 4의 TGA 그래프에서 보면 옥수수 전분이 40% 첨가된 생분해성 복합재의 경우 150°C 이상의 온도에서는 열에 의한 중량 감소가 좀 더 빠르게 시작되기 때문에 본 연구에서 사용된 생분해성 복합재의 제조온도와 사출온도는 150°C 이하에서 결정되어야 한다고 본다.

Fig. 4는 생분해성 복합재의 열분해 곡선을 볼 수 있다. 0~100°C까지는 수분에 의한 영향 때문에 중량의 감소가 거의 일어나지 않았으며, 전분의 함량이 증가할수록 100°C 이상의 온도에서 중량의 감소가 많이 일어나는 것을 볼 수 있다. 또한 전분이 40% 첨가된 생분해성 복합재의 경우 중량의 변화가 300~400°C의 온도 범위에서 2단계로 분해되는 것을 볼 수 있었으며 이것은 옥수수 전분이 생분해성 고분자에 첨가되어 각각 두 물질의 열분해 온도가 다르게 나타났다는 것을 Fig. 4에서 보면 알 수 있었다. Alvarez 등(2003)의 연구결과에 의하면 전분을 cellulose acetate에 첨가하여 복합재를 제조한 후 TGA에 의하여 열분해온도를 측정한 결과 314°C와 354°C에서 2단계로 분해되는 피크를 확인할 수 있었는데 314°C의 피크 점은 전분의 영향 때문이었으며, 354°C의 피크 점은 cellulose acetate 영향 때문이라는 것은 본 실험과도 일치하였다. 또한, Franco 등(2004)은 전분이 320°C의 온도 부근에서 열에 의한 중량 감소가 가장 활발하게 이루어진다고 보고하였다. 생분해성 복합재에서 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 열안정성 및 열분해 온도가 감소하였고 회분의 함량이 약간 증가

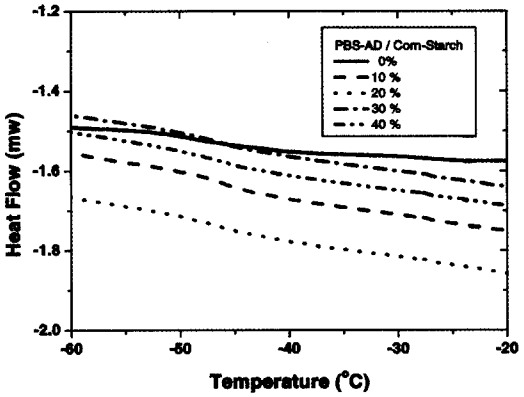

Fig. 5. DSC cooling thermograms of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

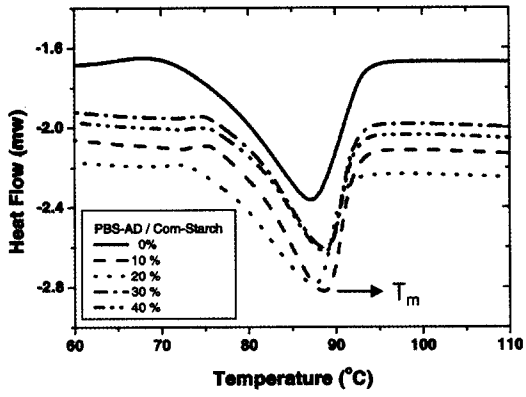

Fig. 6. DSC heating thermograms of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

하는 현상이 나타났다. 생분해성 복합재에서 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 열안정성이 감소하는 것은 전분이 생분해성 고분자보다 열분해 온도가 낮기 때문이고 소수성인 생분해성 고분자와 친수성인 옥수수 전분 사이의 계면에서 낮은 결합력 때문이라 생각된다. Kim 등(2004)은 HDPE에 왕겨분말이 첨가된 복합재의 활성화 에너지(activation energy)를 측정한 결과 왕겨분말이 30% 이상 함유되었을 때 활성화 에너지가 급격히 감소되는 현상을 관찰하였으며 활성화 에너지의 감소는 두 물질간의 계면에서 낮은 결합력 때문이라고 하였다. 그러므로 옥수수 전분과 생분해성 고분자 사이의 계면 접착력을 향상시키기 위하여 가장 중요한 방법은 옥수수 전분을 화학적으로 개질시키거나 결합제(coupling agent)를 첨가하는 것이다 (Son *et al.*, 2002).

