목재공학 37(3): 222~230, 2009
Mokchae Konghak 37(3): 222~230, 2009

알칼리 처리된 Kenaf 섬유가 충전된 Polypropylene/ Kenaf 바이오복합재의 기계적 특성*1

김 삼 성*2 · 이 병 호*3 · 김 현 중*3,4† · 오 세 창*2 · 안 세 희*2

Mechanical Properties of Alkali Treated Kenaf Fiber Filled PP Bio-Composites*1

Samsung Kim*2 · Byoung-Ho Lee*3 · Hyun-Joong Kim*3,4† · Sei Chang Oh*2 · Sye-Hee Ahn*2

요 약

본 연구에서는 천연 섬유와 matrix간의 결합에 불리하게 작용하는 wax, lignin, hemicellulose 등을 제거하기 위한 방법 중 하나인 NaOH를 이용한 천연섬유의 알칼리 처리가 Kenaf 장섬유/PP 혼합 바이오복합재 제조 시 기계적인 물성에 미치는 영향에 대해 알아보았다. Kenaf 장섬유의 적절한 배합비와 알칼리처리를 통한 최적의 바이오복합재를 제조하기 위하여 알칼리 처리 시의 농도와 kenaf fiber의 함유량을 달리하여 각 처리조건에 따른 바이오복합재의 특성을 조사하였다. 알칼리 처리를 통한 계면 결합의 증가를 확인하기 위하여 SEM을 이용하여 복합재의 단면을 확인하였다. 그 결과 알칼리 처리가 3% 농도부터 계면 결합이 증가하고, 5%일 때의 최고의 계면 결합력을 보였다. 하지만 기계적 강도에서는 알칼리 농도 3% 처리한 것이 최적이었으며 kenaf fiber가 30% 함유된 PP/kenaf섬유 바이오복합재가 높은 강도를 나타내었다.

* 1 접수 2008년 10월 31일, 채택 2009년 2월 24일
* 2 대구대학교 산림자원학과, Dept. of Forest Resources, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea
* 3 서울대학교 산림과학부 환경재료과학 전공 바이오복합재료 및 접착과학 연구실, Lab. of Adhesion & Bio-Composites, Program in Environmental Materials Science, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea
* 4 서울대학교 농업생명과학연구원, Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea
† 주저자(corresponding author) : 김현중(e-mail: hjokim@snu.ac.kr)

ABSTRACT

This study was to investigate the effect of alkali treatment for long kenaf fiber to improve fiber surface characterics by removal of wax, lignin and hemicellulose which affect adversely for matrix union. SEM observation was also studied to check out the interface adhesion improvement by the alkali pre-treatment. From the result, interface coherence increased by 3% alkali pre-treatment and reached a maximum by 5% alkali pre-treatment. However, the 3% the bio-composites treated with 3% alkali was highest tensile and flexural strength than other.

Keywords: Natural fiber, bio-composites, alkali treatment, kenaf fiber, long fiber, mechanical properties

1. 서 론

21세기 들어 점점 고갈되어 가고 있는 석유자원을 바탕으로 하는 기존의 소재를 천연소재 및 농작물 자원을 바탕으로 하는 환경 친화적 신소재로 대체하려는 노력이 계속되고 있다. 또한 날로 거세지는 환경규제에 발맞춰 국내의 자동차 산업을 비롯한 관련 업계에서도 그 필요성을 충분히 인식하고 개발에 노력하고 있는 실정이다. 이에 따라서 천연섬유와 고분자로 구성되는 천연섬유강화 바이오복합재에 대한 연구가 필요하다.

천연섬유강화 바이오복합재에 사용되는 천연섬유는 식물이 재성장 하고 그로부터 섬유를 생산해 낼 수 있는 시간이 매우 빠르며 생산성도 우수하다. 또한 유리섬유는 $ 2.00~3.25/kg에 비해 kenaf 섬유는 $ 0.44~0.55/kg로 비교적 낮은 가격이기 때문에 매우 경제적이다. 천연섬유는 동물성과 식물성 섬유로 구분되어 진다. 그 중 식물성 섬유는 줄기 잎, 열매, 씨 등에서 얻을 수 있는 섬유를 말한다. 그 중 본 연구에 사용한 kenaf는 마의 일종으로 생산성이 높고 물성도 뛰어나며, 소재공급이 용이하며 경제적 위치에서 유리한 면을 갖는다. Kenaf섬유는 오랜 역사를 가지고 있으며 주로 아프리카에서 생산 되어진다. 또한 열대지역의 기후를 지니고 있는 여러 나라에서 생산되고 있으며, 6개월에 약 4 m 정도의 성장 속도를 가질 정도로 우수하다.

