

초음파 처리된 대나무섬유와 케냐프섬유 복합재의 기계적 특성 비교 연구

Comparative Study on Mechanical Properties of Sonicated Bamboo and Kenaf Fiber Composite

*Corresponding author

Su Kyoung Lee
(sklee@kiflt.re.kr)

이수경^{1,2*}, 박은영^{1,3}, 박태성², 안승국¹

¹부산대학교 유기소재시스템공학과, ²한국신발피혁연구원 시험인증평가센터, ³한국신발피혁연구원 구조재료연구실

Su Kyoung Lee^{1,2*}, Eun Young Park^{1,3}, Tae Sung Park² and Seung Kook An¹

¹Department of Organic Material Science and Engineering, Pusan National University, Busan, Korea
²Testing and Certification Center, Korea Institute of Footwear and Leather Technology, Busan, Korea
³Structural Material Research Division, Korea Institute of Footwear and Leather Technology, Busan, Korea

Received_November 04, 2020
Revised_November 30, 2020
Accepted_December 22, 2020

Textile Coloration and Finishing
TCF 32-4/2020-12/274-280
© 2020 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Abstract This study compared the mechanical properties of bamboo fiber composites and kenaf fiber composites through physical treatment (ultrasonic treatment). Kenaf, a composite of PP reinforced with bamboo fiber, was made using injection molding technology. PP was used as a binder and the ultrasonic treatment time of bamboo and kenaf was increased by 30 minutes to compare and study various mechanical properties of bamboo and kenaf composites through physical treatment. Interfacial properties such as internal cracks and internal structure of the wave cross section were confirmed using a scanning electron microscope (SEM). As a result of the ultrasonic treatment, most of the characteristics were fragile as the ultrasonic treatment time was increased, and it was confirmed that the natural characteristics of the twisted fibers had a great influence on the characteristics of the composite material.

Keywords ultrasonic treatment, polypropylene, kenaf fiber, bamboo fiber, comparative

1. 서 론

복합재는 거시적 수준에서 결합되고 서로 용해되지 않는 두 개 이상의 결합된 구성 요소로 구성된 구조 재료이다. 일관된 것을 강화 단계라고하고 그것이 포함된 것을 매트릭스라고 한다. 강화상 물질은 섬유, 입자 또는 플레이크 형태 일 수 있다. 매트릭스상 물질은 일반적으로 연속적이다¹⁾. 복합재와 관련 설계 및 제조 기술의 개발은 재료 역사에서 가장 중요한 발전 중 하나이다.

최근 수십 년 동안 폴리머 복합재의 대체 보강재로 사용되는 천연 섬유는 기존의 유리 및 탄소 섬유²⁾를 능가하기 때문에 많은 연구자와 과학자들의 관심을 끌고 있다. 이러한 천연 섬유로는 아마, 대나무, 대마, 황마, 사이잘삼, 케냐프, 코이어 카복,

바나나 등이 있다³⁾. 천연 섬유는 유리 섬유에 비해 유연성, 강성 및 모듈러스와 같은 우수한 기계적 특성을 나타낸다⁴⁾.

유리섬유 및 탄소섬유에 대한 천연 섬유의 다양한 출현은 저비용, 저밀도, 비슷한 특정 인장 속성, 장비 비마모성, 피부 노 자극, 에너지 소비 감소, 건강 위험 감소, 재생성, 재활용 성이다⁵⁾. 유리 및 기타 합성 섬유 강화 플라스틱은 비강도가 높지만 고유한 생산 비용이 높기 때문에 적용 분야가 매우 제한적이다. 천연 섬유는 강하고 가벼울 뿐만 아니라 상대적으로 매우 저렴하다⁶⁾.

현재 대나무 섬유와 케냐프 섬유 같은 천연 섬유는 가용성과 비용이 용이하기 때문에 유리 및 탄소 섬유를 대체하고 있는 추세이다⁷⁾. 이미 여러 논문에서 열경화성 플라스틱(에폭시와 폴리에스테르)을 사용한 대나무 섬유 강화 복합재에 대한 연구가 발표되었다⁸⁻¹²⁾.

