

## 새로운 라이오셀/poly(butylene succinate) 바이오복합재료의 층간전단, 기계적, 열적 특성에 미치는 섬유함량의 영향

이재영<sup>1</sup> · 김진명<sup>1</sup> · 조동환<sup>1,†</sup> · 박종규<sup>2</sup>

<sup>1</sup>금오공과대학교 고분자공학과 고분자/바이오복합재료연구실, <sup>2</sup>국방과학연구소 복합재료연구팀  
(2009년 5월 25일 접수, 2009년 6월 11일 수정, 2009년 6월 11일 채택)

## Fiber Loading Effect on the Interlaminar, Mechanical, and Thermal Properties of Novel Lyocell/Poly(butylene succinate) Biocomposites

Jae Young Lee<sup>1</sup>, Jin Myung Kim<sup>1</sup>, Donghwan Cho<sup>1,†</sup>, and Jong Kyoo Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Polymer/Bio-Composites Research Lab, Department of Polymer Science and Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Gyungbuk 730-701, Korea

<sup>2</sup>Composites Research Team, Agency for Defense Development, Yuseong 35-4, Daejeon 305-152, Korea  
(Received May 25, 2009; Revised June 11, 2009; Accepted June 11, 2009)

**요약:** 본 연구에서 처음으로 생분해성 라이오셀 직물과 poly(butylene succinate) (PBS)로 이루어진 바이오복합재료가 성공적으로 제조되었다. 0, 30, 40, 50 그리고 60 wt%의 서로 다른 함량의 라이오셀 직물을 포함하는 라이오셀/poly(butylene succinate) 바이오복합재료는 sheet interleaving 방식으로 압축성형에 의해 제조되었다. 바이오복합재료의 층간전단강도, 인장 및 굴곡 특성, 열변형 온도, 열팽창 거동 및 열안정성에 미치는 라이오셀직물 함량의 영향을 조사하였다. 특성들은 직물함량에 크게 의존하였으며, 그 결과들은 서로 일치하였다. 라이오셀직물을 수지에 도입하는 것이 poly(butylene succinate)의 여러 가지 특성 향상에 두드러진 역할을 하는 것으로 확인되었다. 라이오셀직물이 중량비로 50%일 때, 바이오복합재료의 가장 우수한 층간전단강도, 인장, 굴곡 및 열적 특성이 얻어졌다.

**Abstract:** In the present work, novel biocomposites made with biodegradable Lyocell woven fabrics and poly(butylene succinate) were successfully fabricated for the first time. Lyocell/poly(butylene succinate) biocomposites with different fiber loadings of 0, 30, 40, 50 and 60 wt% were prepared by compression molding with a sheet interleaving manner. The effect of Lyocell fabric loading on the interlaminar shear strength, tensile and flexural properties, heat deflection temperature, thermal expansion behavior, and thermal stability of the biocomposites was investigated. The properties strongly depended on the fabric loading and the results were consistent with each other. It was demonstrated that the Lyocell fabrics played a remarkable role in improving the properties of poly(butylene succinate) resin by incorporating the fabrics into the resin. The greatest interlaminar, tensile, flexural and thermal properties of the biocomposites were obtained with Lyocell fabrics of 50% by weight.

**Keywords:** Lyocell, poly(butylene succinate), biocomposite, interlaminar shear strength, mechanical properties, heat deflection temperature, thermal expansion, thermal stability

### 1. 서 론

전 세계적으로 화석연료 사용의 증가와 석유에 기반을 둔 자원으로부터 야기되는 환경오염 그리고 그

린에너지의 중요성이 강조되면서 천연자원으로부터 얻을 수 있는 친환경소재 및 자연계 순환이 가능한 생분해성 소재 또는 폐플라스틱의 문제 해결에 도움을 줄 수 있는 재활용소재에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 최근 친환경소재로서 가격도 저렴하며 지속가능성(sustainability)이 있는 천연섬유를 활용한 바

<sup>†</sup>Corresponding author: Donghwan Cho (dcho@kumoh.ac.kr)

이오복합재료(biocomposite)에 대한 관심이 증가하고 있다[1-4]. 또한 생분해성 poly(lactic acid) (PLA) 및 poly(butylene succinate) (PBS)와 같은 열가소성 수지를 사용하여 제조한 바이오플라스틱 및 바이오복합재료에 대한 연구개발도 크게 증가하고 있다[5-7].

PBS수지는 지방족 글리콜(glycol)류와 디카르복실산(dicarboxylic)류를 주원료로 하여 축합중합 방법에 의하여 제조될 수 있다. 이 수지는 대기 중에서 안정한 펠렛, 필름, 또는 분말 상태를 유지하나, 호수, 강, 바다에 버려졌을 때 또는 매립이나 퇴비 조건 하에서 일정 시간 동안 자연계의 미생물에 의해 완전한 생분해가 가능하다. PBS수지는 분자구조상 완전연소가 가능하며, 소각 시 다이옥신과 같은 유해가스나 부산물이 발생하지 않으므로 환경친화적인 측면과 에너지 활용 측면에서 매우 유용한 소재이다. PBS의 특성은 범용 열가소성 수지인 폴리에틸렌과 유사하다. 용융점이 낮아 성형에 용이하며, ductile하여 잘 깨지지 않으며, 신률이 높은 편이다. 그러나 기계적 특성 등이 낮아 물성 향상을 위한 개선이 요구되기도 한다. PBS수지의 낮은 물성을 향상시키기 위한 목적으로 Cho *et al.*은 PBS를 매트릭스로 하는 바이오복합재료에 대한 연구결과를 보고하였다[8-10].

