Composites Research

Vol. 39, No. 5, 545-552 (2026)
DOI: http://dx.doi.org/10.7234/composres.2026.39.5.545
ISSN 2288-2103(Print), ISSN 2288-2111(Online)

Paper

Shellac 함량에 따른 PBAT/Shellac 생분해성 블렌드 필름의 구조 및 물성 변화

도환기* · 조범곤*†

Effects of Shellac Content on the Structure and Properties of PBAT/Shellac Biodegradable Blend Films

Hwan-Gi Do*, Beom-Gon Cho*†

ABSTRACT: To expand the application range of biodegradable polymers, their properties need to be controlled for specific applications, and blending with materials of distinct characteristics has been extensively investigated as a strategy for property modification. Poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) is a biodegradable polymer with excellent flexibility and processability that is widely used as a film material, and its structure and properties can be controlled through blending with various materials. Shellac is a naturally derived resin containing various polar functional groups and may influence intermolecular interactions as well as the structure and properties of PBAT films depending on the blend composition. In this study, PBAT/shellac blend films with varying shellac contents were prepared, and changes in their structural, thermal, surface, and mechanical properties with composition were analyzed. The chemical structure and intermolecular interactions were analyzed using Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), while crystallization and melting behaviors and thermal degradation characteristics were evaluated using differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analysis (TGA). In addition, the microstructure and surface characteristics of the films were analyzed using scanning electron microscopy (SEM) and water contact angle measurements, respectively, and their mechanical properties were evaluated by tensile testing. The results confirmed that the shellac content is a major factor influencing the structure and properties of PBAT-based blend films.

초 록: 생분해성 고분자의 적용 범위를 확대하기 위해서는 용도에 따른 물성 제어가 요구되며, 이를 위한 방법으로 상이한 특성을 갖는 소재와의 블렌딩이 활발히 연구되고 있다. Poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)는 우수한 유연성과 가공성을 갖는 생분해성 고분자로 필름 소재에 널리 활용되고 있으며, 다양한 소재와의 블렌딩을 통해 구조 및 물성을 조절할 수 있다. Shellac은 다양한 극성 작용기를 포함하는 천연 유래 수지로, PBAT와의 블렌딩 시 조성에 따라 분자간 상호작용과 필름의 구조 및 물성에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 shellac의 함량을 달리한 PBAT/shellac 블렌드 필름을 제조하고 조성에 따른 구조적, 열적, 표면 및 기계적 특성의 변화를 분석하였다. 푸리에 변환 적외선 분광법을 이용하여 화학구조와 분자간 상호작용을 분석하였으며, 시차주사열량계와 열중량분석을 통해 결정화 및 용융 거동과 열분해 특성을 평가하였다. 또한, 주사전자현미경과 접촉각 측정을 이용하여 미세구조와 표면 특성을 분석하고 인장시험을 통해 필름의 기계적 특성을 측정하였다. 이를 통해 shellac 함량이 PBAT 기반 블렌드 필름의 구조 및 물성 변화에 영향을 미치는 주요 인자임을 확인하였다.

Key Words: Poly(butylene adipate-co-terephthalate), 쉘락(Shellac), 고분자 블렌드(Polymer blend), 필름 용액 주조(Film solution casting), 생분해성 필름(Biodegradable film)

Received 3 September 2026, received in revised form 1 October 2026, accepted 11 October 2026

*Department of Polymer Science and Engineering, Kumoh National Institute of Technology
†Corresponding author (E-mail: bgcho@kumoh.ac.kr)

1. 서 론

생분해성 고분자는 포장재, 농업용 필름 및 일회용 소재 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 적용 분야의 확대와 함께 각 용도에 적합한 기계적, 열적 및 표면 특성을 확보하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 단일 고분자가 다양한 적용 환경에서 요구되는 물성을 모두 충족하기에는 한계가 있기 때문에, 서로 다른 특성을 갖는 고분자를 혼합하여 물성을 조절하는 블렌딩 기술이 널리 연구되고 있다. 고분자 블렌딩은 각 구성 소재의 특성을 조합할 수 있을 뿐만 아니라 블렌드 조성, 상용성 및 분자간 상호작용에 따라 결정화 거동, 열적 특성, 미세구조 및 기계적 특성을 변화시킬 수 있다는 장점이 있다[1-3]. 최근 생분해성 고분자 분야에서도 이러한 블렌딩을 이용하여 소재의 유연성, 강성, 열적 특성 및 표면 특성 등을 조절하려는 연구가 활발히 수행되고 있다[4-7].

Poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)는 지방족 adipate 구조와 방향족 terephthalate 구조가 함께 존재하는 생분해성 지방족-방향족 코폴리에스터로, 높은 연신율과 우수한 유연성 및 가공성을 나타낸다. 이러한 특성으로 인해 PBAT는 유연 필름을 비롯한 다양한 필름 소재에 활용되고 있다[8]. 반면, 높은 유연성에 비해 강성 및 인장강도가 상대적으로 낮아 적용 목적에 따라 기계적 특성의 조절이 요구될 수 있다. 따라서 PBAT의 물성을 제어하기 위하여 다른 생분해성 고분자, 천연 고분자 및 무기 충전재 등을 혼합하는 연구가 지속적으로 수행되어 왔으며, 혼합 소재의 종류와 함량에 따라 PBAT의 결정화, 미세구조 및 기계적 거동이 변화하는 것으로 보고되고 있다[9-11].