S. Jain 등은 대나무 직교 스트립 매트 강화복합재의 인장, 굽힘 및 정적강도에 대하여 연구하였다^{8,9)}. A. V. Rajulu 등은 짧은 장 대나무 섬유 에폭시 복합재의 인장 특성을 섬유장의 길이의 효과에 대해 연구하였다¹⁰⁾. 또한 천연 섬유는 현재의 생태 및 환경 문제를 해결하기 위해 생분해성 복합 재료를 개발하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

그 중에서 대나무 섬유나 케냐프 섬유의 경우 중국을 중심으로 동남아 여러 지역에서 대량 생산되고 있어 가격 경쟁력까지 갖추고 있다. 대나무 섬유, 케냐프 섬유는 우수한 기계적 성질을 나타내어 오래전부터 건축재, 가정용품, 낚시대 식물 지지대 등 다양한 용도로 사용되어 왔으며, 재배환경에 따라 차이가 있으나 대략적인 화학조성은 셀룰로오스, 리그닌, 헤미셀룰로오스로 구성되어 있다¹³⁾.

상기 성분 중에 헤미셀룰로오스 및 리그닌 매트릭스 강화재와의 상용성이 열세하여 물리적 특성을 저해하는 요인으로 보고되고 있어 이러한 성분을 선택적으로 제거하여 계면특성을 향상시키는 것이 복합재의 물리적 특성을 효과적으로 높일 수 있는 방법이다^{14,15)}. 그리하여 천연섬유의 셀룰로오스, 리그닌을 제거하여 매트릭스와 천연섬유 사이의 계면 특성을 향상시키기 위해 여러 가지 방법이 연구되었다.

천연 섬유 강화 복합재에 천연 섬유를 사용하기 위해 화학적 처리를 통한 방법이 일반적이다. 섬유 간의 계면 특성이 낮기 때문에 폴리머 매트릭스는 결합력이 떨어진다. 친수성으로 인한 천연 섬유 복합재는 섬유의 화학적 처리를 통해 계면 결합력을 최적화 시킨다. 화학물질은 수산기를 활성화하거나 매트릭스와 효과적으로 연동 할 수 있는 새로운 부분을 도입할 수 있다.

알칼리 처리 또는 머서화는 열가소성 수지 및 열경화성 수지를 강화하는데 사용할 때 천연 섬유에 가장 많이 사용되는 화학적 처리 중 하나이다. 알칼리 처리에 의해 섬유 네트워크 구조에 수소 결합이 끊어져 표면 거칠기가 증가한다. 이 처리를 통해 섬유 세포벽의 외부 표면을 덮고 있는 일정량의 리그닌, 왁스 및 오일을 제거하고 셀룰로오스를 해중합시키고 짧은 길이의 결정으로 노출된다¹⁶⁾. 수성 수산화 나트륨을 천연 섬유에 첨가하면 수산기가 알콕사이드로 이온화되는 것을 촉진한다¹⁷⁾. 그래서 알칼리 처리는 셀룰로오스 섬유, 중합 정도 및 리그닌 및 헤미셀룰로오스 화합물의 추출에 직접적인 영향을 미친다¹⁸⁾.

그러나 이러한 화학적 처리는 처리되는 화학물질에 의한 2차 환경오염이 일어난다는 단점이 있다. 이에 물리적 방법으로 사용되는 방법 중 하나가 초음파 처리 방법이다. 섬유의 구조 및 표면 특성을 변경하여 섬유의 화학적 구성을 광범위하게 변화시키지 않고 매트릭스와의 계면 결합에 영향을 준다. 초음파 처리가 리그노 셀룰로오스 물질에 미치는 영향에 대해 연구되었다. 초음파가 액체 매질을 통과하면 압력이 다른 영역에 생성된다.

저압 영역에서는 캐비테이션 현상이 발생하고 기포가 형성된다. 액체를 통한 초음파의 진행과 함께 기포는 파동에 따라 팽창 및 수축한다. 파동의 압축으로 기포가 붕괴되면 기포 주위에 국한된 거대 분자의 분열로 인해 자유라디칼이 발생하여 섬

유 성분이 분해된다¹⁹⁾. 리그노 셀룰로오스 섬유의 다양한 성분(헤미셀룰로오스 및 리그닌, 셀룰로오스 펙틴)은 초음파 처리를 통해 효과적으로 제거 할 수 있다²⁰⁻²³⁾.

이에 본 연구에서는 대나무섬유와 케냐프 섬유의 표면처리에 따른 PP/대나무 섬유 복합재와 PP/케냐프 섬유 복합재의 물성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 초음파를 30min, 60min, 90min 처리하여 물리적 처리 시간에 따른 각 섬유 복합재의 물리적 특성 비교를 진행하였다. 또한 동일한 전처리 시간에 따른 두 섬유복합재의 물리적 특성 또한 비교 평가하였다.

2. 실 험

2.1 시료 및 재료

트릭스로 사용된 폴리프로필렌은 대한유화의 HJ4006 (MI=6g/min, Korea)을 사용하였다. 대나무섬유의 경우 (주)한양소재에서 제공받아 사용하였다. 케냐프 섬유는 직경 5mm의 GFTCL(Bangladesh)에서 구매하여 사용하였다.

