

## 접착용액을 이용한 케나프섬유 처리 유·무에 따른 케나프/천연고무 복합재료의 경화특성, 경도, 인장탄성률 및 마모에 미치는 케나프섬유의 함량 및 길이의 영향

조이석<sup>1</sup> · 조동환<sup>†</sup>

금오공과대학교, <sup>1</sup> 세명

(2018년 03월 03일 접수, 2018년 06월 11일 수정, 2018년 06월 13일 채택)

### Effect of Kenaf Fiber Content and Length on the Cure Characteristic, Hardness, Tensile Modulus, and Abrasion of Kenaf/Natural Rubber Composites in the Presence and Absence of Kenaf Fiber Treatment with Adhesive Solution

Yi-Seok Cho<sup>1</sup> and Donghwan Cho<sup>†</sup>

Department of Polymer Science and Engineering,

Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Gyeongbuk 39177, Korea

<sup>1</sup>Semyung Industrial Co., Ltd, Gyeongsan, Gyeongbuk 38487, Korea)

(Received Mar 03, 2018; Revised June 11, 2018; Accepted June 13, 2018)

**요약:** 본 연구에서는 친환경 천연섬유인 케나프의 표면을 Chemlok 402를 함유하고 있는 접착용액으로 전처리하였을 경우, 케나프/천연고무 복합재료의 경화거동, 경도, 인장특성 그리고 마모특성에 미치는 섬유 표면처리 유·무, 섬유함량 및 섬유길이의 영향을 조사하였다. 복합재료를 구성하는 케나프섬유 함량은 평균 케나프섬유의 길이가 약 2 mm로 일정한 상태에서 각각 0, 5, 10, 15, 20 phr로 달리하였다. 또한 섬유함량이 5 phr로 고정된 상태에서 평균 섬유길이는 각각 2 mm, 35 mm, 70 mm로 달리하여 각 특성을 비교하였다. 천연고무 복합재료의 경화거동을 나타내는 Tmax 값과 tc90 값, Shore A 경도, 인장탄성률 그리고 마모저항성은 케나프섬유 함량과 길이에 크게 의존하였다. 이러한 특성들은 케나프섬유의 표면을 접착용액으로 전처리한 경우가 처리하지 않은 경우보다 더 우수한 특성을 나타냈다. 이러한 현상은 전처리된 케나프섬유와 고무매트릭스 사이의 계면접착 상태가 개선되었기 때문이다. 본 연구결과는 천연섬유강화 복합재료의 물성을 향상시키기 위해 접착용액의 적절한 사용이 가능하다는 것을 제시하여 준다.

**Abstract:** In the present study, when the surface of kenaf, which is an environmentally friendly natural fiber, was treated by using adhesive solution containing Chemlok 402, the effects of fiber surface treatment, fiber content and fiber length on the cure characteristics, hardness, tensile modulus and abrasion resistance of kenaf/natural rubber composites were investigated. The kenaf fiber contents consisting of the composites were varied with 0, 5, 10, 15, and 29 phr at a fixed fiber length of 2 mm and also the fiber length was varied with 2, 35, and 70 mm at a fixed fiber content of 5 phr. The Tmax and tc90 values, Shore A hardness, tensile modulus, and abrasion resistance of natural rubber composites strongly depended on the kenaf fiber content and length. The characteristics of the composite with kenaf fibers treated with the adhesive solution containing Chemlok 402 were higher than those untreated. This is ascribed to the improved interfacial adhesion between the treated kenaf fiber and the rubber matrix. This study suggests that an appropriate use of adhesive solution may be possible to increase the properties of natural fiber-reinforced composites.