3.2. 시차주사열량계 (Differential scanning calorimetry, DSC) 분석

Figs. 5와 6에서 생분해성 복합재의 저온 상태와 고온 상태의 DSC 분석 그래프를 볼 수 있다. 일반적으로 DSC는 열가소성 고분자 물질의 흡열 과정을 통하여 유리전이온도(T_g)와 용융온도(T_m)를 측정하게 된다. Fig. 5는 생분해성 고분자 복합재의 유리전이온도를 측정하기 위해 저온으로 냉각시킨 후 승온 시키는 과정에서 생분해성 고분자 복합재의 흡열 과정을 나타낸 것이다. 흡열 상태인 DSC 곡선의 변곡점에서 생분해성 고분자 복합재의 유리전이 온도를 Fig. 5에서와 같이 측정할 수 있는데 측정된 옥수수 전분의 혼합 비율에 따른 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보면 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 생분해성 복합재의 유리전이온도에는 큰 영향이 없이 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 생분해성 복합재에서 유리전이온도 값의 차이를 볼 수 없었던 것은 생분해성 고분자와 충전제인 옥수수 전분 간의 화학적인 결합이 이루어지지 않았고 단지 생분해성 고분자가 용융되면서 전분을 둘러싸고 있는 형태를 유지했기 때문이라 볼 수 있을 것이다. 만일 두 물질간의 화학적인 결합이 발생하였다면 생분해성 복합재의 유리전이온도에 변화가 있을 것이라 예상해 볼 수 있었고 결합제(coupling agent)를 첨가하여 두 물질간의 계면에서 결합이 일어난다면 결합제를 첨가한 생분해성 복합재의 유리전이온도에 약간의 변화가 발생할 수 있었을 것이라 본다. Fig. 6은 생분해성 고분자 복합재의 용융온도를 측정하기 위한 DSC 곡선이며 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서도 볼 수 있듯이 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 생분해성 복합재의 용융온도에는 큰 변화가 없었다. 위의 결과로 인하여 생분해성 복합재의 유리전이온도와 용융온도를 결정하는데 있어서 기질인 생분해성 고분자가 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 또한 생분해성 복

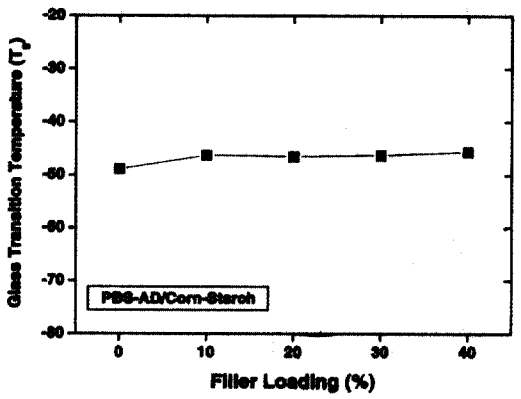

Fig. 7. The glass transition temperatures (T_g) of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

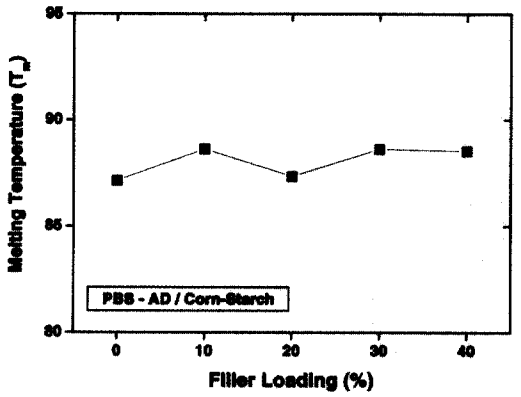

Fig. 8. The melting temperatures (T_m) of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