2.2 대나무 섬유와 케냐프 섬유의 초음파 전처리

대나무섬유와 케냐프섬유의 전처리를 위해 사용된 sonicator는 powersonic 420(Weitech scientifics, India)을 사용하였다. 각 섬유는 100g씩 polyethylene bag에 넓게 펼쳐서 30min, 60min, 90min씩 초음파 시간을 두어 전처리하였다. 이 때 필요한 시료 량에 따라 100g씩 5회씩 시료 전처리가 동일한 방식으로 이루어졌다.

2.3 PP/케냐프섬유/대나무섬유 복합재 제조

복합재 제조는 이축압출기를 이용하여 제조하였는데 가공온도는 다이온도 기준으로 200°C, 스크류 회전속도는 100rpm으로 고정하였다.

2.4 측정

대나무섬유와 케냐프 섬유의 표면처리 조건에 따른 내부 균열 및 내부 구조와 같은 계면 특성을 관찰하기 위해, Scanning Electron Microscope(FE-SEM, JSM-6701F, JEOL, Japan)을 이용하였다. 그리고 전처리 전과 후의 천연섬유의 화학적 구조를 특성화하기위해 FT-IR을 사용하였으며, 복합재의 열적 특성을 확인하기 위해 DSC를 측정하였다.

대나무 섬유 복합재와 케냐프 섬유 복합재의 물리적인 특성을 확인하기 위하여 인장강도는 ASTM D638M, 파열강도는 ASTM D 8065의 규격에 준하여 만능시험기(universal testing machine : UTM, INSTRON 5567, USA)을 사용하여 측정하였다. 또한 충격강도는 ASTM D6110의 규격에 따라 샤르피 충격강도시험기(Charpy Impact Resistance, Ueshima, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 각각의 물리적 특성 값은 5개의 측정값을 통해 최대값과 최소값을 제외한 3개의 측정값의 평균을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대나무섬유의 표면처리 조건에 따른 특성

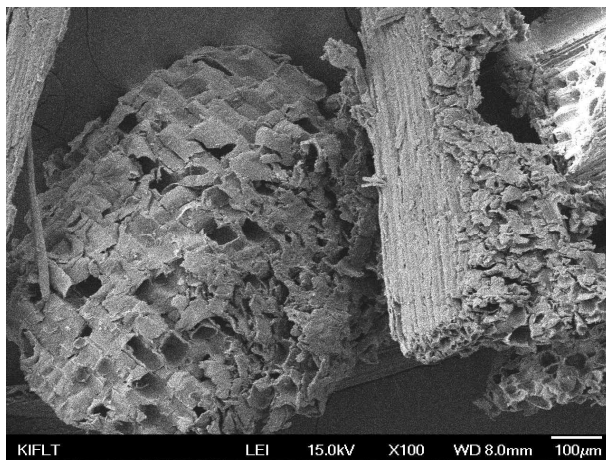
Figure 1에는 상기와 같이 대나무섬유와 케냐프 섬유를 초음파 전처리 후 SEM image를 측정하였다. 초음파 전처리한 경우 헤미셀룰로오스 및 리그닌이 전처리 안 한 경우 대비 더 많이 제거된 것을 확인할 수 있었다.

3.2 PP/대나무 섬유 복합재와 PP/케냐프 섬유 복합재의 물리적 특성

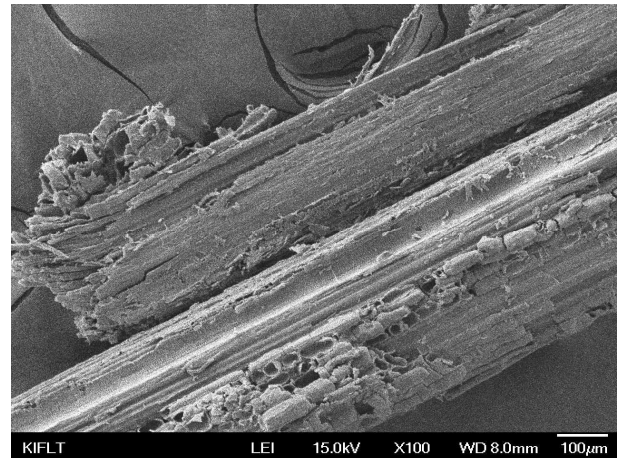
Table 1에 PP/대나무 섬유 복합재와 PP/케냐프 섬유 복합재의 조성 및 적용 함량을 나타내었다. PP, 대나무 섬유 및 케냐프 섬유의 함량은 고정하고 초음파 전처리 시간을 각각 다르게 적용하였다.