**Keywords:** natural rubber, kenaf fiber, surface treatment, natural fiber composite, properties

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

## 1.

최근 각종 소재분야에서 친환경 천연자원의 활용에 대한 필요성이 강조되고 있다. 특히 자연에 풍부하고 환경친화적이며, 가격이 저렴하고, 생분해가 가능한 셀룰로스계 천연섬유에 대한 관심이 크게 증가하고 있다[1-3]. 천연섬유를 포함하고 있는 섬유강화 복합재료(fiber-reinforced composite)는 매트릭스(matrix) 수지로 주로 사용하여 왔던 합성 고분자[4-7] 및 생분해성 고분자[8-10] 뿐만 아니라 천연고무와 같은 고무매트릭스[11-13] 분야까지 연구개발 범위가 점차 확대되고 있다.

현대 산업의 빠른 발전에 따라 고무는 자동차분야 및 항공분야뿐만 아니라 방진재료, 호스, 패키징 등 각종 산업용 부품소재 및 생활용품에서 없어서는 안되는 매우 중요한 소재이다. 우리가 사용하고 있는 고무의 대부분은 여러 배합제와 보강재를 포함하고 있는 복합재료 형태이며, 섬유로 보강된 고무도 반드시 가황공정을 거쳐야 하므로, 고무의 물성은 가황제, 배합제 및 보강재의 종류나 함량은 물론, 열, 압력, 시간 등 성형 조건에 따라서도 크게 달라질 수 있다[14]. 고무의 물성과 성능을 증가시키기 위해 사용하는 고무 보강재로는 카본블랙이 가장 널리 사용되고 있으며[15], 그 사용량도 적지 않아 결과적으로는 카본블랙을 제조에 필요한 화학연료의 소비증가를 초래한다. 따라서 고무제품은 폐기 시 환경오염을 초래할 수 있으므로 다른 친환경 보강재의 도입을 통해 고무 제조 시 배합에 쓰이는 카본블랙의 사용량을 줄이거나 재활용 가능성을 연구하고 있다[13].

천연고무는 cis-1,4-폴리이소프렌이라고 불리며, 남미 아마존 유역을 원산지로 하는 헤베아 브라질리엔시스(Hevea Brasiliensis)라 불리는 고무나무에서 tapping 방법으로 채취할 수 있는 천연 고분자물질이다. 천연고무의 대부분은 말레이시아, 태국, 인도 등 동남아시아 지역에서 얻어진다. 천연고무는 굴곡 특성과 같은 기계적 특성이 우수한 장점을 지니고 있으나, 내열성, 내오존성에 취약하며, 산이나 기름성분에 약하다는 단점도 가지고 있다[16].

Kenaf, jute 등과 같은 셀룰로스계 천연섬유는 배합시 고무에 용이하게 분산되어 고무에 보강효과를 제공할 뿐만 아니라, 고무의 치수안정성 향상에도 기여하고 있다[17-19]. 그러나 천연섬유를 사용하여 고무와 배합할 경우 카본블랙보다 탄성이 떨어지고, 고무와의 접착성도 저하되는 등과 같은 문제점에 대한 개선이 필요하다. 양마라고도 부르는 케나프(kenaf: Hibiscus Cannabinus L.)는 오래 동안 친환경 복합재료 분야에서 가장 많은 관심을 받아온 천연섬유로 알려져 있다

[20-22]. 케나프 작물은 매년 다모작이 가능할 정도로 성장속도가 빠르며, 산업용 케나프섬유는 지속적으로 공급이 가능하고 가격도 저렴하다. 케나프섬유의 밀도는 유리섬유의 약 50-55% 정도로 낮고, 섬유밀도를 반영한 비기계적 특성(specific mechanical properties)도 유리섬유에 견줄 수 있다[1]. 따라서 기계적 특성이 우수한 케나프섬유는 전통적으로 산업용 로프 및 보강섬유로 널리 사용되어 왔다[1,2].