Shellac은 인도와 동남아시아의 열대 숲에 서식하는 lac insect의 분비물로부터 얻어지는 천연 유래 수지로서 우수한 필름 형성능력과 접착 특성을 가지고 있어 식품 및 의약품 코팅제, 광택 마감재 등 여러 분야에서 활용된다[12-14]. Shellac은 단일반복단위로 구성된 고분자가 아닌 aleuritic acid, jalaric acid, shellolic acid 등의 여러 분자가 ester 결합을 통해 연결된 복잡한 구조를 갖는다. 이에 따라 shellac 구조에는 hydroxyl, carboxyl 및 ester와 같은 다양한 극성 작용기가 존재하며, 이들 작용기는 다른 고분자와 블렌드될 경우 분자간 상호작용에 관여할 수 있다. 한편 shellac은 자체적으로 필름 형성이 가능하지만, 높은 취성과 낮은 연신 특성이 한계로 보고되어 있어 다른 고분자와의 혼합을 통한 물성 제어 역시 연구되어 왔다[15].

높은 유연성을 나타내지만 강도가 낮은 PBAT에 강도와 강성이 우수한 shellac을 블렌딩시키면 유의미한 물성 변화가 나타날 것으로 예상된다. 또한 PBAT의 ester carbonyl group과 shellac에 존재하는 hydroxyl 및 carboxyl group은 분자간 수소결합을 비롯한 상호작용에 참여할 가능성이 있으며, 이러한 상호작용은 블렌드 내 고분자 사슬의 배열과 운동성에 영향을 미칠 수 있다[16]. 특히 shellac 함량의 변화는 PBAT 사슬 간 배열과 결정화 거동뿐만 아니라 블렌드 필름의 미세구조, 열분해 거동, 표면 특성 및 기계적 물성에도 영향을 줄 수 있다. 최근 Li 등은 PBAT/shellac 시스템에서 열적 자가경화를 통해 shellac의 나노입자 형성을 유도하고, 이를 이용하여 기체 차단성을 향상시키는 전략을 보고하였다[17]. 이와 같은 경화 기반 차단성 제어와 구별하여, 본 연구에서는 별도의 열적 자가경화 공정을 도입하지 않고 THF 용액 캐스팅법으로 PBAT/shellac 블렌드 필름을 제조하여, shellac 함량에 따른 구조 및 물성 변화를 분석하였다. 특히 shellac 함량을 0–50 wt% 범위에서 변화시키면서 분자간 상호작용과 관련된 분광학적 변화, 결정화 및 용융 거동, 표면 젖음성 및 인장 특성을 함께 평가하였다. 이를 통해 shellac 첨가에 따른 강도 및 강성 변화와 연성 저하 사이의 상충관계를 정량적으로 파악하고, 용액 캐스팅 PBAT/shellac 블렌드 필름의 요구 물성에 따른 조성 설계를 위한 기초자료를 제시하고자 하였다. 푸리에 변환 적외선 분광법(FT-IR)을 이용하여 블렌드 필름의 화학구조 및 분자간 상호작용의 변화를 분석하고, 시차주사열량계(DSC)와 열중량 분석(TGA)을 통해 PBAT의 결정화 및 용융 거동과 열분해 특성을 평가하였다. 또한 주사전자현미경(SEM)과 접촉각 측정을 통해 블렌드 필름의 미세구조 및 표면 특성을 분석하였으며, 인장시험을 수행하여 인장강도, 인장탄성률 및 파단신율의 변화를 평가하였다.

2. 본 론

2.1 PBAT/shellac 블렌드 필름 제조 및 특성평가

PBAT와 shellac의 화학 구조와 그로부터 예상되는 분자간 수소결합을 Fig. 1(a)에 모식적으로 나타내었다. PBAT/shellac 블렌드 필름은 tetrahydrofuran (THF)을 용매로 사용하여 solution casting method를 통해 제조하였다. 먼저 PBAT를 25 mL의 THF에 투입한 후 40℃에서 3시간 동안 교반하여 완전히 용해하였으며, 이후 각 조성에 해당하는 양의 shellac을 첨가하여 동일한 온도에서 추가로 3시간 동안 교반하였다. 각 필름 제조에 사용된 PBAT와 shellac의 총 질량은 0.5 g으로 고정하였으며, PBAT/shellac의 중량비는 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 및 0:10으로 설정하였다. Neat shellac은 동일한 조건에서 shellac 0.5 g을 THF에 용해하여 제조하였다. 각 조성에 따른 PBAT와 shellac의 투입량은 Table 1에 나타내었다. 제조한 혼합용액을 100 × 100 mm 크기의 polytetrafluoroethylene (PTFE) mold에 부은 후 24시간 동안 상온에서 용매를 증발시켜 필름을 제조하였다. 이후 잔류 용매를 제거하기 위해 30℃의 진공오븐에서 8시간 동안 추가로 건조하였다. 필름의 두께는 약 0.04 mm로 측정되었으며, 각 조성은 각각 Neat PBAT, PBAT9/SH1, PBAT8/SH2, PBAT7/SH3, PBAT6/SH4, PBAT5/SH5 및 Neat shellac으로