Figure 2는 PP/대나무 섬유 복합재와 PP/케냐프 섬유 복합재의 초음파 처리 시간에 따른 인장강도를 나타내었다. 초음파 처리된 대나무 섬유와 케냐프 섬유를 적용한 복합재의 인장강도가 미처리 복합재 대비 인장강도가 소폭 개선된 것으로 확인되었다. 처리 시간에 따른 인장강도 특성은 처리 시간이 90min일 때가 30min인 경우보다 더 높은 것으로 보아 초음파 처리의 경우 헤미셀룰로오스와 리그닌만을 선택적으로 제거하는 효과가 있는 것으로 판단된다. 대나무섬유 및 케냐프 섬유에 초음파 처리하면 표면에 친수성 물질이 제거되어 소수성(hydrophobic)인 형태를 나타내게 된다. 소수성이 된 천연 섬유는 소수성인 PP 매트릭스와의 상용성이 증대되어 계면특성이 향상됨으로써 전처리한 천연섬유의 보강효과가 있음을 확인하였다.

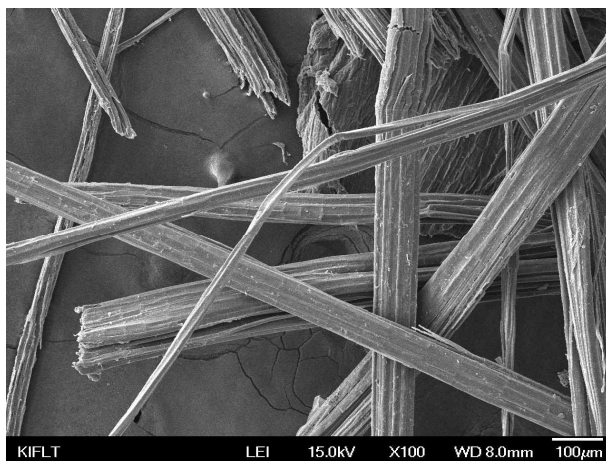
Figure 3에는 PP/대나무 섬유 복합재와 PP/케냐프 섬유 복합재의 초음파 처리 시간에 따른 파열강도 변화를 나타내었다.



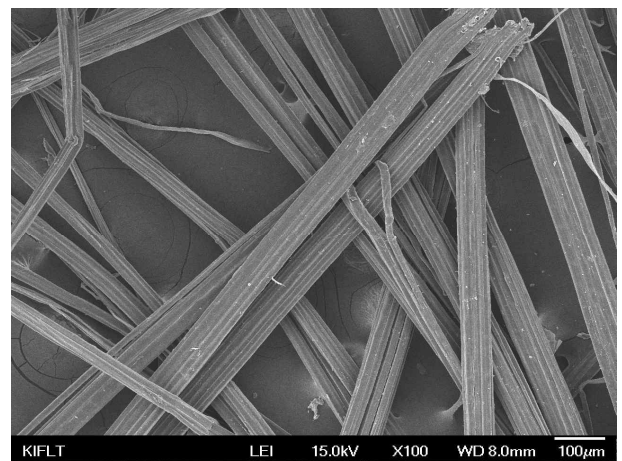
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 1. SEM images of fiber treated under the following conditions; (a) bamboo(untreated), (b) bamboo(treated 30min), (c) kenaf(untreated), (d) kenaf(treated 30min).

Table 1. Composition of PP/bamboo fiber and PP/kenaf composites with various treatment conditions

Trials	PP(%)	Bamboo(%)	Kenaf(%)	St/acid
1	70	30(No sonic treatment)	-	1
2	70	30(Sonic 30min)	-	1
3	70	30(Sonic 60min)	-	1
4	70	30(Sonic 90min)	-	1
5	70	-	30(No sonic treatment)	1
6	70	-	30(Sonic 30min)	1
7	70	-	30(Sonic 60min)	1
8	70	-	30(Sonic 90min)	1

대나무 섬유 복합재에서는 인장강도가 표면개질에 의한 효과가 상대적으로 덜한 반면 파열강도의 경우 초음파 처리한 복합재의 경우 미처리 대비 파열강도 값이 크게 증가한 것을 확인하였다. 이는 섬유의 길이가 짧아 방향성이 존재하는 섬유의 경우 매트릭스와 섬유의 방향이 동일하지 않아 힘의 분산이 이루어져 파열값의 큰 증가는 이루어지지 않았으나 케냐프는 대나무에 비해 상대적으로 긴 섬유장을 가져 매트릭스 흐름성에 영향을 받아 매트릭스와 방동일 방향성을 가지게 되며 보강효과가 크게 나타난 것으로 판단된다.