하지만 천연 섬유가 가지는 단점인 친수성은 천연섬유와 matrix 간의 결합을 약하게 한다. 또한 천연섬유 표면에 존재하는 왁스 성분은 섬유가 고분자 수지와 결합하는데 불리하게 작용한다. 그러므로 천연섬유를 바이오복합재에 사용하기 위해서는 표면개질이 필요하다. 또한 섬유표면의 개질은 섬유강화 고분자 복합재료의 최종 물성과 성능을 결정하는 가장 중요한 인자이며 나아가 여러 가지 기계적 열적 특성 증가를 도모할 수 있다. 이러한 이유 때문에 섬유표면의 개질방법에 대한 여러 연구가 수행되었다 (Mohanty *et al.*, 2001)[10]. 그 중에서도 복합재료의 성능에 미치는 알칼리 처리의 영향은 여러 연구자에 의하여 보고되었다. 알칼리용액농도, 처리시간, 처리온도는 결합력 향상을 위한 섬유개질의 효율을 결정하는 매우 중요한 인자이다. Kenaf섬유에 존재하는 cellulose를 제외한 표면 결합에 방해가 되는 불순물에 해당하는 lignin과 hemicellulose 등을 쉽게 제거할 수 있는 알칼리 처리효과에 대한 연구는 진행되어 왔지만, 알칼리 처리 농도에 따른 처리효과에 대한 연구 결과는 미흡하므로 본 연구에서는 알칼리 처리 농도를 달리하여 kenaf fiber 처리 정도를 판단함과 동시에 바이오복합재 제조 시의 중요한 인자 중 하나인 섬유함량을 달리하여 적합한 처리방법을 제시하였다.

Table 1. Average tensile strength, density, fiber length of kenaf fiber sample and PP fiber

Materials	Tensile strength (MPa)	Density (g/cm^3)	Fiber length (mm)
Kenaf fiber	800	1.4	60
PP fiber	34	0.91	30

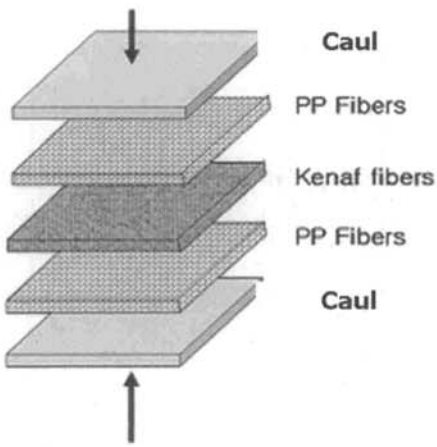

Fig. 1. Fabrication procedure of the laminated composite.

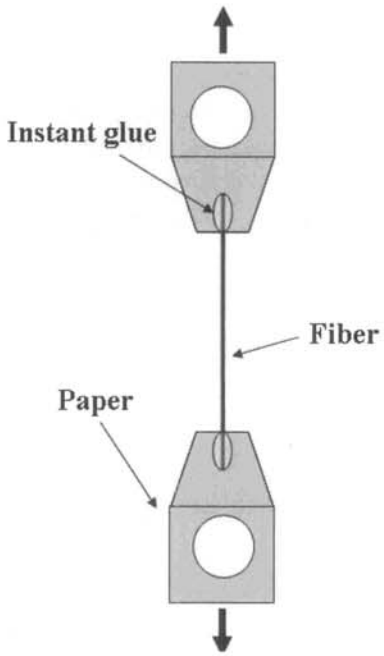

Fig. 2. The schematics of fiber tensile test.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

바이오 복합재료의 matrix로 사용된 polypropylene (PP)는 Kolon Industry Inc.에서 공급 받았으며 섬유의 밀도는 0.91 g/cm^3이며 Melt Flow Index는 12 (230°C, 2,160 g)이고 평균 길이 30 mm를 사용하였다. Kenaf섬유는 (주)한우리 섬유에서 공급 받았으며 기계적과 물리적 특성은 Table 1과 같다.

2.2. Kenaf섬유의 알칼리처리

Kenaf섬유를 서로 다른 농도의 NaOH용액을 만들어 1시간 침적시킨 후 kenaf섬유를 넣어 상온에서 2시간 동안 처리하였다. 알칼리용액의 농도는 각각 1%, 3%, 5%이고 처리된 섬유는 아세트산으로 중화시킨 후 pH meter를 사용하여 중성(pH 7.5)으로 될 때까지 증류수로 세척 하였으며 그 후, dry oven에서 100°C로 24시간 건조하여 수분 침투 방지를 위해 polyethylene bag에 보관 하였다.