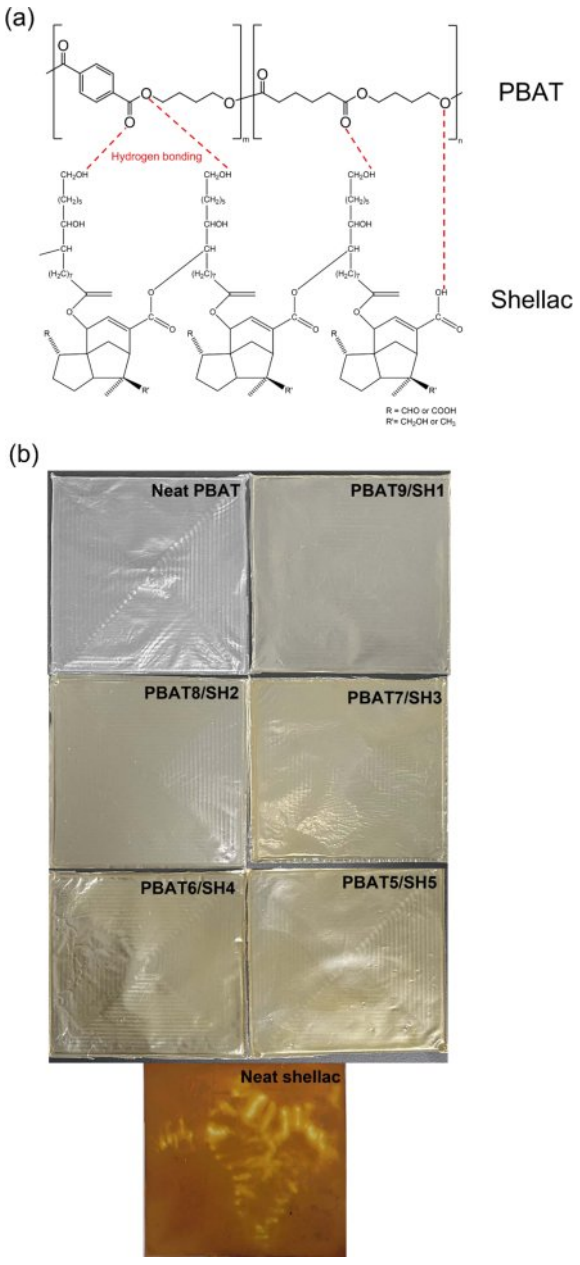


Fig. 1. (a) Schematic illustration of possible hydrogen bonding interactions between PBAT and shellac and (b) photographs of PBAT/shellac blend films with different shellac concentration

명명하였다. 제조된 PBAT/shellac 블렌드 필름의 외관은 Fig. 1(b)에 나타내었다. FT-IR 분석은 4000-600 cm^{-1}의 파수 범위에서 수행하여 화학구조 및 분자간 상호작용을 분석하였다. DSC 분석은 −70–200°C의 온도 범위에서 10°C/min의 승온 및 냉각 속도로 heating–cooling–heating cycle을 수행하였다. 결정화온도(T_c)는 냉각 곡선의 발열 피크 온도로, 용융온도(T_m)는 두 번째 승온 곡선의 용융 흡열 피크 온도로 정하였다. 유리전이온도(T_g)는 두 번째 승온 곡선에서

Table 1. Composition of PBAT/shellac blend films

Sample	Weight ratio	PBAT (g)	Shellac (g)
Neat PBAT	10:0	0.50	0
PBAT9/SH1	9:1	0.45	0.05
PBAT8/SH2	8:2	0.40	0.10
PBAT7/SH3	7:3	0.35	0.15
PBAT6/SH4	6:4	0.30	0.20
PBAT5/SH5	5:5	0.25	0.25
Neat shellac	0:10	0	0.5

열유속이 계단형으로 변하는 구간을 이용하여 구하였다. 전이 전후의 기준선을 각각 연장한 후, 두 기준선 사이의 열유속 변화가 절반에 해당하는 온도를 T_g로 정하였다. TGA는 질소 분위기에서 10℃/min의 승온속도로 500℃까지 수행하여 shellac 함량에 따른 열분해 거동을 평가하였다. 필름의 표면 미세구조는 SEM을 이용하여 관찰하였으며, 표면 젖음성은 deionized (DI) water를 이용한 접촉각 측정을 통해 평가하였다. 기계적 특성은 ASTM D882에 준하여 평가하였으며, 제조한 필름을 100 × 25 mm 크기의 직사각형 시편으로 절단한 후 양 끝을 각각 25 mm씩 고정하여 초기 그립 간 거리를 50 mm로 설정하였다. 조성별 시험 속도 차이가 인장탄성률과 인장 거동의 비교에 영향을 주지 않도록 모든 시편에 10 mm/min의 crosshead speed를 적용하였고 초기 변형률 속도는 0.20 min^{-1}이다.

2.2 PBAT/shellac 블렌드 필름 구조 및 표면 특성

PBAT/shellac 블렌드 필름의 화학구조와 shellac 함량에 따른 분자 간 상호작용의 변화를 확인하기 위해 수행한 FT-IR 분석 결과를 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다. Neat PBAT를 포함한 모든 블렌드 필름에서 PBAT의 ester C=O 및 C–O 결합과 관련된 주요 피크가 관찰되었으며, shellac 함량이 증가함에 따라 3739–3147 cm^{-1} 영역에서 O–H stretching에 해당하는 broad band가 점차 뚜렷하게 나타났다(Fig. 2(b)). 특히 Neat PBAT, PBAT9/SH1, PBAT8/SH2, PBAT7/SH3, PBAT6/SH4 및 PBAT5/SH5의 O–H stretching peak는 각각 3527, 3518, 3512, 3485, 3475 및 3462 cm^{-1}에 위치하여, shellac 함량 증가에 따라 낮은 파수 방향으로 이동하였다. Neat PBAT와 PBAT5/SH5 사이에서는 약 65 cm^{-1}의 red shift가 확인되었다.