Figure 4에는 PP/대나무 섬유 복합재와 PP/케냐프 섬유 복합재의 초음파 처리 시간에 따른 충격강도를 나타내었다. 표면처리를 하지 않은 대나무 섬유와 케냐프 섬유를 적용한 복합재 대비 초음파 처리된 섬유를 적용한 경우가 충격강도가 상승하는 것을 확인할 수 있다. 이전 인장강도 및 파열강도와 마찬가지로 초음파 처리 시간에 따라 섬유의 헤미셀룰로오스와 리그

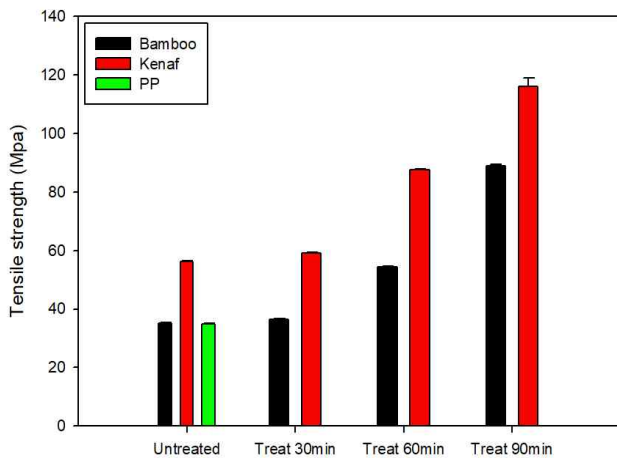


Figure 2. Tensile strength of PP/bamboo composites and PP/kenaf composites at different ultrasonic treatment time.

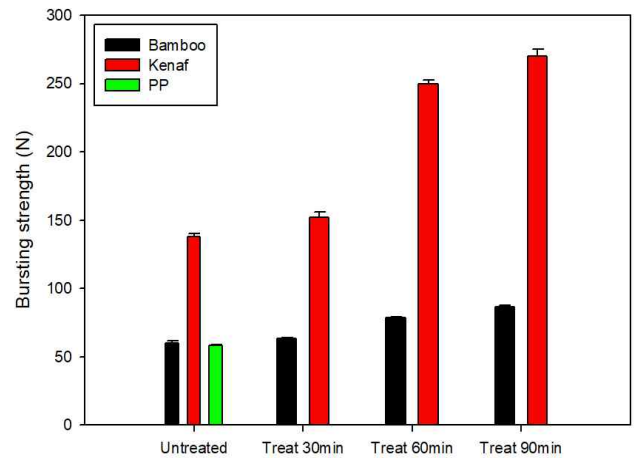


Figure 3. Bursting strength of PP/bamboo composites and PP/kenaf composites at different ultrasonic treatment time.

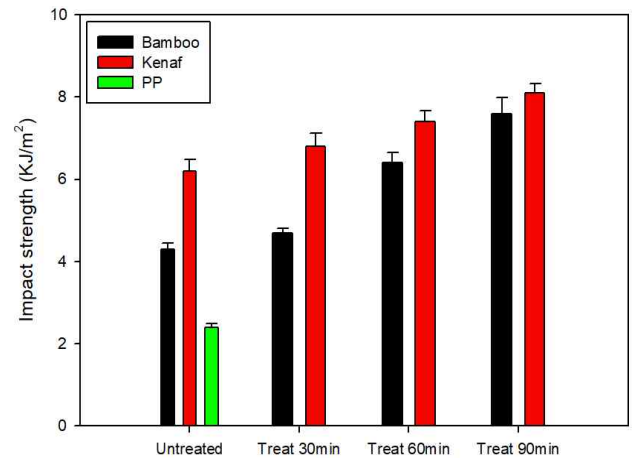


Figure 4. Impact strength of PP/bamboo composites and PP/kenaf composites at different ultrasonic treatment time.

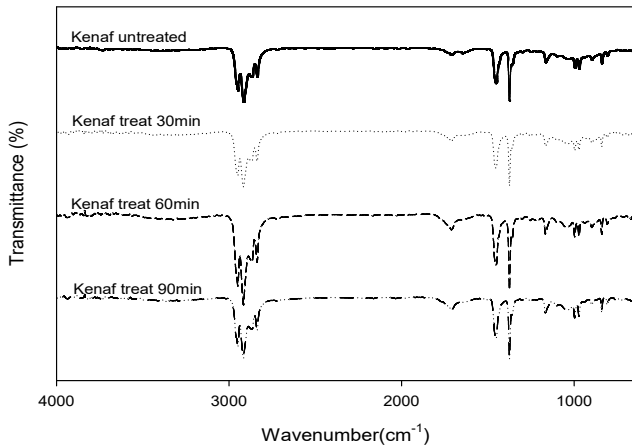


Figure 5. FT-IR spectra of kenaf composite.