2.3. PP/kenaf계 바이오복합재료의 제작

알칼리 처리된 kenaf섬유와 PP (polypropylene)를 정해진 비율(kenaf/PP - 90/10, 70/30, 50/50)로 각각 제조하였다. PP fiber를 바깥 층(위, 아래)에, 중간층에는 kenaf섬유를 넣어 바이오복합재를 제작하였다(Fig. 1). 제조조건은 열압시간은 8분, 열압온도는 180°C, 냉압은 1시간으로 하여 각각 2장씩 (20mm × 20 mm × 3 mm) 제작하였다.

2.4. 섬유인장강도 테스트

처리되지 않은 kenaf섬유와 알칼리 처리된 kenaf섬유를 만능강도시험기(UTM)를 이용하여 측정하

였다. Load cell은 5 kg을 사용하였고 2 mm/min의 속도로 kenaf섬유의 인장강도를 측정하였다. Kenaf 섬유는 측정하기 24시간 전에 dry oven에서 60°C에서 건조시켰으며, kenaf섬유 강도 측정 시험편은 길이 2 cm, 굵기 약 0.03~0.06 mm사이의 섬유를 잘라서 만들었으며, 순간접착제(시아노아크릴레이트 95% 이상, 복합화합물 5% 미만)를 소량 사용하여 부착 시켜 Fig. 2와 같이 측정 하였다.

2.5. PP/kenaf계 바이오복합재료의 강도 시험

PP/kenaf섬유계 바이오복합재의 굴곡강도 테스트는 ASTM D790에 근거하여 만능강도시험기(Instron. 4467)를 사용하여 측정하였다. 측정된 시험편은 크기는 길이 50 mm, 폭 25 mm, 두께 2 mm로 하였다. 인장강도시험은 ASTM D638에 의거하여 만능강도시험기를 사용하여 5회 반복 측정하였다.

2.6. FT-IR

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Jasco FT/IR-6100)를 이용하여 NaOH 처리로 인한 kenaf 섬유의 화학적 변화를 조사하였다. 측정 방법은 ATR (Attenuated Total Reflection)법으로서 복사선이 굴절률이 다른 두 매질의 경계를 지날 때 두 매질이 갖는 굴절률의 차이에 의해 일어나는 total reflection의 원리를 이용한 방법으로 고체시료, 액체시료, 표면연구 등의 측정에 유용한 방법이다. 측정범위는 4,000~650 cm^{-1}에서 측정하였다.

2.7. 주사전자현미경(SEM)

알칼리 처리되지 않은 kenaf섬유와 처리된 kenaf 섬유의 표면과 PP/kenaf섬유계 바이오복합재료의 인장강도 실험 후 파괴된 시편의 파단면을 관찰하기 위해 주사전자현미경을 사용하였다. 모든 시편은 표면에 전도성을 부여하기 위하여 일정 시간 동안 스퍼터링(sputtering)방법을 사용하여 kenaf섬유 및

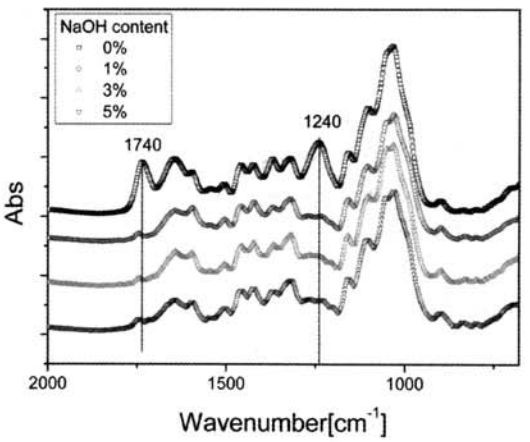

Fig. 3. FT/IR Spectra of the outer surfaces of kenaf fiber with untreated and NaOH pretreatment.

PP/kenaf 섬유계 바이오복합재의 표면을 금(Au)으로 코팅한 후 50 μm로 관찰(× 500)하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 알칼리 처리된 kenaf섬유 분석

3.1.1. FT-IR을 이용한 kenaf섬유 분석

Fig. 3의 FT-IR 데이터에서 볼 수 있듯이 알칼리 처리가 되지 않은 kenaf섬유의 1,740 cm^{-1}에서 나타난 hemicellulose 기여하는 peak는 그대로 남아 있음을 확인할 수 있었다. NaOH 1% 농도로 처리를 한 그래프에서는 1,740 cm^{-1}에 나타나는 hemicellulose 기여하는 peak가 줄어든 것을 볼 수가 있었지만 NaOH 3%와 5% 농도로 처리를 한 그래프에서는 더 이상 변화가 없음을 확인 할 수 있었다. 1,240 cm^{-1}에서 나타나는 peak는 wax에 해당되는 silica bond인데 NaOH 처리하지 않은 그래프에서는 존재하지만 NaOH 1% 농도로 처리한 kenaf섬유의 그래프에서 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며 NaOH 3%와 5% 농도로 처리한 kenaf섬유의 그래프에서는 더 이상 변화가 없는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 1,740 cm^{-1}에서 wax와 natural fat에 기여하는