라이오셀(Lyocell)섬유는 천연목재나 펄프로부터 건식 및 습식방사를 통해서 생산된다. 즉 천연자원인 셀룰로스에 근간을 두고 있는 합성섬유라 할 수 있다. 라이오셀섬유는 완전한 생분해가 가능하며, 부드러운 촉감과 드레이프성, 탄력성 등이 우수하고 내구성 또한 뛰어난 특징을 가지고 있다. 라이오셀섬유는 셀룰로스계 재생섬유인 레이온섬유와 비교할 때, 공정, 환경, 인체 무해성 측면에서 많은 장점을 지니고 있다[11,12].

라이오셀섬유는 1969년 Eastman Kodak사가 셀룰로스 용매로 NMMO (N-methylmorpholine-N-oxide)를 적용한 특허와 함께 일반에 공개되었다. 라이오셀의 제조공정 단계는 기존의 비스코스 레이온섬유의 제조공정에 비해 매우 단순하며 친환경적이다. 공정 과정에서 NMMO와 물이 거의 100% 순환 재생될 수 있기 때문에 경제성 측면에서도 장점이 있다. 라이오셀은 고결정성, 침상결정, 결정배향성, 그리고 비결정영역의 고배향성 등을 가지기 때문에 건조하거나 습한 조건에서의 인장강도가 높고, wet modulus가 높으며, loop tenacity도 높은 것으로 알려져 있다[13]. 라이오셀을 이용한 복합재료에 대한 연구는 매우 드물다. 최근에 Johnson *et al.*[14]은 짧게 자른 라이오셀섬유를 보강재로 하고, 폴리프로필렌을 매트릭스로 하는 복합재료를 제조하여 그 물성에 미치는 라이오셀 함량의 영향을 보고한 바 있다.

따라서 본 연구의 목적은 직물 형태의 라이오셀섬유와 생분해성 PBS 수지로 구성된 바이오복합재료를

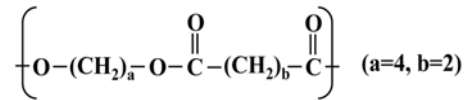


Figure 1. Chemical structure of poly(butylene succinate) used in this work.

처음으로 제조하고, 그들의 기계적 계면전단강도, 기계적 특성 및 열적 특성에 미치는 라이오셀직물 함량의 영향을 조사하는 것이다.

## 2. 실험

### 2.1. 재료

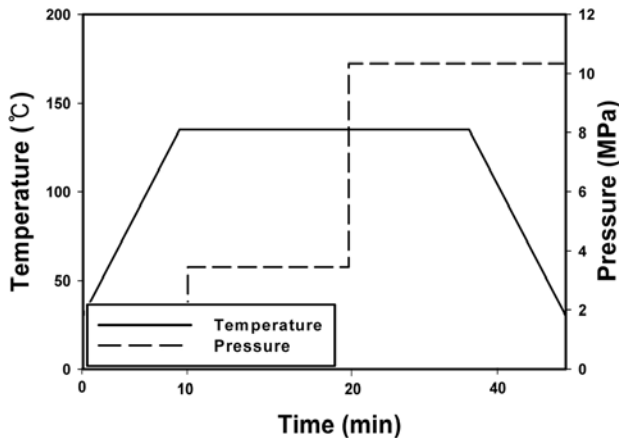
본 연구에서 바이오복합재료의 보강섬유로 사용된 라이오셀직물은 (주)효성에서 제조된 라이오셀 원사를 사용하여 (주)한국화이버에서 능직(twill)으로 직조된 직물이다. 라이오셀직물의 위사(warp)방향의 길이는 1,000 mm이고, 경사(fill)방향의 길이는 약 5,000 mm였다. 지방족 폴리에스터계 생분해성 고분자수지인 PBS는 (주)이래화학으로부터 구입하여 사용하였으며, 그 화학구조를 Figure 1에 나타내었다. 바이오복합재료 성형에 앞서 PBS펠렛과 라이오셀직물은 100°C의 오븐에서 24 h 동안 충분히 건조시킨 후에 사용하였다.