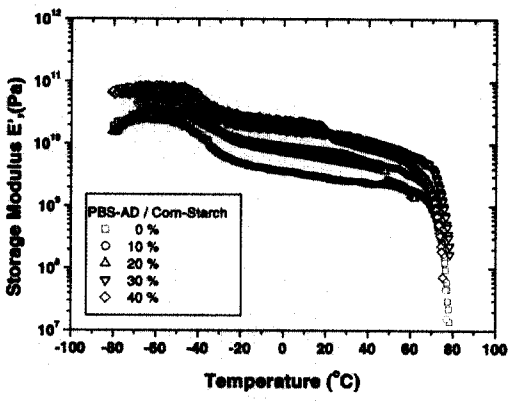

Fig. 9. Storage modulus (E') of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

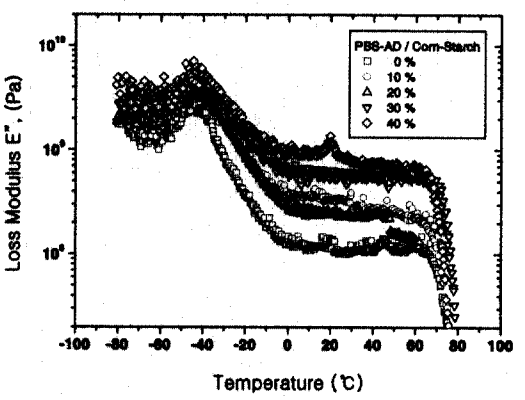

Fig. 10. Loss modulus (E") of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

합재의 용융온도는 생분해성 복합재 제조 시 제조 온도를 결정하는데 있어서 중요한 역할을 하게 된다 (Ratto *et al.*, 1999; Wu, 2003).

3.3. 점탄성적 성질(Dynamic mechanical thermal analyzer, DMTA) 분석

Figs. 9와 10은 생분해성 복합재의 저장 탄성율(storage modulus)값과 손실 탄성율(loss modulus) 값을 나타내었다. 생분해성 복합재의 필름에서 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 저장 탄성율 값과 손실 탄성율 값이 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 위의 결과는 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 생분해성 복합재의 강성이 증가하기 때문이다. 위의 결과는 Fig. 11의 상온 24°C에서 생분해성 복합재의 저장 탄성율 값을 측정해 본 결과 같은 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 9에서 보면 -80°C에서는 생분해성 복합재가 유리와 같은 딱딱한 성질을 유지하다가 온도가 증가할수록 유리와 같은 성질이 점점 감소하는 것을 볼 수 있으며 생분해성 고분자의 용융온도인 80°C에서는 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 생분해성

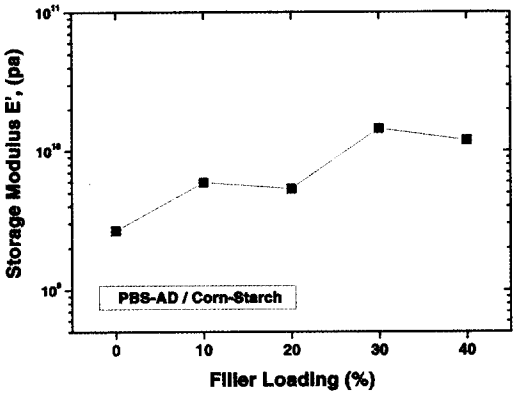

Fig. 11. Storage modulus (E') of corn-starch filled PBS-AD bio-composites at room temperature (24°C).