고무 보강재로 천연섬유를 사용할 경우 고려해야 할 요소 중 하나는 천연섬유와 고무 사이에 좋은 접착을 갖도록 하는 것이다. 섬유-매트릭스 계면 사이의 접착력과 물성을 향상시키기 위한 방법으로 알칼리, 실란, 상용화제 등을 이용한 천연섬유의 화학적 표면처리 방법이 널리 이용되고 있다[23-26]. 고무상에 천연섬유의 도입은 고무의 경화 또는 가황 거동에 영향을 미칠 수 있으며, 상대 물체와 접촉하여 사용될 때 고무의 마모성과 내구성에도 영향을 줄 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 접착제로 사용되고 있는 Chemlok 402 물질을 함유하고 있는 접착용액으로 케나프섬유의 표면을 전처리하였을 때, 케나프/천연고무 복합재료의 경화특성, 경도, 인장탄성률 및 마모저항성에 미치는 섬유 표면처리의 유·무 영향과 함께 케나프섬유의 함량과 길이 영향을 조사하는 것이다.

## 2.

### 2.1.

본 연구에 사용한 복합재료의 매트릭스 고무는 천연고무(SMR CV60)로 말레이시아에서 생산된 것이며, 보강섬유는 케나프로 방글라데시에서 재배되고 섬유화된 것을 구입하여 사용하였다. 카본블랙SRF(N774)은 Evonik Carbon Black Co., Ltd.에서 제조된 것이다. 분산촉진제로는 stearic acid (LG Chem., Ltd, Korea)가 사용되었다. 가황제는 sulfur (Miwon Commercial Co., Ltd., Korea), 가황촉진제:는 Kumac D(1,3 - Diphenyl guanidine) (Kumho Petrochemical, Korea) 및 CZ(N-cyclohexyl benzothiazole-2-sulfenamide) (OCI Co., Ltd., Korea), 그리고 가황보조제로는 zinc oxide (SBC Co., Ltd.)를 사용하였다. 가소제는 N2 oil (Michang Ind. Co., Ltd., Korea)이었으며, 산화방지제는 Kumanox 3C(N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenyldiamine) 및 Kumanox-13(1,3-dimethylbutyl-N-phenyldiamine) (Kumho Petrochemical Co., Ltd., Korea), Vulkanox HS/LG(2,2,4-trimethyl-1,2-dihydro quinoline) (Il Shin Chemical Co., Ltd., Korea)이었다. 본 연구에서 천연섬유의 표면처리를 위한 접착용액으로는 Chemlok 402 (Lord Korea, Korea)을 사용하였다.

**Table 1.** A formulation list of natural rubber, kenaf fiber, carbon black and additives used in this work.

Ingredient	A	B	C	D	E
Natural rubber	100	100	100	100	100
Stearic acid	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Zinc oxide	5	5	5	5	5
Carbon black	21	21	21	21	21
N <sub>2</sub> Oil	6	6	6	6	6
Vu. HS/LG	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Kumanox13	2	2	2	2	2
Kumanox3C	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Sulfur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
CZ	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Kumac D	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Kenaf fiber	0	5	10	15	20
Total (phr*)	142.5	147.5	152.5	157.5	162.5

\*phr: parts per hundred grams of rubber.

## 2.2.

본 연구에 사용한 천연고무는 상대적으로 불순물이 적고 물성이 우수한 제품으로 작업성도 우수한 60±5의 Mooney 점도 값을 갖는 SMR CV60 등급이다. 공급받은 70-80 mm의 bundle 형태의 케나프 섬유를 평균길이 약 2 mm가 되도록 분쇄한 것 또는 평균길이 약 35 mm와 70 mm가 되도록 절단한 것을 각각 천연고무와의 배합공정에 사용하였다. 본 연구에 사용한 천연고무, 카본블랙, 첨가제 및 천연섬유를 포함하는 배합물의 조성은 Table 1. 에 정리하였다. A~E 5개 서로 다른 조성에서 카본블랙 및 첨가제의 함량을 동일하게 고정하였다.

Carbon Mater Batch(CMB) 공정은 소련공정과 혼련공정으로 이루어졌으며 CMB 공정 후 촉진제와 가황제를 투입하여 Final Master Batch(FMB) 공정을 수행하고 사용 목적에 맞게 고무 시트(sheet)를 절단하여 20±5°C의 숙성실에 보관하여 사용하였다. 이 공정에 대한 구체적인 설명은 이전 논문에 보고되었다[13].