### 2.2. 라이오셀/PBS 바이오복합재료 제조

라이오셀/PBS 바이오복합재료는 압축성형 방법으로 제조하였다. 일정량의 PBS펠렛을 hot-press의 상·하 plate 사이에 놓고, 130°C에서 약 10.3 MPa (1,500 psi)의 압력을 가하여 두께가 약 0.4 mm인 PBS시트를 여러 장 반복하여 준비하였다. 금형 내부에 위치한 라이오셀직물을 사이에 PBS시트를 끼워넣는 linterleaving 방법으로 적층한 후, 금형온도 135°C에서 약 10.3 MPa의 압력으로 35 min간 유지시킨 후, 금형을 상온까지 냉각시킨 다음 성형된 라이오셀/PBS 바이오복합재료를 얻었다. 이때 라이오셀의 함량은 각각 30 wt%, 40 wt%, 50 wt% 그리고 60 wt%이었으며, 제조된 바이오복합재료의 크기는 100 mm × 150 mm × 50 mm였다. Figure 2는 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 성형에 적용된 온도-시간-압력 조건을 보여준다.

### 2.3. 기계적 계면특성 시험

라이오셀/PBS 바이오복합재료의 층간전단강도(interlaminar shear strength: ILSS)를 측정하기 위해서 ASTM D2344에 의거하여 만능시험기(UTM: Instron 4467)를 사용하여 short-beam shear test를 수행하였다. 시편의 span-to-depth 비율은 5 : 1이었으며, 사용한 load cell은 30 kN, crosshead speed는 분당 1.3 mm였다. 각 시편은



**Figure 2.** A time-temperature-pressure profile for processing Lyocell/PBS biocomposites using a compression molding method.

10개씩 측정하였으며, 그 평균값으로부터 바이오복합재료의 층간전단강도를 구하였다.

#### 2.4. 인장시험

PBS 그리고 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 인장특성을 조사하기 위하여 DIN 53455에 의거하여 만능시험기(Instron 4467)를 사용하여 인장시험을 수행하였다. 측정된 시편의 크기는 길이 150 mm, 너비 15 mm, 두께 5 mm였다. 30 kN의 인장 load cell을 사용하였으며, crosshead speed는 분당 10 mm였다. 직물함량별로 6개의 시편을 측정하여 평균값으로부터 바이오복합재료의 인장강도와 인장탄성률을 구하였다.

#### 2.5. 굴곡시험

PBS 그리고 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 굴곡특성을 조사하기 위하여 ASTM D790에 의거하여 만능시험기(Instron 4467)를 사용하여 3점 굴곡시험을 수행하였다. 측정된 시편크기는 길이 100 mm, 너비 10 mm, 두께 5 mm였으며, span-to-depth 비율은 16 : 1 이었다. 사용한 load cell은 30 kN, crosshead speed는 분당 0.85 mm였다. 각 조건별로 준비된 시편마다 10개를 측정하여 평균값으로부터 PBS 및 바이오복합재료의 굴곡강도와 굴곡탄성률을 구하였다.

#### 2.6. 열변형온도 측정

PBS 그리고 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 열변형온도(heat deflection temperature: HDT)는 ASTM D648에 의거하여 열변형온도측정기(Tinius Olsen, Model 603)를 사용하여 측정하였다. 열변형온도의 측정 방법은 다음과 같다. 시편의 크기에 따라 하중을 시편에 가한 다음, 시편을 실리콘오일 bath에 침지하여 약 3~5

min 동안 예열시킨 후, 오일을 120°C/h의 속도로 측정 온도까지 가열하였다. 오일온도가 상승됨에 따라 시편의 변형은 진행되며, 이때 변형이 0.254 mm까지 일어나는 온도를 측정하였다. 시편크기는 길이 135 mm, 너비 15 mm, 두께 5 mm였으며, nominal 시험하중은 313 g, 응력은 0.5 MPa이었다. 각 조건마다 4개의 시편을 측정하였으며, 그 평균값으로부터 열변형온도를 구하였다.

#### 2.7. 열팽창 측정

라이오셀/PBS 바이오복합재료의 열팽창계수(coefficient of thermal expansion: CTE)는 열기계분석기(Thermomechanical analyzer: TMA 2940, TA Instruments)를 사용하여 상온부터 95°C까지 측정하였다. 승온속도는 분당 2°C였으며, expansion mode를 사용하였다. Probe 하중 0.05 N이 시편에 가해지는 상태에서 질소가스를 50 mL/min의 속도로 주입하면서 실험을 수행하였다.

#### 2.8. 열안정성 분석

라이오셀 섬유, PBS 그리고 라이오 셀/PBS 바이오복합재료의 열안정성을 조사하기 위해 열중량분석기(Thermogravimetric analyzer: TGA Q500, TA Instruments)를 사용하였다. 각 시편의 중량은 약 20 mg이었으며, 상온에서 600°C까지 분당 20°C의 승온속도로 질소분위기하에서 수행하였다. 질소가스의 투입량은 분당 50 mL였으며, 열분해 거동을 더욱 세밀하게 분석하기 위하여 DTG (Derivative thermogravimetry) 곡선의 변화도 함께 관찰하였다.