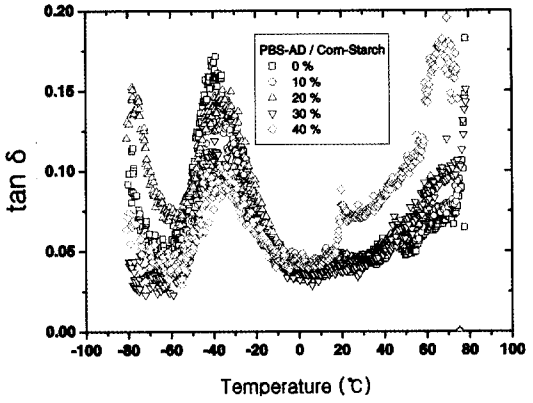

Fig. 12. tan δ of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

고분자가 저온에서는 유리와 같은 딱딱한 성질을 유지하다가 유리전이온도 근처인 -40°C 이상에서는 고분자 체인의 운동성이 증가하면서 점성의 성질이 증가하다가 용융온도 근처에서는 생분해성 고분자의 점성이 크게 증가하면서 필름의 형성이 끊어지게 됨으로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 일반적으로 열가소성 고분자는 유리전이 온도 이하에서는 유리와 같은 딱딱한 성질을 나타내게 되며 온도가 증가하면서 유리와 같은 성질을 잃어버리게 되고 점성이 증가하게 된다. 위의 결과는 Fig. 10에서 생분해성 복합재의 손실 탄성율 값에서도 확인할 수 있었다(Joseph *et al.*, 2003).

Fig. 12에서는 생분해성 복합재의 저장 탄성율/손실 탄성율 값인 tan δ의 그래프를 볼 수 있다. 온도가 증가할수록 tan δ 값이 증가하는 현상을 볼 수 있는데 이것은 온도가 증가하면서 생분해성 복합재의 점성이 증가하기 때문이다. tan δ T_{max} (°C)에서 생분해성 복합재의 유리전이온도를 측정할 수 있는데 측정된 유리전이 온도는 Fig. 13에서 볼 수 있다. 생분해성 복합재의 유리전이온도를 보면 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 생분해성 복합재의 유리전이온도에서는 큰 변화가 없었다. 위의 결과는 DSC에서 측정한 값에서도 같은 결과를 얻을 수 있었다. Ratto 등(1999)은 생분해성 고분자에 옥수수 전분을 충전제로 첨가하여 복합재 제조 후 저장 탄성율 값에 의해 유리

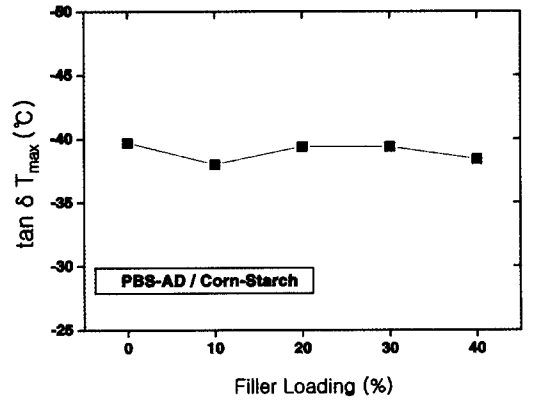

Fig. 13. tan δ maximum temperature of corn-starch filled PBS-AD bio-composites.

전이 온도를 측정 하였는데 옥수수 전분의 함량에 따라 복합재의 유리전이 온도에는 큰 변화가 없다고 발표하였다. 위의 결과를 종합해 보면 생분해성 고분자와 옥수수 전분 간의 화학적 결합은 발생하지 않았고 계면에서의 결합력도 낮다는 것을 알 수 있었다. 옥수수 전분의 첨가로 인하여 복합재의 강성이 증가하였고 생분해성 복합재의 유리전이온도와 점탄성적 성질에는 기질인 생분해성 고분자가 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