닌 성분을 제거함에 있어서 초음파 전처리가 효과적인 것을 의미한다고 판단할 수 있다. 초음파 처리 시간이 짧을 경우 헤미셀룰로오스와 리그닌이 효과적으로 제거되지 않고 처리 시간이 길어질수록 물성이 증가되는 것으로 판단된다.

Figure 5에서의 FT-IR 스펙트럼은 복합재의 케냐프 섬유의 초음파 처리 결과를 확인하는데 사용되었다. 처리하지 않은 섬유와 처리된 섬유의 스펙트럼을 비교하였다. 섬유의 초음파 처리는 각 섬유에 대한 파수와 흡수밴드에 영향을 미치는 것을 관찰할 수 있었다. 헤미셀룰로오스 및 기타 불순물의 제거는 섬유 밴드의 흡수값의 감소로 확인할 수 있다. 이는 처리 시간의 증가로 초음파 처리된 섬유의 diameter나 roughening 감소를 나타내어 섬유의 기계적 연동 및 접착 특성을 향상시킨다는 연구로 뒷받침 될 수 있다.

미처리 및 처리된 케냐프 섬유의 FT-IR 분석에서 처리되지

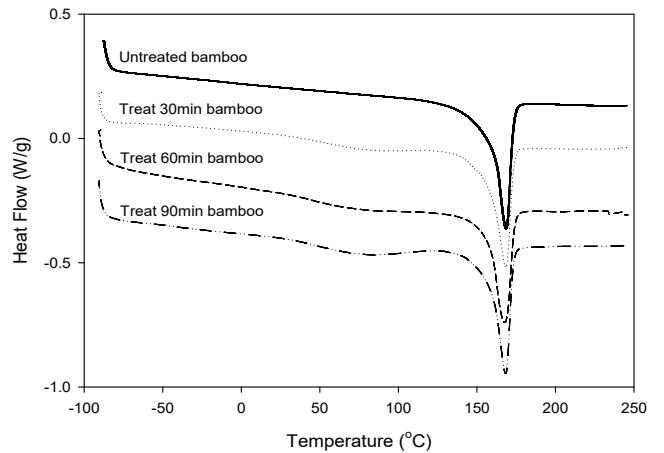
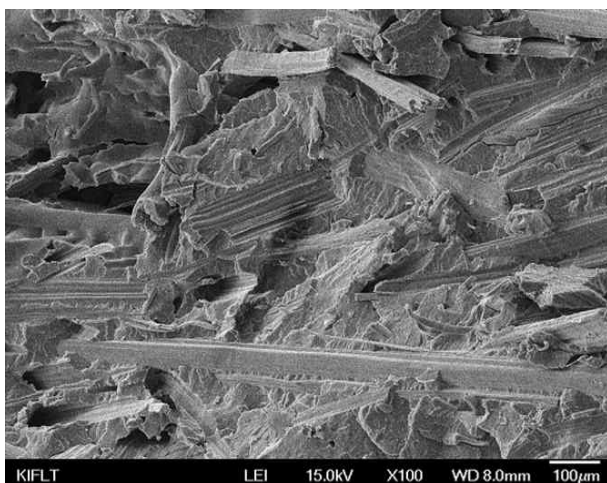


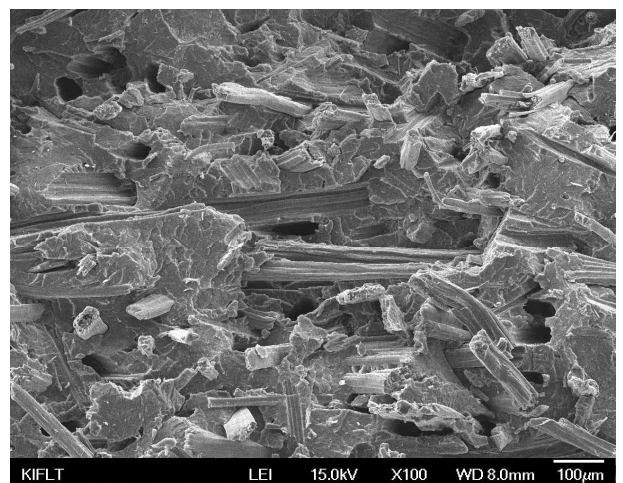
Figure 6. DSC thermograms of bamboo composite.