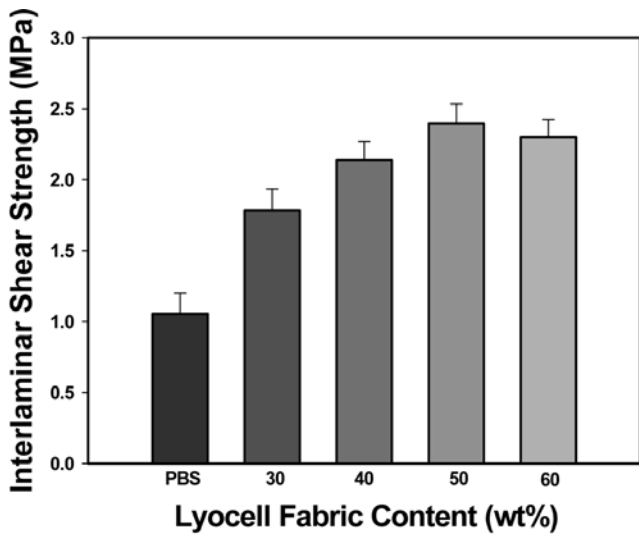
#### 2.8. 파단면 관찰

PBS와 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 파단면을 조사하기 위하여 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM, JEOL JSM 6380)을 사용하였다. 시편표면에 전도성을 부여하기 위하여 일정 시간 동안 스퍼터링(sputtering) 방법에 의해 시편의 표면을 백금(pt)으로 약 5 min간 2회 반복 코팅한 후 파단면을 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 기계적 계면특성

Figure 3은 라이오셀직물의 함량을 30, 40, 50 그리고 60 wt%로 달리하여 제조한 라이오셀/PBS 바이오복합재료에 대한 short-beam shear test를 수행하여 얻은 층간전단강도(ILSS) 결과를 보여준다. 라이오셀직물의 함량이 50 wt%까지 증가할수록 ILSS값이 점차적으로 증가하였으며, 직물함량이 60 wt%일 때 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 바이오복합재료의 기계



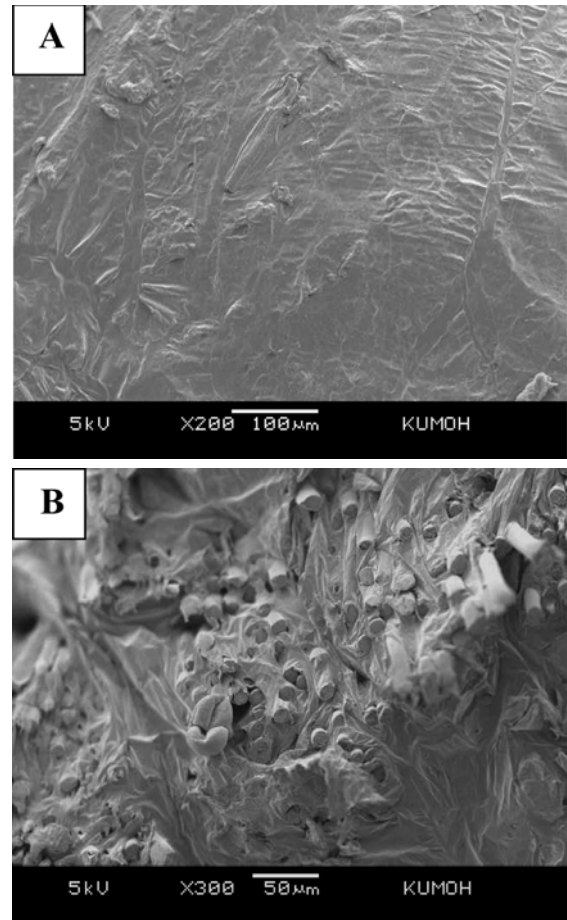
**Figure 3.** Interlaminar shear strengths measured for Lyocell/PBS biocomposites with four different fiber loadings, using a short-beam shear test.

적 계면특성은 식물함량 50 wt%의 경우 30 wt% 대비 약 37%가 향상되었다. 식물함량이 증가함에 따라 ILSS 값의 증가는 성형공정 시 PBS수지가 용융되면서 50 wt%까지 라이오셀 직물을 잘 적셔주며, 직물을 이루고 있는 각개의 섬유필라멘트들은 PBS 매트릭스수지에 의해 고르게 둘러싸여 있음을 나타낸다. 식물함량이 증가할수록 시편의 두께방향에 존재하는 섬유-수지 접착층이 증가하므로 각 계면에서의 라이오셀-PBS 접착이 라미네이트의 층간전단강도를 증가시켰을 것으로 사료된다.

60 wt%에서는 직물을 구성하고 있는 섬유가 상대적으로 많아 PBS수지가 모든 섬유필라멘트를 충분히 적셔주지 못하였기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 불충분한 적심 현상은 복합재료의 섬유-매트릭스 사이의 계면접착성 뿐만 아니라, 본 연구에서 다루고 있는 2방향(2-D) 형태의 라이오셀직물/PBS 바이오복합재료를 구성하고 있는 직물의 층간 결합력을 저하시켜, 결과적으로 ILSS값을 낮추는 결과를 초래한 것으로 해석된다. Figure 4는 PBS수지(A) 및 50 wt% 라이오셀직물/PBS 바이오복합재료(B)의 파단면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다. 라이오셀직물을 이루고 있는 각 섬유필라멘트들이 고르게 분산되어 있으며, PBS수지에 의해 잘 둘러싸여 있음을 확인할 수 있다.