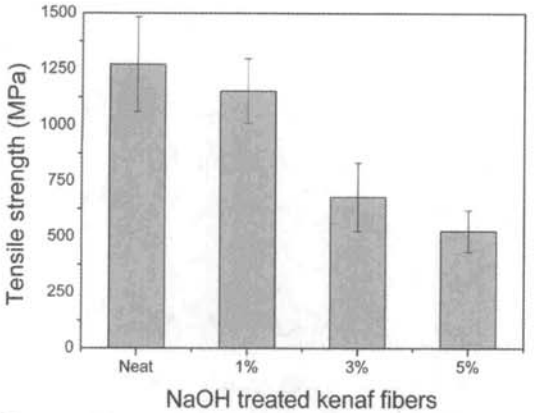

Fig. 4. Tensile strength of NaOH treated kenaf fibers.

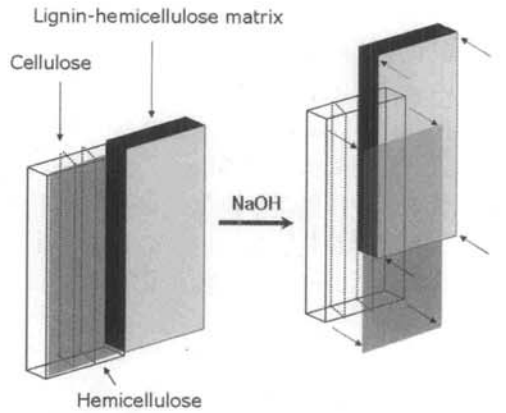

Fig. 5. Model proposed by Kerr and Goring (1975).

ester linkage에 존재하는 carboxylic groups이 NaOH와 반응하여 peak가 감소한다는 연구결과(Ndazi *et al.*, 2007)[13]와 유사한 것으로 생각된다.

3.1.2. 섬유인장강도

Fig. 4는 알칼리 처리를 하지 않은 kenaf섬유와 NaOH로 처리한 kenaf섬유의 섬유인장강도 테스트 결과이다. 실험결과, 알칼리 처리의 농도가 짙어질수록 kenaf섬유의 인장강도가 저하함을 알 수가 있었다. NaOH 1% 처리한 kenaf섬유와 알칼리 처리가 되지 않은 kenaf섬유를 비교해보면 10% 정도의 섬유 인장강도 저하가 일어났지만 3% 농도의 알칼리 처리가 되었을 때는 알칼리 처리가 되지 않은 kenaf 섬유에 비해서 50%의 섬유 인장강도 저하가 일어나는 것을 볼 수가 있었다. 하지만 5% 농도의 처리가 되었을 때는 3%의 농도의 처리보다 약 10% 정도의 섬유 인장 강도가 저하가 일어 난 것으로 보아 3% 농도에서 NaOH 처리가 가장 많이 된 것을 알 수가 있었다. 이렇게 kenaf섬유 강도가 떨어지는 이유는 kenaf 섬유에 존재하는 hemicellulose, lignin 등의 성분이 제거되면서 Fig. 5와 같이 섬유 사이에 존재하는 lignin-hemicellulose matrix와 cellulose의 연결을 잡아 주고 있던 hemicellulose가 NaOH 분해가 되어 섬유자체의 강도 저하가 나타난 것으로 보여진다. 이와 비슷한 예로 curaua 섬유를 가지고 NaOH 전처리를 하였을 때 NaOH 처리가 섬유 다발의 구조를 바꾸고 리그닌의 감소에도 영향을 주며 화학적 형태의 변화를 일으켜 섬유자체의 강도 감소에도 영향을 준 연구가 보고된 바가 있다(Gomes *et al.*, 2004)[8]. 앞의 Fig. 3의 FT-IR 분석 그래프에서 보면 NaOH를 1%로 전처리한 kenaf 섬유에서 hemicellulose가 사라졌지만 섬유 강도 테스트 결과로 보면 NaOH 전처리한 kenaf 섬유 3% 농도에서부터 급격하게 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