않은 케냐프 섬유의 1732cm^{-1} 에서 흡수피크가 관찰되었고, 이는 헤미셀룰로오스의 C=O 스트레칭에 해당하는 케냐프 섬유 피크이다. 이 흡수 피크가 초음파 처리 후 나타나지 않았다. 이는 FT-IR분석에서 초음파 s처리는 케냐프 섬유인 경우 헤미셀룰로오스 농도에만 영향을 미치는 것을 확인하였다.

Figure 6은 시차주사열량계를 사용하여 bamboo 복합재의 냉각곡선을 확인하였다. PP 매트릭스의 결정화에 해당하는 약 165°C 에 위치한 주요 발열피크를 보여준다. 초음파 처리 시간을 늘릴수록 결정화 온도에서 $3\sim 6^\circ\text{C}$ 이동하여 관찰되었다. 이 감소는 복합재의 천연섬유가 핵형 성제 역할을 할 수 있음을 나타낸다. 모든 시료는 PP 매트릭스의 용융에 해당하는 $162\sim 165^\circ\text{C}$ 사이의 흡열피크를 나타내었다. 이러한 결과는 대나무 섬유의 첨가가 PP 매트릭스의 용융과정을 방해하지 않았음을 나타낸다.



(a)



(b)

Figure 7. SEM image of PP/kenaf fiber composites; (a) kenaf(untreated), (b) kenaf(treat 30min).

Table 2. Composition of PP/bamboo fiber and PP/kenaf fiber composites with various treatment conditions

Trial No.	Unit	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Density	-	1.019	1.017	1.012	1.008	0.913	0.912	0.910	0.906	0.910
Bursting strength	N	60.3	63.4	78.5	86.7	138	152	250	270	58.4
Tensile strength	Mpa	35.2	36.4	54.3	88.9	56.2	59.0	87.5	116	35.0
Impact strength	KJ/m ²	4.3	4.7	6.4	7.6	6.2	6.8	7.4	8.1	2.4

Figure 7에는 PP/케냐프 섬유 복합재의 충격강도 측정 후 파단면의 SEM 이미지를 나타내었다. 90min 초음파 처리 후 복합재의 파단면이 매트릭스와 섬유의 계면접착성이 더 우수한 것을 알 수 있고, 이러한 특성이 물리적 특성의 향상 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 또한 Table 2에 대나무 섬유의 전처리를 통해 표면에 존재하는 리그닌이 제거되었고 리그닌이 있었던 공간에 공극이 생기면서 섬유표면의 거칠기가 증가하였다. 증가한 거칠기는 PP 매트릭스 내에서 비표면적이 증가하여 계면결합력이 증대된 것으로 판단되며, 이러한 이슈로 인해 파열강도가 향상된 결과를 나타내었다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 PP/대나무 섬유 그리고 PP/케냐프 섬유 복합재의 물리적 특성 향상을 위하여 유해한 전처리 방법인 화학적 개질법이 아닌 물리적 개질을 사용하였다. 대나무섬유와 케냐프 섬유는 초음파 전처리 시간을 길게 적용할수록 헤미셀룰로오스 및 리그닌 성분의 제거가 효과적인 것으로 나타났으며 이를 적용한 PP/대나무 섬유 복합재와 PP/케냐프 복합재의 인장강도, 파열강도 및 충격강도도 개선된 것으로 확인되었다. 이것은 PP와 대나무 섬유, 케냐프 섬유와의 계면접착 특성의 향상에 의한 것으로, 향후 실제 산업에 적용하기 위해서는 공정의 편의성을 고려한 초음파 처리시간 최적 조건 등에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 사료된다.

References

1. K. Autar and M. Kaw, "Mechanics of Composite Materials 2nd", CRC PRESS Taylor and Francis Group, Boca Raton, p.3, 2006.
2. D. N. Saheb and J. P. Jog, Natural Fiber Polymer Composites: A Review, *Advanced in Polymer Technology*, **18**(4), 351(1999).
3. X. Li, L. G. Tabil, S. Panigrahi, and W. J. Crerar, The Influence of Fiber Content on Properties of Injection Molded

Flax Fiber-HDPE Biocomposites, *Canadian Biosystems Engineering*, **8**, 1(2009).