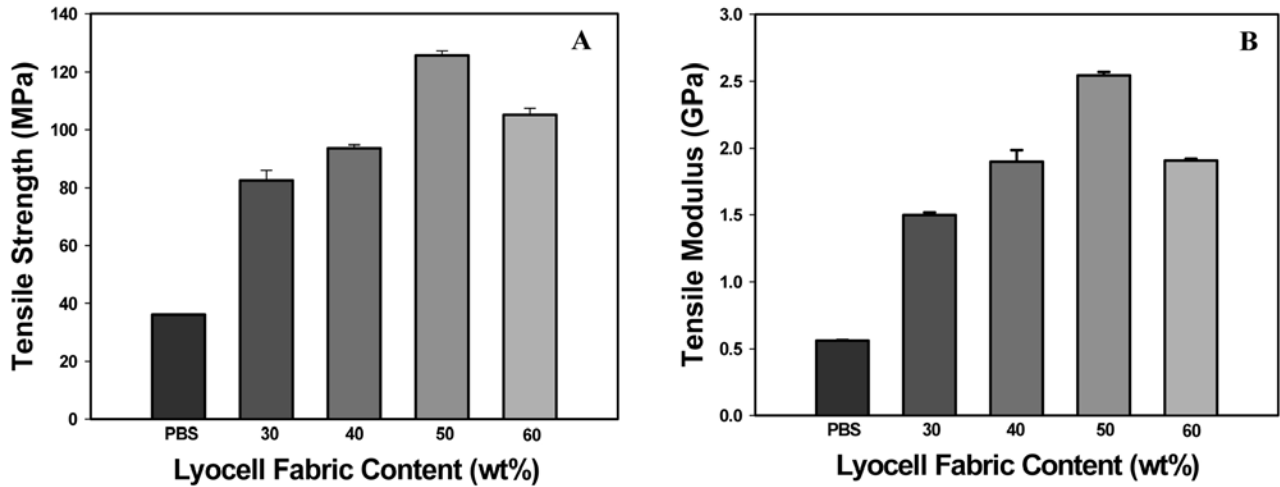
### 3.2. 기계적 특성

Figure 5는 라이오셀직물 함량을 30, 40, 50, 60 wt%로 달리하여 제조한 라이오셀/PBS 바이오복합재료에 대하여 측정된 인장강도(A)와 인장탄성률(B)을 비교한 결과이다. 식물함량이 50 wt%까지 증가할수록 바이오