일반적으로 hydroxyl group이 수소결합에 참여하면 O–H 결합의 유효 힘상수가 감소하여 stretching vibration의 진동수가 낮아지고, 이에 따라 흡수대가 낮은 파수 방향으로 이동할 수 있다. 이러한 관점에서 관찰된 red shift는 shellac 첨가에 따른 수소결합 환경의 변화와 관련될 수 있다. 한편 Neat shellac의 O–H peak는 블렌드보다 낮은 3396 cm^{-1}에 위치하였으며, 이는 shellac의 hydroxyl 및 carboxyl group 사이에서

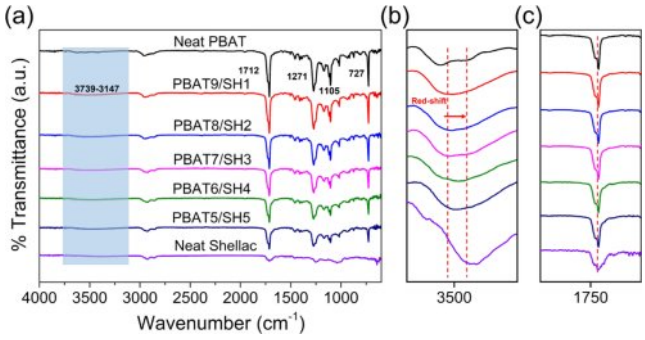


Fig. 2. FT-IR spectra of PBAT/shellac blend films with different shellac concentration: (a) full-range spectra, (b) enlarged O-H stretching region, and (c) enlarged C=O stretching region

Table 2. FT-IR peak assignments of PBAT/shellac blend films

Wavenumber (cm^{-1})	Assignment
3739-3147	O-H stretching
1712	C=O stretching
1271	C-O stretching
1105	C-O-C stretching
727	Aromatic C-H bending

형성되는 자기회합성 수소결합의 영향을 반영한 것으로 해석된다. PBAT와 혼합되면 이러한 shellac 분자 간 수소결합이 재배열되는 동시에, shellac의 hydroxyl group과 PBAT의 ester carbonyl group 사이에도 수소결합이 형성될 수 있다. 따라서 shellac 함량에 따른 red shift는 PBAT–shellac 사이의 수소결합뿐 아니라 shellac의 자기회합 및 조성에 따른 흡수대 중첩이 함께 반영된 결과로 해석할 수 있다. 이러한 분자 간 상호작용 환경의 변화는 블렌드 내 분자사슬의 배열과 필름의 물성에 영향을 미칠 수 있다.

PBAT/shellac 블렌드 필름의 표면 미세구조 및 원소 분포를 분석하기 위해 SEM 및 EDS 분석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 3과 Table 3에 나타내었다. Neat PBAT와 PBAT9/SH1, PBAT8/SH2 및 PBAT7/SH3에서는 전반적으로 비교적 균일하고 연속적인 표면이 관찰되었다. 반면 shellac 함량이 증가한 PBAT6/SH4와 PBAT5/SH5에서는 표면의 선형 구조와 국부적인 불균일성이 상대적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 shellac 함량 증가가 블렌드 필름의 표면 미세구조에 영향을 미친 것으로 판단된다. EDS elemental mapping 결과, 모든 조성에서 주요 구성 원소인 C와 O가 필름 표면 전반에 걸쳐 분포하는 것을 확인하였다. 원소 함량 정량 분석 결과, shellac 함량이 증가함에 따라 O 원소 비율은 22.16%에서 17.67%까지 점진적으로 감소하는 경향을 보였으며 Neat shellac에서 가장 낮은 O 함량을 나타냈다.

블렌드 필름의 표면 젖음성은 DI water를 이용한 접촉각

Table 3. EDS elemental composition of PBAT/shellac blend films

Sample	at. %	
	C	O
Neat PBAT	77.84	22.16
PBAT9/SH1	79.01	20.99
PBAT8/SH2	79.36	20.64
PBAT7/SH3	79.99	20.01
PBAT6/SH4	80.23	19.77
PBAT5/SH5	80.95	19.05
Neat shellac	82.33	17.67

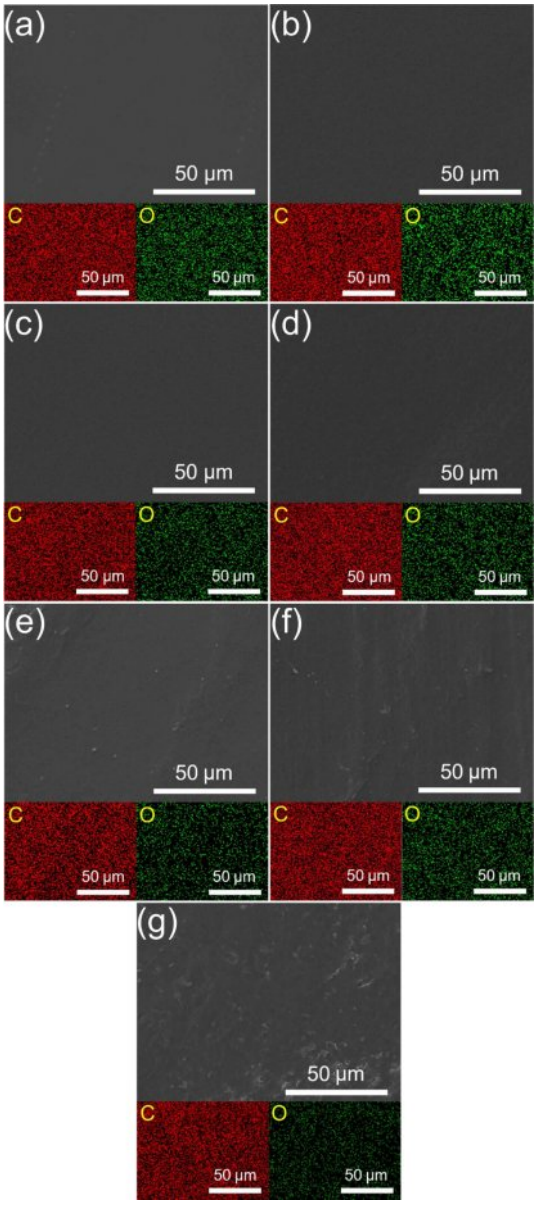


Fig. 3. Surface images and corresponding EDS elemental mapping of PBAT/shellac blend films with different shellac concentration: (a) neat PBAT, (b) 10 wt%, (c) 20 wt%, (d) 30 wt%, (e) 40 wt%, (f) 50 wt%, and (g) neat shellac