소련공정은 천연고무만을 사용하여 Banbury mixer (봉신기계, 대한민국)에서 1분 동안 40 rpm, 100 psi의 램(ram) 압력을 주어 천연고무에 가소성을 부여하였으며, 이때 온도는 100~110°C를 유지하였다. 공정온도는 공정 초기에 스팀으로 온도를 상승시켜 가며 조절하였으며, 25°C 이하의 냉각수를 순환시키면서 Banbury mixer 내부의 온도상승을 방지하였다. 혼련공정은 소련공정 후 연속작업으로 배합고무를 Banbury mixer에 투입한 후 2분 동안 40 rpm, 100 psi의 램 압력으로 약 80% 충전률에서 실시하였으며, 최고온도는 135°C였다.

혼련공정 후 분산공정은 지름 8", 길이 20", 회전비 5:4의 고무용 roll-mill(봉신기계, 대한민국)을 사용하였고, 회전속도는 20 rpm, 온도는 55~70°C를 유지하였다. CMB 공정단계에서 가능한 한 많은 양의 고무를 제조하여 절단과 계량화가 균일하게 이루어지도록 하였으며, 각 배합간의 편차를 줄여 FMB 공정을 수행하였다. 배합고무의 분산공정 시 롤러(roller) 사이의 간격

은 2~3 mm로 조정하였으며, 분산을 좋게 하기 위해서 롤러 간격을 1 mm로 하여 각 3회씩 공정을 반복하여 수행하였다.

## 2.3.

천연섬유에 대한 표면처리는 접착제로 쓰이는 Chemlok 402 성분이 용해된 접착용액에 케나프섬유를 침지하는 방법으로 수행하였다. Chemlok 402의 주성분은 chloroprene 과 유기화합물을 유기용제에 용해와 분산을 시킨 상태로 점도는 G.E. Zahn Cup NO.2 로 측정 시 50초 이내이다. 고형분이 13.5~16.5%이며, 용제는 toluene과 xylene이다.

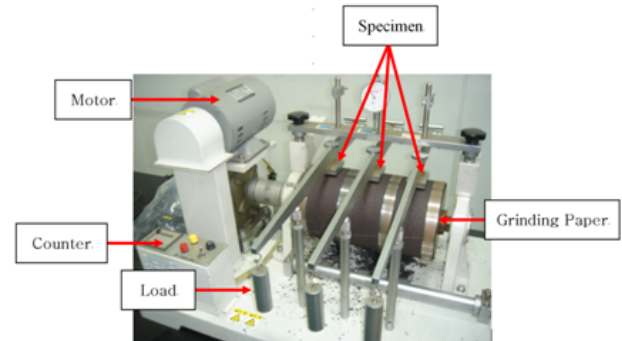
표면처리공정 전 케나프섬유에 존재하는 수분을 제거하기 위해 케나프를 80°C에서 24시간 동안 건조하였다. Chemlok 402와 톨루엔이 부피비 기준으로 1:1로 혼합된 혼합용액에 케나프 섬유를 10분간 침지한 후, 상온에서 60분간 건조하였다. 혼련작업 시 마찰에 의한 Chemlok 402의 닳임 현상을 방지하기 위해서 추가적으로 80°C에서 약 10분간 prebarking 작업을 수행하였다. 표면처리된 케나프섬유를 상온에서 24시간 동안 건조하였다.

## 2.4. 가

FMB 공정을 마친 배합고무를 시트 형태로 제조하여 15~25°C에서 24시간 동안 숙성하였다. 1회 배합에 걸리는 소요시간은 약 15분으로 동일하였다. Oscillating disk rheometer(ODR, 명지산업, 대한민국)를 사용하여 측정된 Tc90 결과를 반영하여 최적화한 시간에서 가황공정을 수행한 후, 분석을 위한 시편을 180mm×180mm×2mm 크기로 준비하였다.