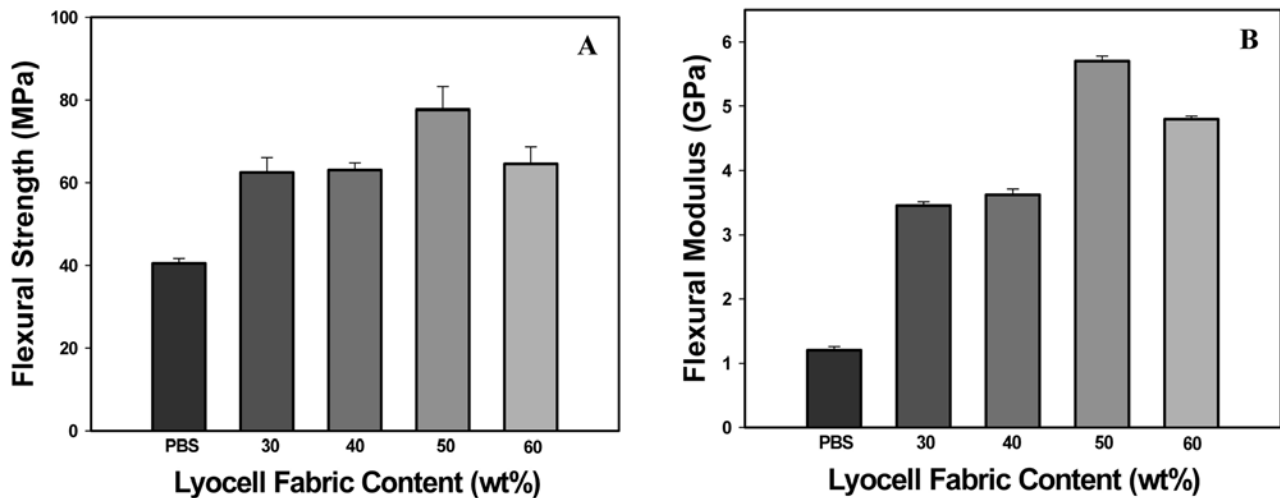


**Figure 4.** SEM micrographs showing the fracture surfaces of PBS (A) and Lyocell/PBS biocomposites (B).

복합재료의 인장강도와 인장탄성률은 점차적으로 증가하였으며, 최대 증가율은 50 wt%의 경우 PBS 대비 인장강도의 경우 약 230%, 인장탄성률의 경우 약 350%였다. 그러나 식물함량이 60 wt%일 때 인장강도와 인장탄성률은 50 wt%의 경우보다 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이, 60 wt%에서 인장특성의 감소는 60 wt% 라이오셀섬유가 매트릭스의 보강효과를 주고 있지만, 복합재료 내에 존재하는 섬유가 상대적으로 많아 PBS수지가 일부 섬유필라멘트를 충분히 적셔주지 못하였기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 불충분한 적심 현상은 복합재료를 이루고 있는 일부 섬유와 섬유 사이에 수지가 채워지지 않고 남아있는 보이드(void)의 존재를 초래할 수 있다. 이는 나아가 복합재료의 섬유-매트릭스 사이의 계면접착성의 저하뿐만 아니라, 라이오셀직물/PBS 바이오복합재료의 기계적 특성의 저하를 야기할 수 있다. 이러한 이유는 섬유-매트릭스 사이의 계면접착성이 떨어지면, 복합재료에 기계적 하중이 가해질 때 매트릭스로



**Figure 5.** (A) Tensile strength and (B) tensile modulus measured for PBS and Lyocell/PBS biocomposites with four different fiber loadings.



**Figure 6.** (A) Flexural strength and (B) flexural modulus measured for PBS and Lyocell/PBS biocomposites with four different fiber loadings.

부터 섬유로 하중이 잘 전달되지 않아 하중을 분산시키는 역할을 효과적으로 수행하지 못하기 때문이다.

매트릭스수지의 보강 목적으로 도입된 직물이 최적 함량을 넘어 과잉으로 사용될 때, 즉 사용되는 수지의 함량이 적어 섬유를 충분히 적셔주지 못할 때, 오히려 기계적 물성을 저하시키는 현상은 Figure 6에서 보여주는 바와 같이, 60 wt%의 라이오셀직물이 들어간 바이오복합재료의 굴곡특성 결과로부터 다시 확인할 수 있다. 라이오셀직물 함량에 따른 바이오복합재료의 굴곡강도와 굴곡탄성률의 변화는 Figure 5에서 보여준 인장강도와 인장탄성률 변화 경향과 유사하였다. 라이오셀직물의 도입으로 PBS의 굴곡강도는 약 95% 가량 증대되었으며, 굴곡탄성률은 약 360% 크게 증가하면

서 두드러지게 향상되었다.

### 3.3. 열변형온도

Figure 7은 서로 다른 함량의 라이오셀직물을 사용하여 제조된 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 열변형온도 (HDT)를 측정된 결과이다. PBS의 열변형온도는 약 95°C 인 것으로 조사되었으며, 라이오셀직물의 함량이 증가할수록 증가하는 것을 확인할 수 있다. 바이오복합재료의 열변형온도는 직물함량이 30 wt%일 때 104°C 그리고 50 wt%일 때 107°C로 PBS 대비 약 12°C가 증가하였다. 이는 라이오셀직물의 함량이 50 wt%까지 섬유보강효과가 증가하였기 때문이며, 이러한 효과는 측정 시 시편의 두께 방향으로 가해지는 3점 굴곡하중에 대한 시편 저항성의

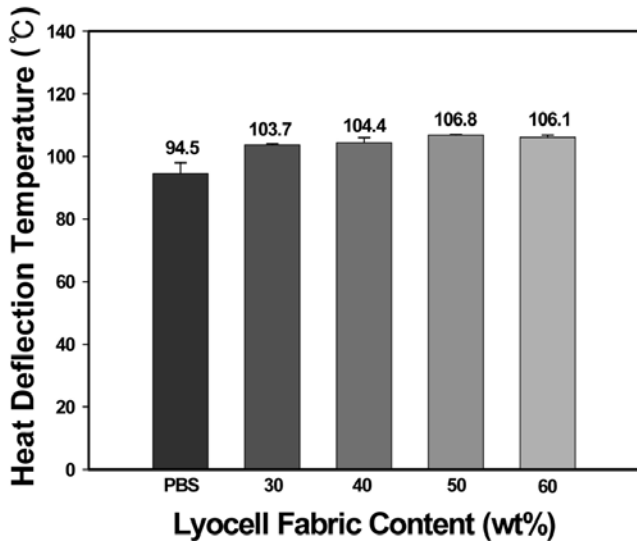


Figure 7. Heat deflection temperatures measured for PBS and Lyocell/PBS biocomposites with four different fiber loadings.

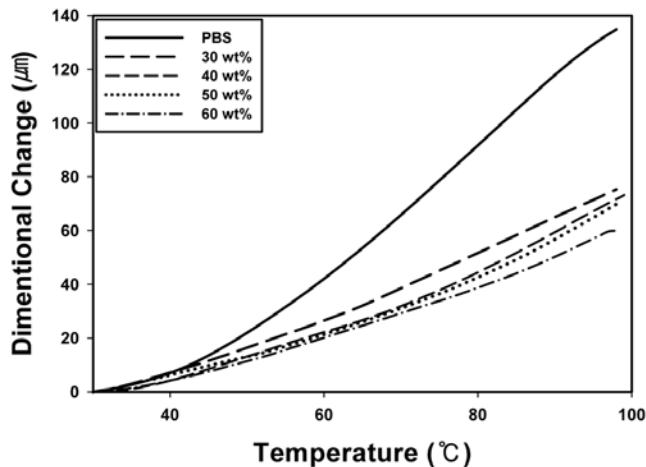


Figure 8. Dimensional changes as a function of temperature measured for PBS and Lyocell/PBS biocomposites with four different fiber loadings, showing their thermal expansion behavior.