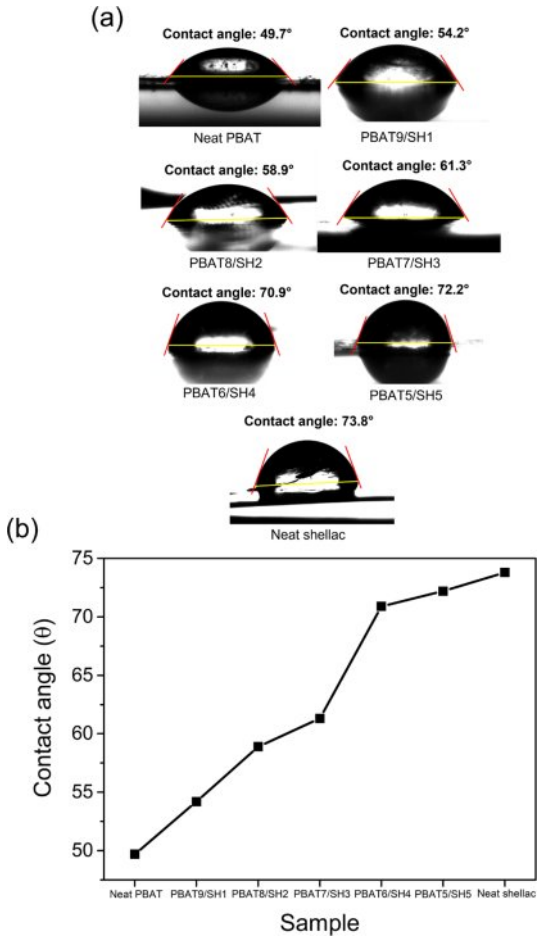


Fig. 4. DI-water contact angles of PBAT/shellac blend films with different shellac concentration: (a) DI water droplet images and (b) variation in contact angle as a function of shellac content

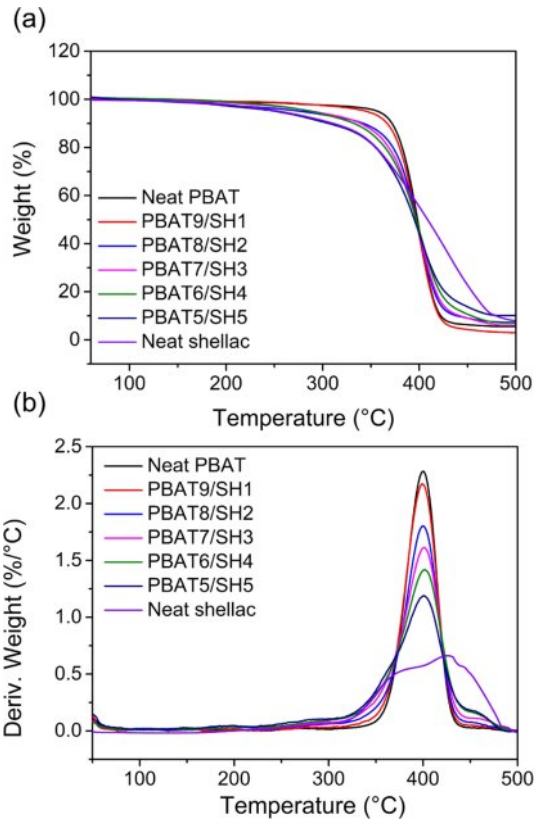


Fig. 5. Thermal degradation behavior of PBAT/shellac blend films with different shellac concentration: (a) thermogravimetric (TG) curves and (b) derivative thermogravimetric (DTG) curves

측정을 통해 평가하였으며 Fig. 4에 나타내었다. Neat PBAT의 접촉각은 49.7°였으며, PBAT9/SH1, PBAT8/SH2, PBAT7/SH3, PBAT6/SH4 및 PBAT5/SH5에서 각각 54.2°, 58.9°, 61.3°, 70.9° 및 72.2°로 shellac 함량 증가에 따라 점진적으로 증가하였다. Neat shellac의 경우 73.8°로 가장 높은 접촉각을 보였다. Shellac 함량이 증가할수록 블렌드 필름 표면의 물에 대한 젖음성이 감소하였음을 의미한다. 앞서 EDS 분석에서 확인된 상대적인 O 원소 함량 감소와 접촉각 증가가 동일한 조성 변화에 따라 나타났으며, shellac 첨가에 따른 표면 화학조성 및 미세구조의 변화가 복합적으로 작용하여 영향을 미친 것으로 판단된다.

2.3 PBAT/shellac 블렌드 필름 열적 특성

PBAT/shellac 블렌드 필름의 열분해 거동을 확인하기 위해 TGA 및 DTG 분석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 모든 시편은 약 400℃부근에서 주된 열분해 거동을 나타냈으나, shellac 첨가에 따라 초기 열분해 거동에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 5% 중량감소 온도는 Neat PBAT에서 357.2℃로 나타났으며, PBAT9/SH1, PBAT8/SH2, PBAT7/SH3, PBAT6/SH4 및 PBAT5/SH5에서 각각 345.6, 282.7, 289.6, 287.3 및 251.9℃로 나타났다. Shellac이 첨가된 블렌드 필름의 5% 중량감소 온도는 전반적으로 Neat PBAT보다 낮은 값을 나타냈으나, 점진적으로 감소하는 경향을 보이진 않았다. 이는 PBAT보다 낮은 온도에서 초기 중량감소가 시작되는 shellac의 열분해 거동이 블렌드 필름의 초기 열적 안정성에 영향을 미친 결과로 판단된다. Fig. 5 (b)의 DTG curve의 주요 peak는 모든 조성에서 약 400℃부근에 위치하며 shellac의 함량이 많아질수록 peak의 폭은 커지고 intensity는 작아지는 경향을 보였다. Neat shellac의 경우 300℃초반부터 400℃후반 온도 영역까지 넓게 peak가 형성된 것을 볼 수 있다.