3.1.3. Kenaf 섬유의 주사전자현미경 관찰

Fig. 6는 처리되지 않는 kenaf섬유(A)와 NaOH 처리가 각각 1% (B), 3% (C), 5% (D)된 kenaf섬유의 SEM사진이다. (A)에서 보면 확실하게 kenaf섬유 표면에 존재하는 불순물(impurities)을 볼 수가 있었는데 이러한 불순물들은 계면 결합을 방해하는 요소 중 하나이다. 또한 (B)에서 앞의 (A) 보단 조금 깨끗해진 표면을 관찰할 수 있었지만 여전히 존재하는 불순물들을 관찰할 수 있었다. 그러나 (C)에서 보게 되면 섬유 표면에 존재하던 불순물들이 거의 사라진 것과 함께 훨씬 깨끗해진 표면을 관찰할 수 있다. 그리고 (D)에서 보게 되면 kenaf섬유 표면에 존재하는 불순물들과 lignin, hemicellulose가 사라져 fibril화가 일어난 것을 볼 수가 있다. 원래의 lignin과 hemicellulose 등은 섬유자체의 강도를 높여

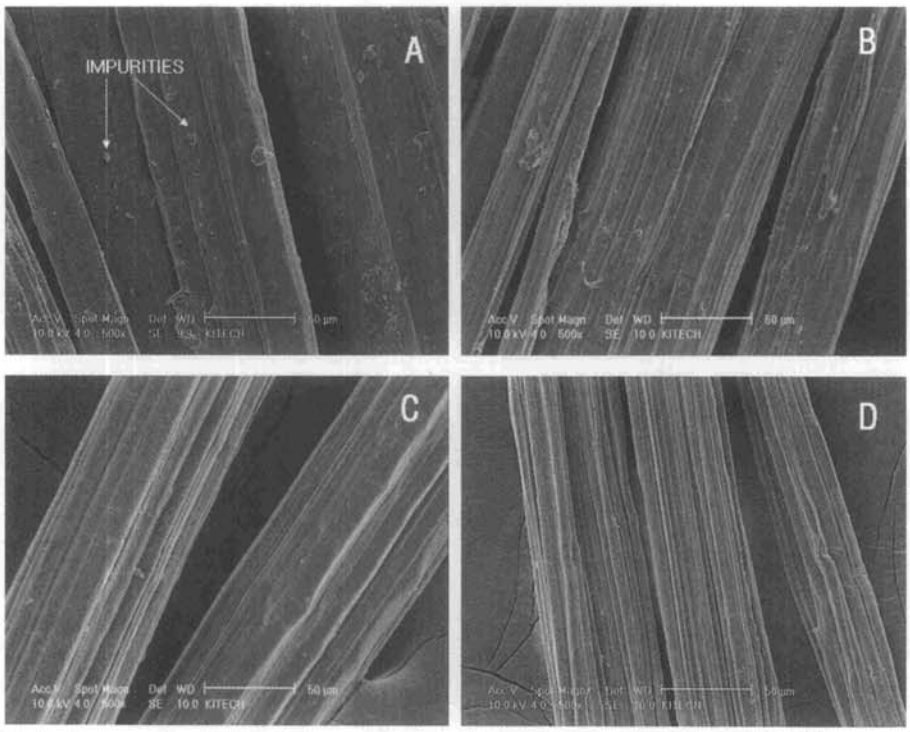

Fig. 6. SEM micrographs of the (A) an untreated kenaf fiber and (B) 1% NaOH treated (C) 3% NaOH treated (D) 5% NaOH treated : 50 μm (× 500).

주나 matrix와의 계면결합에서는 방해요소들이다. fibril화가 일어나면 효과적으로 결정영역인 cellulose와 matrix간의 결합이 잘 일어날 수 있게 된다고 연구된 바가 있다(Bisanda and Ansell, 1991)[5].

3.2. PP/kenaf계 바이오복합재료의 인장강도, 굴곡강도 및 SEM

3.2.1. PP/kenaf계 바이오복합재료의 인장강도, 휨강도 및 강도

Figs. 7과 9는 각각 NaOH를 1%, 3%, 5%로 전처리한 kenaf 섬유와 PP의 배합비율에 따른 인장강도, 휨강도를 측정한 결과이다. 충전제와 matrix 간의 배합은 섬유가 matrix 안에서 충전제로서의 역할이 되었을 때 가장 높은 강도를 가진다고 연구가 된 바가 있는데(Geethamma *et al.*, 1995)[7], 그래프를 보면 PP/kenaf 섬유 70/30의 배합비율에서 인장강도가 가장 높게 나타났음을 알 수 있다. 다른 PP/kenaf섬유 90/10의 배합비율과 50/50의 배합비율은 kenaf섬유가 충전제로서의 역할이 되지 않아 70/30의 배합비율에 비해 강도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