향상에 기여한 것으로 판단된다. 앞서 언급한 바와 같이, 식물함량 60 wt%에서 섬유보강효과는 50 wt%보다 다소 감소되었으나, 열변형온도는 크게 감소하지 않았다.

### 3.4. 열팽창 거동

Figure 8은 PBS 및 라이오셀식물의 함량을 달리하여 제조한 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 열팽창 거동을 조사한 결과이다. 상온부터 95°C까지 측정된 PBS의 선형 열팽창계수(CTE)는 약 2.1  $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$  값을 나타내었으며, 바이오복합재료의 열팽창계수는 라이오셀식물이

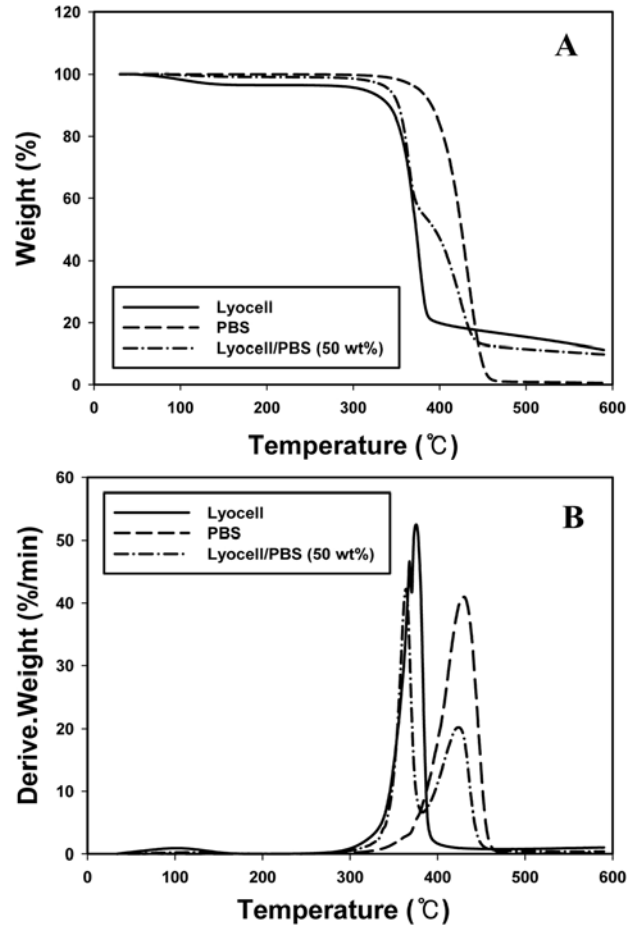


Figure 9. (A) TGA and (B) DTG curves measured in  $\text{N}_2$  for Lyocell, PBS, and a Lyocell/PBS biocomposite.

30 wt%일 때 1.1  $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$  그리고 50 wt%일 때 1.0  $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ 로 PBS 대비 약 50%의 감소를 보여주었다. 이는 매트릭스수지에 분산되어 있는 라이오셀섬유가 PBS수지의 열팽창을 억제하는데 기여하였음을 증명해주는 결과이다. 60 wt% 식물의 경우 상대적으로 가장 낮은 열팽창계수(0.9  $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ )를 갖는 것으로 조사되었다. 따라서 60 wt%에서 섬유 대비 상대적으로 적은 수지의 함량에서 부분적으로 수지에 의한 섬유의 적심이 충분하게 이루어지지 못하는 현상이 예상되지만, 그 함량에서 식물이 보여주는 보강효과가 바이오복합재료의 열팽창 억제에 도움을 주는 것으로 판단된다.

### 3.5. 열안정성

Figure 9는 라이오셀식물, PBS 그리고 50 wt% 라이오셀/PBS 바이오복합재료에 대한 TGA (A)와 DTG (B) 결과를 보여준다. 라이오셀은 재생 셀룰로스로부터 얻어진 레이온섬유의 경우[15]와 유사하게, 100°C 이전에서 섬유자체에 함유되어 있는 물분자가 제거되면

서 전체중량 대비 약 5 wt%의 초기중량 감소를 보여주었다. 약 150°C부터 300°C까지 중량은 일정하게 유지되다가, 300°C 이상에서 섬유가 열분해되면서 급격한 중량감소를 나타내었다. 가장 빠른 속도의 중량감소는 약 370°C 부근에서 발생하였으며, 약 380°C에서는 라이오셀직물 전체중량의 약 80%가 손실되었음을 알 수 있다.