## 2.5.

배합된 고무의 경화특성은 ODR을 사용하여 ASTM D2084에 의거하여 조사하였다. 이때 경화온도는 190°C로 설정하였으며, 최대 토크(maximum torque, lb·in)



**Figure 1.** An abrasion test machine according to ASTM D1630 (NBS test type).

$T_{max}$ , 최소 토크(minimum torque,  $lb \cdot in$ )  $T_{min}$ , 그리고 경화가 진행되는 과정에서 최대 토크값의 90%에 도달된 시점에서의 시간인  $t_{c90}$  (min)을 측정하였다.

경화된 천연고무 및 케나프/천연고무 복합재료의 인장 탄성률은 인장시험기(Zwick Z005, Swiss)를 사용하여 ASTM D412에 의거하여 수행하였다. 압축성형기를 이용하여 시트 형태의 고무배합물로부터 인장시험용 시편을 제조하였다. 인장시험은  $25^{\circ}C$ 에서  $500 \text{ mm/min}$ 의 crosshead speed에서 수행하였다. Gage length는  $20 \text{ mm}$ 였다.

경도시험은 Shore A-type의 스프링식 경도계(Kobunshi Keiki Co., Ltd., Japan)를 사용하여 수행하였다. 마모시험은 Fig 1. 에 보여주는 바와 같이, 신발의 마모특성 측정에 널리 사용되고 있는 NBS 방식(National Bureau of Standards Model, ASTM D1630)의 시험기 (YASUDA,

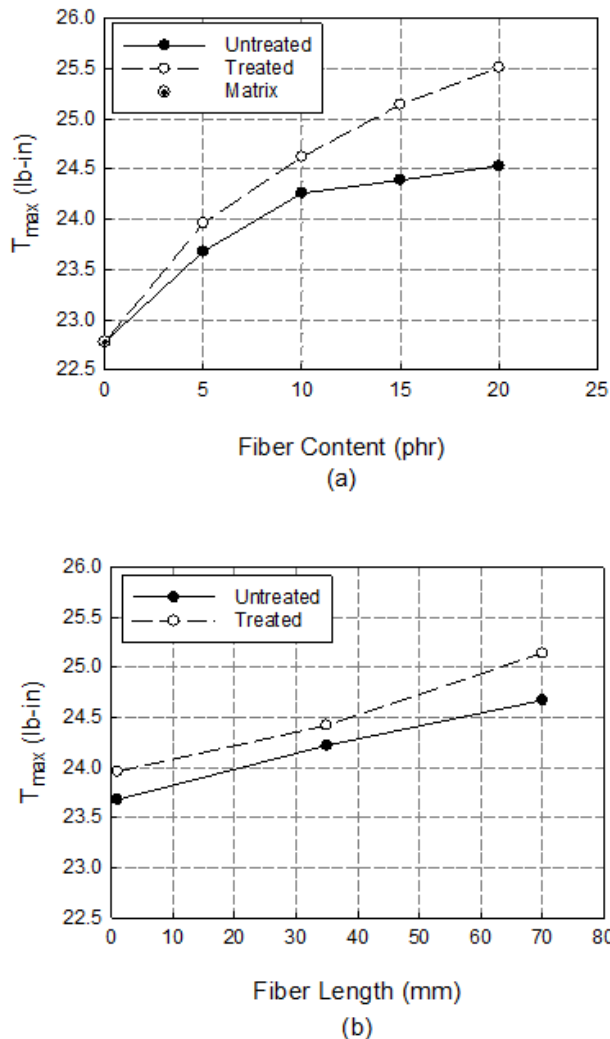
Japan)를 이용하여 수행하였다. 연마지의 입도는  $40 \text{ mesh}$ 였으며, 회전하는 드럼에 금속 클램프로 연마지를 단단히 고정하여 사용하였다. Spindle speed는  $45 \pm 5 \text{ rpm}$ , 복합재료 시편에 가해지는 하중은  $5 \text{ lbf}$ , 시편크기는  $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 였다.