PBAT/shellac 블렌드 필름의 유리전이, 결정화 및 용융 거동을 DSC로 분석하였으며, 1st cooling 및 2nd heating 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 각 조성의 유리전이온도(T_g), 결정화온도(T_c) 및 용융온도(T_m)는 Table 4에 정리하였다. T_g는 2nd heating 곡선에서 나타나는 계단형 열유속 변화의 중간 지점으로 정하였다. Neat PBAT의 T_g는 −32.2°C였으며,

Table 4. Thermal transition temperatures of PBAT/shellac blend films determined by DSC analysis

Sample	PBAT T_g (℃)	PBAT T_c (℃)	PBAT T_m (℃)
Neat PBAT	-32.2	106.1	135.3
PBAT9/SH1	-33.3	102.3	131.5
PBAT8/SH2	-34.5	99.5	129.3
PBAT7/SH3	-35.3	98.2	128.8
PBAT6/SH4	-32.6	97.4	128.9
PBAT5/SH5	-31.3	96.4	128.4
Neat shellac	-	-	-

PBAT9/SH1, PBAT8/SH2 및 PBAT7/SH3에서는 각각 −33.3, −34.5 및 −35.3°C로 낮아졌다. 이후 PBAT6/SH4와 PBAT5/SH5에서는 각각 −32.6 및 −31.3°C로 다시 높아졌다. 전체 PBAT계 조성의 T_g는 −35.3∼−31.3°C 범위에 위치하여 shellac 함량에 따른 변화가 비교적 작았으며, 일정한 증가 또는 감소 경향은 나타나지 않았다.

Neat PBAT의 T_c는 106.1°C였으며, shellac 함량이 증가함에 따라 102.3, 99.5, 98.2, 97.4 및 96.4°C로 점차 감소하였다. 이는 동일한 냉각 조건에서 shellac 함량이 증가할수록 PBAT의 결정화가 더 낮은 온도에서 진행되었음을 의미한다. Shellac의 첨가가 PBAT 사슬의 규칙적인 배열 및 결정 성장에 영향을 미쳐, 결정화에 더 큰 과냉각이 요구된 것으로 해석된다.

2nd heating 과정에서 Neat PBAT의 T_m은 135.3°C였으며, PBAT9/SH1과 PBAT8/SH2에서는 각각 131.5 및 129.3°C로 감소하였다. 이후 PBAT7/SH3, PBAT6/SH4 및 PBAT5/SH5에서는 각각 128.8, 128.9 및 128.4°C로 약 128–129°C 범위의 유사한 값을 나타냈다. 이러한 T_m 감소는 shellac 첨가에 따른 PBAT 결정의 완전성이나 라멜라 구조의 변화와 관련될 수 있다. Neat shellac에서는 약 60°C 부근의 넓은 흡열 피크가 관찰되었으며, 블렌드 필름에서도 중간 온도 영역에 넓은 열적 신호가 나타났다. 해당 신호에는 여러 열적 과정이 중첩될 수 있으므로 이를 shellac의 용융 전이로 단정하지 않았다.

DSC 결과를 종합하면, shellac 첨가에 따른 PBAT의 T_g 변화는 비교적 작은 반면 T_c와 T_m은 전반적으로 감소하였다. 이는 본 연구의 조성 범위에서 shellac 첨가의 영향이 저온 유리전이보다 PBAT의 결정화 및 용융 거동에서 뚜렷하게 나타났음을 보여준다.

2.4 PBAT/shellac 블렌드 필름 기계적 특성

PBAT/shellac 블렌드 필름의 조성에 따른 기계적 특성 변화를 확인하기 위해 각 조건별 5번의 인장시험을 시행하였다. Neat PBAT는 800% 이상의 파단신율을 보이며 높은 연

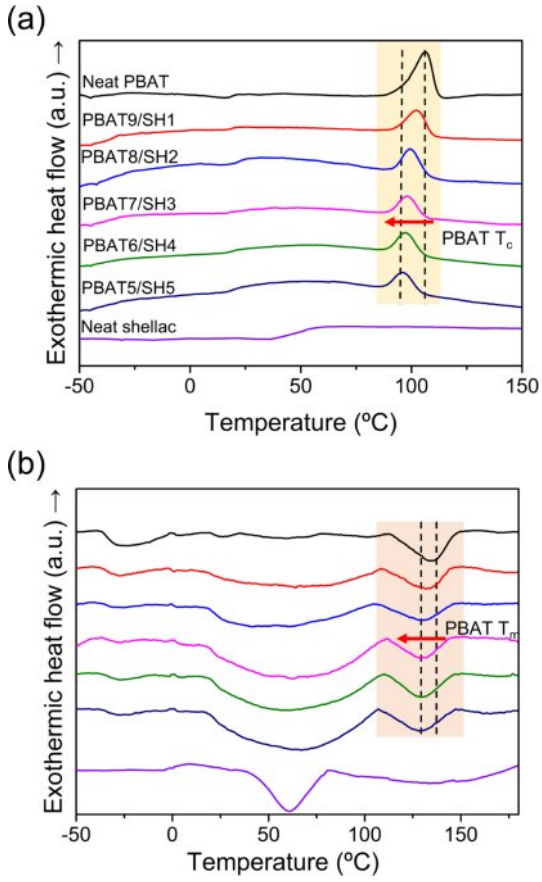


Fig. 6. DSC thermograms of PBAT/shellac blend films with different shellac content: (a) cooling and (b) second heating