열중량 분석기에 의한 생분해성 복합재의 열적 성질을 측정한 결과 옥수수 전분보다는 생분해성 고분자의 열안정성이 높게 나타났고 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 열분해 온도는 감소하였으며 회분의 함량은 약간 증가하였다. 또한 기존의 비분해성 고분자인 PP, HDPE 그리고 생분해성 고분자와의 열안정성을 비교해 본 결과 생분해성 고분자가 낮은 열안정성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 점탄성 측정기에서 필름으로 제조한 생분해성 고분자의 점탄성적인 성질을 측정한 결과 옥수수 전분의 함량이 증가할수록 필름의 강성이 증가하는 성질을 관찰할 수 있었으며 저온에서는 유리와 같은 딱딱한 성질을 유지하다가 온도가 증가할수록 생분해성 고분자에 의해 점성이 증가하면서 고무와 같은 성질을 나타내다가 생분해성 고분자의 용융온도 부근에서는 저장 탄성율 값과 손실 탄성율 값이 급격히 감소하는 현상을 나타내었다. tan δ T_{max} (°C)에서 생분해성 복합재의 유리전이온도를 측정한 결과 옥수수 전분의 함량에 따라 큰 변화가 없었다. 시차주사 열량계로 생분해성 복합재의 유리전이온도와 용융온도를 측정해 본 결과 옥수수 전분의 함량에 따라 큰 변화는 없었으며, 이 결과로 인하여 생분해성 고분자와 옥수수 전분사이의 계면에서 화학적인 결합이 발생하지 않았다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 두 물질 간의 계면에서 결합을 증가시키기 위해서는 결합제의 첨가가 요구되며, 측정된 생분해성 복합재의 열적성질을 통해 생분해성 복합재의 제조온도 및 사출온도를 결정할 수 있었다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00104-0) 지원으로 수행되었음.

김희수 그리고 양한승은 Brain Korea 21과제를 통한 교육부의 연구비를 지원받아 수행되었음을 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Alvarez, V. A. and A. Vazquez. 2004. Thermal degradation of cellulose derivatives/starch blends and sisal fiber biocomposites. Polymer Degradation and stability. In press.
2. Choi. S-H., K-N. Kang, T-H. Park, and P-K. Shin. 1996. Measurement for determining the biodegradation of starch-filled polyethylene film by α-amylose. Korean Journal of Biotechnol Bioenergy. 11: 86~91
3. Eom, Y.-G., H.-S. Kim, H.-S. Yang, and H.-J. Kim. 2004. Physical properties of agro-flour filled aliphatic thermoplastic polyester bio-composites. Mokchae Konghak. 32(3): 71~78.
4. Franco, C. R., V. P. Cyras, J. P. Busalmen, R. A. Ruseckaite, and A. Vazquez. 2004. Degradation of polycaprolactone/starch blends and composites with sisal fibre. Polymer Degradation and Stability. In press.
5. Fujimaki, T. 1998. Processability and properties of aliphatic polyester BIONOLLE synthesized by polycondensation reaction. Polymer Degradation and Stability 59: 209~214.
6. Joseph, P. V., G. Mathew, K. Joseph, G. Groeninckx, and S. Thomas. 2003. Dynamic mechanical properties of short sisal fiber reinforced polypropylene composites. Composites Part:A. 34(3): 275~290.
7. Kim, H.-S., H.-S. Yang, H.-J. Park, and H.-J. Kim. 2004. Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermoplastic polymer composites. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 76: 395~404.
8. Nikolic, M. S. and J. Djonlagic. 2001. Synthesis and characterization of biodegradable poly(butylene succinate-co-butylene adipate)s. Polymer Degradation and Stability. 74: 263~270.
9. Ratto, J. A., P. J. Stenhouse, M. Auerbach, J. Mitchell, and R. Farrell. 1999. Processing, performance and biodegradability of a thermoplastic aliphatic polyester starch system. Polymer. 40: 6777~6788.
10. Son, J, H.-S. Yang, and H.-J. Kim. 2002. Interfacial phenomena of lignocellulose fiber/ thermoplas-

tic polymer composite. Adhesion and Interface. 3(4): 44~52.
11. Scott, G., D. Gilead. 1995. Degradable Polymers. Chapman and Hall. P. 112~133
12. Uesaka, T., K. Nakane., S. Maeda, T. Ogihara, and N. Ogate. 2000. Structure and physical properties of poly(butylene succinate)/cellulose acetate blends. Polymer. 41: 8449~8454.
13. Takeda, Y. and S. Hizukuri. 1987. Structures of branchedmolecules of amylose of various origines and molar fractions of branched molecules. Carbohydrate Research. 165: 139~145.
14. Wu, C. S. 2003. Physical properties and biodegradability of maleated of polycaprolactone/starch composite. Polymer Degradation and Stability. 80: 127~134.