본 연구에서는 케나프섬유를 표면처리를 하지 않은 경우와 Chemlok 402를 함유하고 있는 접착용액을 사용하여 표면처리를 한 경우, 케나프/천연고무 복합재료의 경화특성, 경도, 인장탄성률 및 마모저항성에 미치는 섬유 표면처리의 영향과 함께 섬유함량과 섬유길이에 따른 영향을 조사하였다. 복합재료를 구성하는 케나프섬유의 함량은 평균 케나프섬유의 길이가 약  $2 \text{ mm}$ 로 일정한 상태에서 각각  $0, 5, 10, 15, 20 \text{ phr}$ 로 달리하였다. 또한 섬유 함량이  $5 \text{ phr}$ 로 고정된 상태에서 평균 섬유길이는 각각  $2 \text{ mm}, 35 \text{ mm}, 70 \text{ mm}$ 로 달리하여 특성을 비교하였다.

### 3.

#### 3.1.

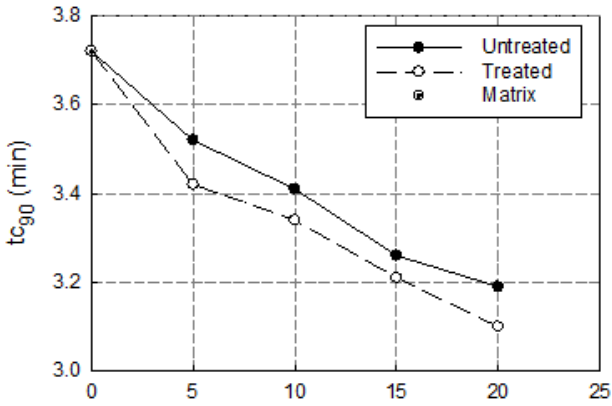
Fig 2. 는 케나프/천연고무 복합재료의  $T_{max}$  값에 기반한 경화특성에 미치는 표면처리 유·무의 영향을 섬유함량(a)과 섬유길이(b) 변화에 따라 조사한 결과를 보여준다. Fig 2. (a) 에서 섬유함량 “0”은 케나프섬유가 포함되지 않은 천연고무에 대한 결과를 가리킨다. 복합재료에 포함된 케나프섬유 함량이  $5 \text{ phr}$ 에서  $20 \text{ phr}$ 로 증가할수록 그리고 섬유길이가 약  $2 \text{ mm}$ 에서  $70 \text{ mm}$ 로 길어질수록 ODR을 사용하여 측정한 토크인  $T_{max}$  값이 점차적으로 증가하였음을 알 수 있다.  $T_{max}$  값은 케나프섬유 표면을 Chemlok 402 접착용액으로 처리하였을 경우가 처리하지 않은 것보다 상대적으로 더 높았다. 특히  $10 \text{ phr}$  이상의 케나프섬유가 함유되었을 때 그 차이는 더욱 컸다. 이는 케나프섬유의 표면처리가 섬유와 고무매트릭스 사이의 계면결합력의 개선에 기여한 것으로 판단된다. 즉, 천연 섬유 함량이 상대적으로 낮은 경우에는 그 효과가 두드러지지 않았으나  $10 \text{ phr}$  이상에서는 천연고무와의 계면결합이 향상된 케나프섬유의 양이 늘어나면서 ODR 시험 시 구성소재의 움직임이 제한을 받으면서 케나프/천연고무 복합재료에 걸리는 토크가 증가하였을 것으로 해석된다. 그리고 케나프섬유의 길이가 길어지면서 토크가 증가한 현상도 이와 유사하게 설명할 수 있다. 섬유길이  $35 \text{ mm}$  이상에서는 약간의 토크가 증가하였으나 급격한 변화는 나타나지 않았다. 그 이유로는 고무배합 과정에서 롤 작업 시 케나프섬유는 전단응력에 의해 절단 파괴가 발생되며, 이러한 경향은 섬유의 길이가 길수록 증가하였기 때문으로 여겨진다. 결과적으로  $T_{max}$  값에 근거한 천연고무 복합