PBS수지는 약 320°C까지 열적으로 매우 안정하였다. 열분해는 약 350°C부터 발생하였으며, 약 425°C 부근에서 가장 빠른 중량감소를 나타내었다. PBS수지는 450°C 부근에서 잔여중량 없이 완전히 열분해가 되었음을 알 수 있다. 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 열안정성은 라이오셀과 PBS의 열안정성을 반영한 중간영역에서 관찰되었다. 각 온도영역에서 중량감소 현상은 Figure 9(B)의 DTG 결과에서 보다 명확하게 확인할 수 있듯이, 바이오복합재료는 약 360°C와 420°C에서 두 개의 중량감소 피크를 보여주었다. 두 피크는 각각 라이오셀과 PBS에 기인한 것이며, 바이오복합재료의 열적 거동은 라이오셀의 최고 중량감소 피크온도 370°C를 약 10°C 가량 낮추고, PBS의 최고 중량감소 피크온도 425°C를 약 5°C 가량 낮추는 것으로 조사되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 라이오셀직물로 구성된 2-D 라이오셀/PBS 바이오복합재료를 처음으로 제조하였으며 그들의 특성을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 바이오복합재료의 층간전단강도는 라이오셀직물의 함량이 증가함에 따라 50 wt%까지 증가하였으며, 기계적 계면특성은 50 wt%의 경우 30 wt% 대비 약 37%가 향상되었다.

2) 바이오복합재료의 기계적 특성은 PBS에 라이오셀 직물을 도입함으로써 직물함량에 따라 매우 크게 향상되었다. 최대 증가율은 직물함량 50 wt%의 경우 PBS 대비 인장강도는 약 230%, 인장탄성률은 약 350%가 증가하였으며, 굴곡강도는 약 95%, 굴곡탄성률은 약 360% 증가하였다. 직물 형태 라이오셀섬유의 사용이 바이오복합재료의 굴곡탄성률의 향상에 더욱 크게 기여하였다.

3) PBS의 열변형온도는 약 95°C인 것으로 조사되었으며, 라이오셀직물의 함량이 증가할수록 증가하였다. 바이오복합재료의 열변형온도는 직물함량이 50 wt%일 때 PBS 대비 약 12°C가 증가하였다.

4) 바이오복합재료의 열팽창계수는 PBS과 비교할 때 약 50% 감소되었다. PBS수지에 분산되어 있는 라이오셀섬유가 PBS수지의 열팽창을 억제하는데 기여하였음이 확인되었다.

5) 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 열안정성은 라

이오셀과 PBS 각각의 열안정성을 반영하여 두 개의 중량감소 피크를 보여주며 중간영역에서 나타났다.

6) 라이오셀직물이 60 wt% 포함되었을 경우 PBS 수지와 일부 라이오셀섬유 사이에 수지의 적십이 충분하게 이루어지지 않은 것으로 판단되었다. 이는 6 wt% 라이오셀/PBS 바이오복합재료의 층간전단강도 및 기계적 특성을 저하시키는 결과를 초래하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 금오공과대학교의 학술연구비지원에 의해 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. A. K. Mohanty, M. Misra, and G. Hinrichsen, *Macromol. Mater. Eng.*, **1**, 276 (2000).
2. D. Cho, S. G. Lee, W. H. Park, and S. O. Han, *Polym. Sci. Tech.*, **13**, 460 (2002).
3. A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal (Eds.), "Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites", Taylor & Francis, Boca Raton (2005) Chapter 1.
4. D. Cho and H.-J. Kim, *Elasto. Compo.*, **44**, 13 (2009).
5. J. M. Seo, D. Cho, W. H. Park, S. O. Han, T. W. Hwang, C. H. Choi, and S. J. Jung, *J. Biobased Mater. Bioener.*, **1**, 331 (2007).
6. J. M. Seo, D. Cho, and W. H. Park, *J. Adhesion Interface*, **9**, 1 (2008).
7. H.-S. Kim, H.-J. Kim, and D. Cho, *J. Therm. Anal. Cal.*, **96**, 211 (2009).
8. S. M. Lee, D. Cho, W. H. Park, S. G. Lee, S. O. Han, and L. T. Drzal, *Compo. Sci. Tech.*, **65**, 647 (2005).
9. S. M. Lee, S. O. Han, D. Cho, W. H. Park, and S. G. Lee, *Polym. Polym. Compo.*, **13**, 479 (2005).
10. S. O. Han, S. M. Lee, W. H. Park, and D. Cho, *J. Appl. Polym. Sci.*, **100**, 4972 (2006).
11. C. R. Woodings, *Int'l. Biol. Macromol.*, **17**, 305 (1995).
12. J. Y. Lee, "Fabrication and Properties of Novel Lyocell/Poly(lactic acid) and Lyocell/Poly(butylene succinate) Biocomposites and Lyocell-Based Carbon Fabric/Phenolic Composites", M.S. Thesis, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Korea (2009).
13. <http://www.fibersource.com>
14. K. Johnson, A. Z. Sh, S. H. Renneckar, and W. G. Glasser, *Composites: Part A*, **39**, 470 (2008).
15. D. Cho, J. Lee, and J. K. Park, *Adhesion and Interface*, **5**, 10 (2004).