신 특성을 나타냈지만, 블렌드 필름에서는 shellac 함량이 증가함에 따라 파단신율이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이는 shellac이 첨가되면서 블렌드 필름의 변형 거동이 연성에서 취성적인 거동으로 변화하였음을 보여준다. Neat PBAT의 인장강도는 15.69 MPa였으며, PBAT8/SH2와 PBAT7/SH3에서 각각 17.62 및 19.60 MPa로 증가하여 PBAT7/SH3에서 가장 높은 인장강도를 나타냈다. 이는 Neat PBAT 대비 약 24.9% 증가한 값이다. 반면 shellac 함량이 40 wt% 이상으로 증가한 조건인 PBAT6/SH4와 PBAT5/SH5에서 인장강도는 각각 14.95 및 10.95 MPa로 감소하였다. 따라서, 적정량의 shellac 첨가는 PBAT/shellac 블렌드 필름의 강도 향상에 기여할 수 있으나, 과도한 shellac 함량 조건에서는 취성 증가로 인해 인장강도가 감소할 수 있음을 보여준다[18]. 인장 탄성률은 Neat PBAT의 132.56 MPa에서 shellac 첨가 후 전반적으로 증가하였으며, PBAT7/SH3에서 273.5 MPa, PBAT5/SH5에서 최대 296.3 MPa를 나타냈다. 반면 파단신율은 Neat PBAT의 826.4%에서 PBAT9/SH1의 193.6%로 크게 감소하였으며, shellac 함량 증가에 따라 지속적으로 감소하여 PBAT5/SH5에서는 8.71%를 나타냈다. Neat shellac은 낮은 파단신율과 높은 강성을 나타냈으며,

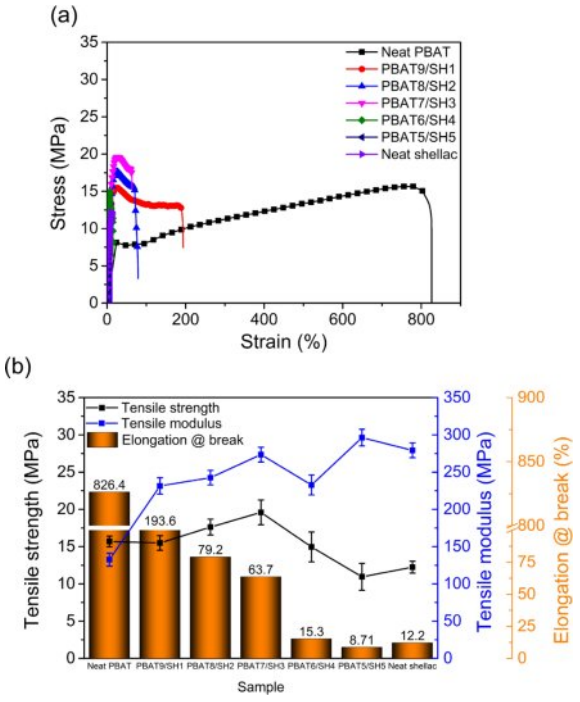


Fig. 7. Tensile properties of PBAT/shellac blend films with different shellac concentration: (a) stress-strain curves and (b) tensile strength, tensile modulus and elongation at break

shellac 함량이 증가한 블렌드 필름의 기계적 거동은 높은 연성을 갖는 PBAT에서 취성을 나타내는 shellac의 특성에 가까워지는 경향을 보였다. 따라서 shellac은 PBAT 블렌드 필름의 강성을 증가시키는 동시에 분자사슬의 변형 및 연신을 제한하여 연성을 감소시키는 역할을 한 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서는 shellac 함량을 달리한 PBAT/shellac 블렌드 필름을 solution casting 방법으로 제조하고, shellac 함량에 따른 구조적, 열적, 표면 및 기계적 특성의 변화를 분석하였다. FT-IR 분석에서 shellac 함량 증가에 따라 O–H stretching band가 낮은 파수 방향으로 이동하여 PBAT와 shellac 사이의 수소결합을 포함한 분자간 상호작용 환경의 변화를 시사하였다. Shellac 함량 증가에 따라 PBAT의 결정화 온도와 용융 온도가 감소하였으며, 이는 shellac이 PBAT 사슬의 배열 및 결정 성장 거동에 영향을 미쳤음을 보여준다. 또한 shellac이 첨가된 블렌드 필름은 Neat PBAT보다 전반적으로 낮은 5% 중량 감소 온도를 나타내어 초기 열분해 거동이 변화하였다. 표면 접촉각은 shellac 함량 증가에 따라 증가하여 물에 대한 젖음성이 감소하였고, SEM 분석에서는 40 wt% 이상의 고함량 조건에서 표면 불균일성이 증가하는 경향이 관찰되었다. 기계적 특성에서는 shellac 첨가에 따라 인장탄성률이 전반적으로 증가하고 파단신율은 크게 감소하였다. 특히 PBAT7/SH3 조성의 인장강도는 19.60 MPa로 Neat PBAT 대비 약 24.9% 증가하여 최대값을 나타냈으나, shellac 함량이 40 wt% 이상으로 증가하면 표면 불균일성과 취성 증가와 함께 인장강도가 감소하였다. 따라서 shellac 함량은 PBAT/shellac 블렌드 필름의 강성, 강도, 연성 및 표면 젖음성을 조절하는 주요 조성 인자이며, 적절한 조성 제어를 통해 PBAT 기반 블렌드 필름의 요구 물성을 조절할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2026년도 교육부 및 경상북도의 재원으로 경북RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)-(지역성장 혁신LAB)의 결과(2026-rise-15-105)이며, 또한 2026년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (25532420, 2026년 산업혁신인재성장지원사업)