알칼리 처리가 PP/kenaf섬유 바이오복합재의 강도에 미치는 영향을 살펴보면 NaOH 3% 처리한 섬유를 사용한 바이오복합재의 강도가 가장 높게 나타난 것을 볼 수가 있다. 이것은 알칼리 처리가 섬유 표면의 거친 표면을 개선시켜 matrix와의 접착성을 개선시켰기 때문이다. 하지만 NaOH의 처리농도가 1%인 것은 계면결합력이 떨어져 인장강도가 하락되고 알칼리 처리가 5%일 때 과도한 처리로 인한 cellulose 자체를 분해시키고 섬유에 존재하는 리그닌을 과잉으로 제거시켜 오히려 섬유 강도의 저하가 일어난 것으로 보여 진다. Fig. 4에서 보면 NaOH 처리가 섬유 자체의 강도 저하를 일으키지만 PP와의

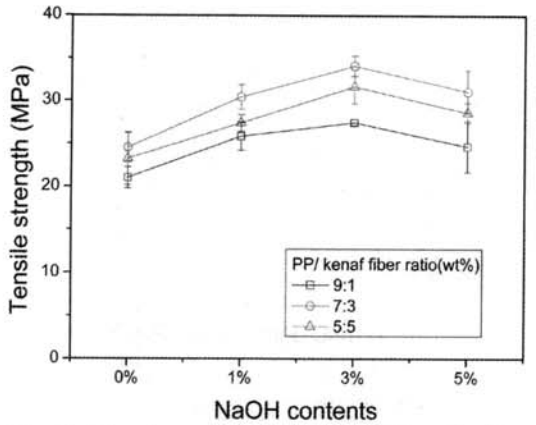

Fig. 7. Tensile strength of PP/kenaf bio-composite.

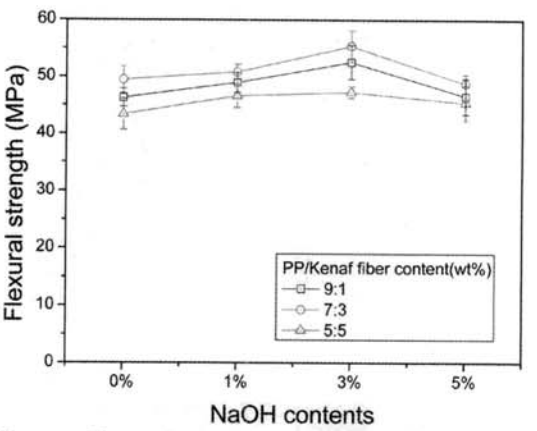

Fig. 9. Flexural strength of PP/kenaf bio-composite.

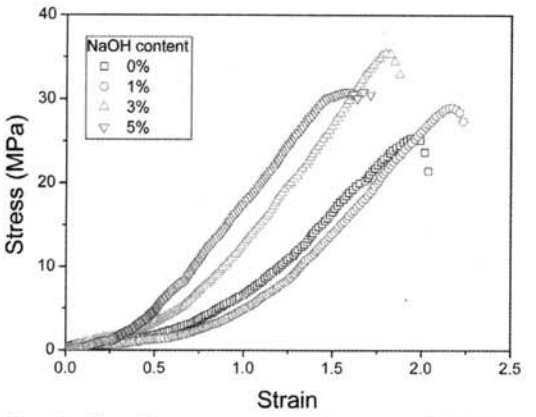

Fig. 8. Tensile stress-strain diagram of PP/kenaf bio-composite (70/30 wt%).

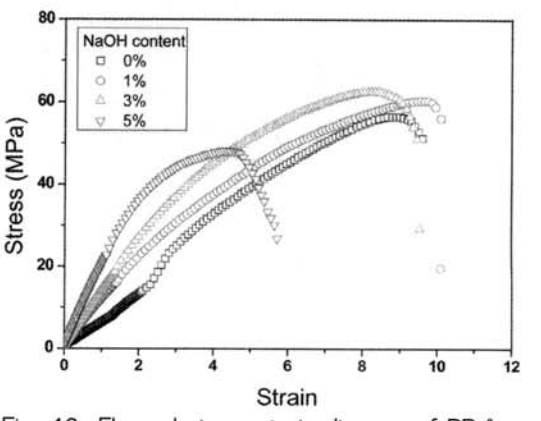

Fig. 10. Flexural stress-strain diagram of PP/kenaf (70/30) bio-composite.

바이오복합재 제조 시에는 matrix와의 계면 결합력이 좋아져 바이오복합재 강도의 상승을 가져왔다고 볼 수 있다.