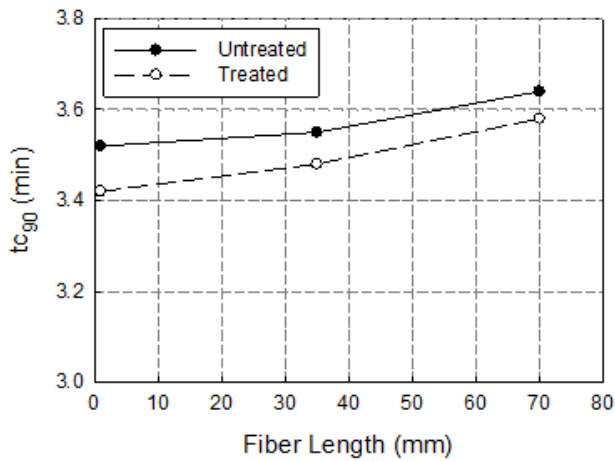
**Figure 2.** Variation of the  $T_{max}$  value as functions of fiber content (a) and fiber length (b) for untreated and treated kenaf/natural rubber composites.

재료의 경화거동에 미치는 섬유함량의 영향은 크다고 할 수 있다.

Fig 3. 은 경화온도가 190°C인 조건에서 측정한 tc90 값의 변화를 보여준다. 케나프섬유 함량이 증가함에 따라 tc90 값은 점차적으로 낮아짐을 알 수 있다. 즉, 섬유함량이 증가할수록 전체 경화공정의 90%에 이르기까지 경화는 더 빠르게 진행된다는 것을 의미한다. 이는 케나프섬유 함량의 증가에 따른 천연고무 복합재료의 경도 상승에 의한 토크 증가와 함께 경화반응이 빠르게 일어나는 것으로 판단된다. 케나프섬유 길이의 경우 tc90 값의 변화는 섬유함량에 의한 영향에 비해 작지만 섬유길이 증가하였을 때 더욱 증가하였다. 섬유 표면처리는 섬유함량변화와 섬유길이변화 두 경우 모두에서 낮은 tc90 값을 나타냈다. 즉 Chemlok 402의 처리는 앞서 설명한 경화에 요구되는 토크를 높여



(a)



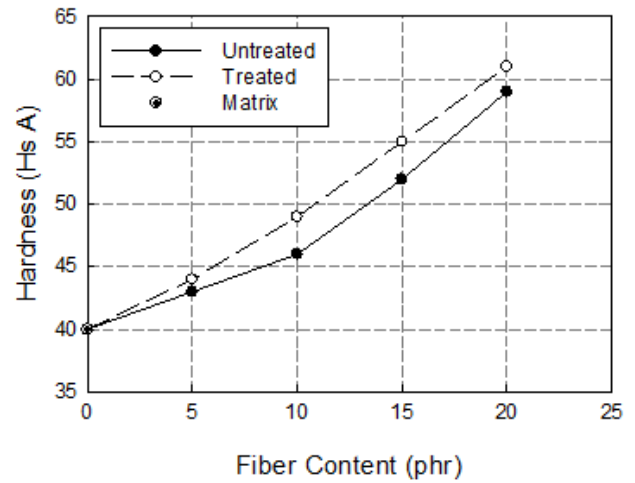
(b)

**Figure 3.** Variation of the tc90 value as functions of fiber content (a) and fiber length (b) for untreated and treated kenaf/natural rubber composites.