4. K. Jarukumjorn and N. Suppakarn, Effect of Glass Fiber Hybridization on Properties of Sisal Fiber-polypropylene Composites, *Composites: Part B*, **40**(7), 623(2009).
5. R. Malkapuram, V. Kumar, and S. N. Yuvraj, Recent Development in Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **28**(10), 1169(2008).
6. S. Harish, D. P. Michael, A. Bensely, D. M. Laib, and A. Rajaduri, Mechanical Property Evaluation of Natural Fiber Coir Composite, *Materials Characterization*, **60**(1), 44(2009).
7. S. F. Andrade, F. R. D. Toledo, F. J. A. Melo, and F. E. M. Rego, Physical and Mechanical Properties of Durable Sisal Fiber-cement Composites, *Construct Build Material*, **24**(5), 777(2010).
8. S. Jain, R. K. Kumar, and U. Jindal, Mechanical Behavior of Bamboo and Bamboo Composite, *Journal of Materials Science*, **27**, 4598(1992).
9. S. Jain, R. K. Kumar, and U. Jindal, Development and Fracture Mechanism of the Bamboo/polyester Resin Composite, *J. Mater. Sci. Let.*, **12**, 558(1993).
10. A. V. Rajulu, S. A. Baksh, R. G. Reddy, and K. N. Chary, Chemical Resistance and Tensile Properties of Short Bamboo Fiber Reinforced Epoxy Composites, *J. Reinforced Plast. Compos.*, **17**(17), 1507(1998).
11. S. H. Li, S. Y. Fu, B. L. Zhou, Q. Y. Zeng, and X. R. Bao, Reformed Bamboo and Reformed Bamboo/aluminium Composite, *J. Mater. Sci.*, **29**(7), 5990(1994).
12. A. K. Moranty, M. Misra, and L. T. Drzal, "Naturally Cyclable Biocomposites", *Elastomers and Composites*, England, pp.13-21, 2009.
13. F. T. Wallenberger and N. E. Weston, "Natural Fibers, Plastics and Composites", Kluwer Academic Publishers, Boston, pp.3-7, 2004.
14. I. Kellerztein and A. Dotan, Chemical Surface Modification of Wheat Straw Fibers for Polypropylene Reinforcement,

- Plym. Compos.*, **37**(7), 2133(2016).
15. X. Chen, Q. Guo, and Y. Mi, Bamboo Fiber-reinforced Polypropylene Composites: a Study of the Mechanical Properties, *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**(10), 1891(1998).
 16. A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, Surface Modifications of Natural Fibers and Performance of the Resulting Biocomposites: An Overview, *Compos. Interfaces*, **8**(5), 313(2001).
 17. R. Agrawal, N. S. Saxena, K. B. Sharma, S. Thomas, and M. S. Sreekala, Activation Energy and Crystallization Kinetics of Untreated and Treated Oil Palm Fibre Reinforced Phenol Formaldehyde Composites, *Mater. Sci. Eng.: A*, **277**(1-2), 77(2000).
 18. A. Jahn, M. W. Schroder, M. Futing, K. Schenzel, and W. Diepenbrock, Characterization of Alkali Treated Flax Fibres by Means of FT Raman Spectroscopy and Environmental Scanning Electron Microscopy, *Spectrochim. Acta A: Mol. Biomol. Spectrosc.*, **58**(10), 2271(2002).
 19. J. B. Madeleine and Z. Dongke, Ultrasonic Pretreatment of Wheat Straw in Oxidative and Nonoxidative Conditions Aided with Microwave Heating, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **52**(35), 12514(2013).
 20. A. Iskalieva, B. M. Yimmou, P. R. Gogate, M. Horvath, P. G. Horvath, and L. Csoka, Cavitation Assisted Delignification of Wheat Straw: a Review, *Ultrason. Sono-chem.*, **19**(5), 984(2012).
 21. F. Liu, J. L. Ren, F. Xu, J. J. Liu, J. X. Sun, and R. C. Sun, Isolation and Characterization of Cellulose Obtained from Ultrasonic Irradiated Sugarcane Bagasse, *J. Agri. Food. Chem.*, **54**(16), 5742(2006).
 22. B. Stefanovic, T. Rosenau, and A. Potthast, Effect of Sonochemical Treatments on the Integrity and Oxidation State of Cellulose, *Carbohydr. Polym.*, **92**(1), 921(2013).
 23. L. Zhang, X. Ye, S. J. Xue, X. Zhang, D. Liu, R. Meng, and S. Chen, Effect of High-intensity Ultrasound on the Physicochemical Properties and Nanostructure of Citrus Pectin, *J. Sci. Food. Agri.*, **93**(8), 2028(2013).

Authors

-
- 이수경** 한국신발피혁연구원 선임연구원
부산대학교 유기시스템공학과 박사과정 학생
- 박은영** 한국신발피혁연구원 책임연구원
부산대학교 유기시스템공학과 박사
- 박태성** 한국신발피혁연구원 책임연구원
- 안승국** 부산대학교 유기시스템공학과 교수