Figs. 8과 10에서 보면 5%의 농도로 처리 하였을 때의 강도 값이 가장 크게 나타난 이유는 비결정영역인 hemicellulos와 lignin이 제거되면서 결정영역인 cellulose가 많이 남게 되어 취성(brittle)으로 되었기 때문이다. Fibril화가 많이 일어나면서 계면 접착력은 향상 되었으나 PP/kenaf 섬유 바이오 복합재의 강도는 3% 처리 하였을 때보다 5% 처리 하였을 때의 강도 값이 적게 나온 것을 보면 너무 과도한 알칼리처리로 인한 cellulose의 분해가 섬유 자체 강도의 하락을 가져왔기 때문으로 생각된다.

3.2.2. PP/kenaf섬유 바이오복합재의 주사전자 현미경 관찰

계면결합이 향상되었는지를 확인하기 위해서 PP/kenaf 섬유 바이오복합재의 인장강도 실험 후 시편의 파괴된 면을 SEM을 통하여 관찰하였다. Fig. 11은 NaOH 처리가 되지 않은 kenaf 섬유와 PP 간의 계면 SEM 사진이다. 알칼리 처리되지 않은 kenaf섬유의 표면 결합력이 낮아서 matrix와의 결합이 잘

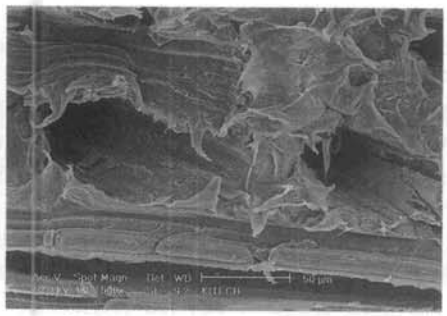

Fig. 11. SEM micrographs of PP/untreated kenaf fiber (70/30) interface on bio-composite: 50 μm (× 500).

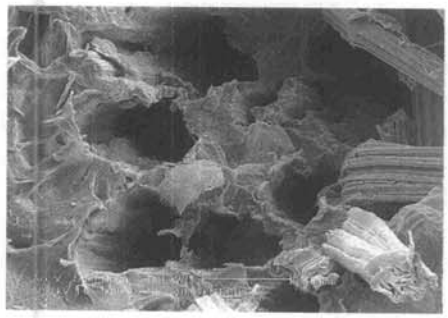

Fig. 12. SEM micrographs of PP/1% NaOH treated kenaf fiber (70/30) interface on bio-composite: 50 μm (× 500).

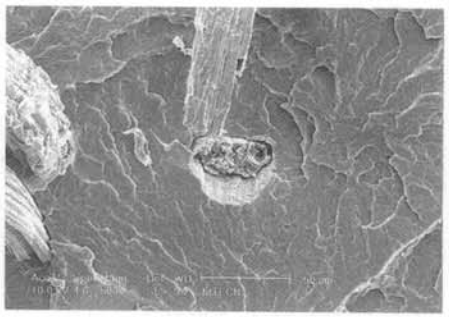

Fig. 13. SEM micrographs of PP/3% NaOH treated kenaf fiber (70/30) interface on bio-composite: 50 μm (× 500).

Fig. 14. SEM micrographs of PP/5% NaOH treated kenaf fiber (70/30) interface on composite :50 μm (at 500×).

되지 않아 파괴될 때 섬유들이 빠져나간 자리들을 많이 볼 수가 있었다. Fig. 12는 1% NaOH처리가 된 kenaf섬유와 PP 간의 계면 사진이다. Kenaf섬유가 matrix와 계면 결합이 잘 일어나 섬유가 빠져나가지 않고 kenaf섬유와 matrix가 함께 파괴된 면을 관찰할 수 있었으나 중간 중간 Fig. 11의 모습과 같이 kenaf 섬유가 빠져나간 모습을 볼 수 있다. 이는 NaOH처리로 인해 계면결합이 향상되긴 하였지만 계면결합력이 부족하여 이러한 현상이 일어난 것으로 생각된다. 하지만 Fig. 13에서 보듯이 3% 알칼리 처리 된 kenaf섬유가 matrix와의 계면결합이 잘 일어난 파괴된 단면의 모습을 관찰할 수 있었다. Fig. 14는 NaOH처리가 5%된 kenaf섬유와 matrix간의 계면결합이 좋아 파괴될 때 kenaf섬유가 matirx와 잘 결합한 상태의 파괴된 면을 더 많이 관찰 할 수 있었고 파괴될 때 빠져나간 섬유의 표면을 관찰해 보면 matrix에 연결되어 있는 kenaf섬유가 matrix가 붙어 얇은 층으로 덮여 있는 것을 볼 수가 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 PP와 kenaf 섬유의 계면결합을 향상시키기 위하여 kenaf 섬유의 알칼리 처리 정도와 kenaf 섬유의 함량을 달리하여 실험을 하였다. FT-IR 분석을 통하여 NaOH 처리로 kenaf fiber의 hemicellulose가 제거됨을 1,740 cm^{-1} peak에서 확인할 수 있었지만 농도에 따른 변화는 관찰할 수 없었다. 하지만 주사전자현미경을 통하여 kenaf섬유 NaOH처리가 1% 보다는 5%일 때 표면에 존재하는 불순물(impurities) 제거 되고 fibrill화가 일어나는