REFERENCES

1. Chanda, M., "Compatibilization phenomenon in polymer science and technology: Chemical aspects," *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, Vol. 7, 2024, pp. 363-372.
2. Fakirov, S., "Is compatibility critical in polymer engineering?" *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, Vol. 7, 2024, pp. 355-362.
3. Lin, T.-W., Padilla-Vélez, O., Kaewdeewong, P., LaPointe, A.M., Coates, G.W., and Eagan, J.M., "Advances in nonreactive polymer compatibilizers for commodity polyolefin blends," *Chemical Reviews*, Vol. 124, 2024, pp. 9609-9632.
4. Kim, M.W., Hong, S.M., Lee, D.J., Park, K.S., and Youn, J.R., "Chain extension effects of para-phenylene diisocyanate on crystallization behavior and biodegradability of poly(lactic acid)/poly(butylene terephthalate) blends," *Composites Research,* Vol. 22, 2009, pp. 18-28.
5. Hong, S.J., Lee, A., Ju, S., Shin, Y., and Park, T., "Enhanced properties of nano-cellulose and biodegradable polymer composites," *Composites Research*, Vol. 36, 2023, pp. 126-131.
6. Norrrahim. M. N. F., Kasim. N. A. M., Knight. V. F., Halim. N. A., Shah. N. A. A., Noor. S. A., Jamal. S. H., Ong. K. K., Yunus. W. M. Z. W., and Farid. M. A. A., "Performance evaluation of cellulose nanofiber reinforced polymer composites," *Functional Composites and Structures*, Vol. 3, 2021, pp. 024001.
7. Adeniyi. A. G., Iwuozor. K. O., Emenike. E. C., Amoloye. M. A., Aransiola. E. S., Motolani. F. O., and Kayode. S. H., "Prospects and problems in the development of biochar-filled plastic composites:a review," *Functional Composites and Structures*, Vol. 5, 2023, pp. 012002.
8. Roy, S., Ghosh, T., Zhang, W., and Rhim, J.-W., "Recent progress in PBAT-based films and food packaging applications: A mini-review," *Food Chemistry*, Vol. 437, 2024, pp. 137822.
9. Wang, Y., Zha, C., Qiao, Z., Fu, Q., and Bai, H., "Achieving high

impact toughness and heat resistance in biodegradable PLA/PBAT blends via interfacial construction of stereocomplex crystallites," *Polymer*, Vol. 329, 2025, pp. 128487.
10. Miao, Z., Li, L., Xie, Y.-H., Feng, D., Wu, F., Xie, D., Liu, Y., and Mei, Y., "Revisiting maleic anhydride-grafted biopolymers for improved compatibility and toughening of PLA/PBAT blends: Effects of molecular weight and grafting ratio," *Polymer*, Vol. 320, 2025, pp. 128055.
11. Altınbay, A., Özsaltık, C., and Nofar, M., "Effect of D-lactide content and molecular weight of PLA on interfacial compatibilization with PBAT and the resultant morphological, thermal, and mechanical properties," *Journal of Renewable Materials*, Vol. 13, 2025, pp. 1605-1621.
12. Chen, Y., Zhu, Z., Shi, K., Jiang, Z., Guan, C., Zhang, L., Yang, T., and Xie, F., "Shellac-based materials: Structures, properties, and applications," *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 279, 2024, pp. 135102.
13. Alam, A.K.M.M., Cai, Q., Manir, M.S., Islam, M.R., Fang, L., Al Mamun, M., Chowdhury, M.N.K., Cai, X., Musiol, R., and Shubhra, Q.T.H., "Shellac: A sustainable natural bio-resin for emerging biomedical and technological applications—Properties, modifications, and challenges," *Polymer Reviews*, Vol. 65, 2025, pp. 1186-1240.
14. Chaparia, M., Sharma, R., Dixit, A., and Dwivedi, U. K., "Harnessing shellac for sustainable materials: progress from traditional resin to multifunctional composites," *Functional Composites and Structures*, Vol. 7, 2025, pp. 042003.
15. Krongrawa, W., Piyawatakarn, P., Piriyaprasarth, S., Patomchaiviwat, V., Sriamornsak, P., Chansatidkosol, S., Limmatvapirat, C., and Limmatvapirat, S., "Starch and shellac polymer blends: A promising material for extending postharvest fruit shelf life," *Starch - Stärke*, Vol. 77, 2025, pp. 2400043.
16. Wu, B.-G., Bing, X.-H., Ren, Q., Ding, L., Li, J.-Z., Zheng, W.-G., and Wang, L., "Revisiting the effect of reactive compatibilization on polymer crystallization: From static suppression to shear-induced promotion," *Chinese Journal of Polymer Science,* Vol. 44, 2026, pp. 756-767.
17. Li, R., Lu, Y., Nian, X., Li, K., Yu, S., Yang, J., Shi, C., and Xu, J., "Scalable Gas Barriers Enabled by in Situ Curing of Natural Branched Polyester Oligomers in Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Membranes," *ACS Applied Polymer Materials*, Vol. 8, No. 8, 2026, pp. 5789–5799.
18. R. N. S., Thiagamani. S. M. K., Khaljiri. H. E., Subramaniam. J., Krishnasamy. S., Muthukumar. C., Thanh. M. N. T., and Khan. A., "Enhanced thermal and mechanical properties of sapodilla/PLA biocomposites using filament extrusion 3D printing," *Functional Composites and Structures,* Vol. 6, 2024, pp. 045014.