것을 관찰할 수 있어 NaOH 농도의 증가에 따라서 알칼리 처리가 더 잘된 것을 관찰 할 수 있었다. 하지만 PP와의 결합에서 kenaf섬유의 적절한 알칼리 처리 농도를 알기 위하여 바이오복합재의 기계적 강도를 측정했을 때는 kenaf섬유의 NaOH처리 농도는 3%일 때 강도가 가장 높다는 것을 알 수가 있었다. 그 결과, 과도한 알칼리 처리는 섬유자체의 강도를 떨어뜨려 복합재의 강도에 악영향을 주는 것으로 나타났다. PP와 Kenaf섬유 혼합비율의 적정 혼합비율을 알아보기 위하여 강도 측정을 해본 결과, 70/30의 무게비율로 바이오복합재를 제조 하였을 때 가장 강도가 높았다. 또한 바이오복합재의 계면결합을 확인하기 위하여 주사전자현미경을 통하여 PP/kenaf 섬유 바이오복합재의 파괴된 단면을 확인한 결과 kenaf섬유를 5%로 알칼리 처리하여 제조된 바이오복합재가 matrix와 kenaf섬유와의 계면 결합이 가장 잘 일어났으나 인장, 휨 강도 비교에선 kenaf 섬유를 3%로 알칼리 처리하여 제조된 바이오복합재의 강도가 가장 높았기 때문에 PP/kenaf섬유 바이오복합재를 제조할 때에는 kenaf섬유의 알칼리 처리농도는 3%, 혼합비는 PP/kenaf섬유 70/30일 때 최적임을 알 수가 있었다.

참 고 문 헌

1. 이병호, 김희수, 최성우, 김현중. 2006. 표면처리에 의한 왕겨분말-폴리프로필렌 바이오복합재의 계면 접착력 향상, 목재공학. 34(3): 38~45.
2. ASTM D638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International.
3. ASTM D790 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforce Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International.
4. Batsoulis, A. M., M. K. Nacos, C. S. Pappas, P. A. Tarantilis, T. Mavromustakos, and M. G. Polissiou. 2004. Determination of uroni acids in isolated hemicelluloses form kenaf using diffuse reflectance infrared fourier transform spectroscopy and the curve-fitting deconvolution method. Applied Sperctroscopy 58(2): 199~202.
5. Bisanda, E. T. N. and M. P. Ansell. 1991. The effect of silane treatment on the mechanical and physical properties of sisal-epoxy composites, Composite Science and Technology 41: 165~178.
6. Edeerozey, A. M. Mohd, Hazizan Md Akil, A. B. Azhar, and M. I. Zainal Ariffin. 2004. Chemical modification of kenaf fibers, Materials Letters 61: 2023~2025.
7. Geethamma, V., R. Joseph, and S. Thomas. 1995. Short coir fibre length, orientation and alkali treatment, Journal of Applied Polymer Science 55: 583~594.
8. Gomes, A., K. Goda, and J. Ohji. 2004. Effects of alkali treatment to reinforcement on tensile properties of curaua fiber green composites, JSME International Journal. Series A 47(4): 541~546.
9. Kim, H. S., H. S. Yang, and H. J. Kim. 2006. Enhanced interfacial adhesion of bioflour-filled poly (propylene) biocomposites by electron-beam irradiation, Polymer Degradation and Stability 290(7): 762~772.
10. Mohanty, A. K., M. A. Misra, and L. T. Drzal. 2001. Surface modification of natural fibers and performance of the resulting biocomposite: An overview, Composite Interfaces 8(5): 313~343.
11. Mohanty, A. K., M. A. Khan, S. Sahoo, and G. hinrichsen. 2000. Effect of chemical modification on the performance of biodegradable jute yarn-Biopol composites, Journal of Material Science 35: 2589~2595.
12. Mohanty, A. K., M. A. Khan, and G. Hinrichsen. 2000. Surface modification of jute and its influence on performance of biodegradable jute fabric - Biopol composites, Composite Science and Technology 60: 1115~1124.
13. Ndazi, B. S., S. Karlsson, J. V. Tesha, and C. W. Nyahumwa. 2007. Chemical and physical modifications of rice husks for use as composite panels, Composites: Part A 38: 925~935.
14. Aziz, S. H. and M. P. Ansell. 2004. The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1 - polyester resin matrix, Composites Science and Technology 64: 1219~1230.