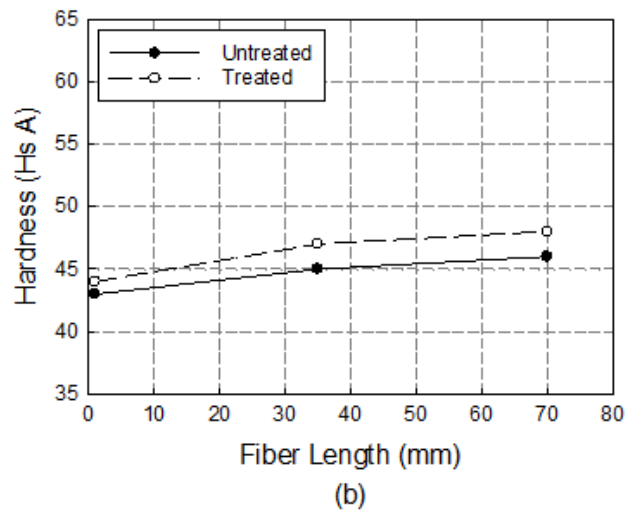
주지만, 전체 경화공정의 90%에 이르는 경화에 더 빨리 도달하게 한다. 이는 표면처리가 케나프섬유와 매트릭스 수지 사이의 계면에서 일어나는 화학반응에 기인한 것으로 예측된다.

3.2.

Fig 4. 에서 보여주는 바와 같이, Shore A type 경도기를 사용하여 측정한 복합재료의 경도값의 변화를 섬유 표면처리 유·무, 섬유함량, 그리고 섬유길이에 따라 조사하였다. 섬유함량이 증가할수록 경도는 점차적으로 증가하였으며, Chemlok 402를 포함한 접착용액으로 케나프섬유 표면을 처리한 것이 대체적으로 1~3 Hs A 정도 높게 나타났다. 이는 앞서 기술한



(a)

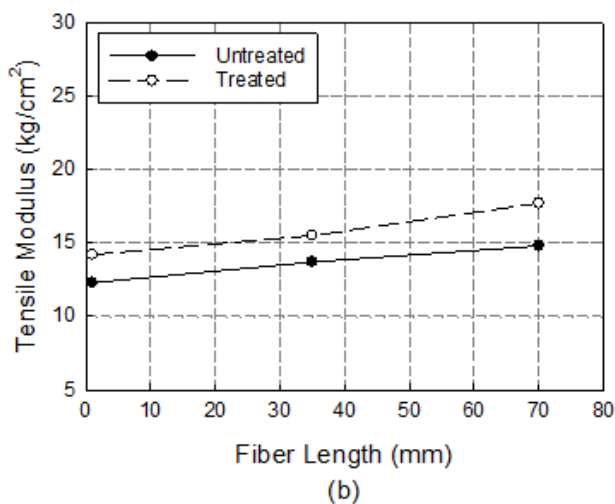
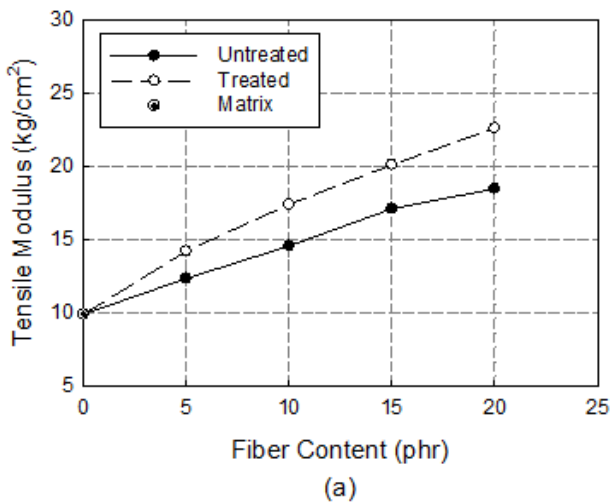


(b)

**Figure 4.** Variation of the Shore A hardness as functions of fiber content (a) and fiber length (b) for untreated and treated kenaf/natural rubber composites.



바와 같이, 케나프섬유와 천연고무 사이에 결합력 향상에 의한 것이라 설명할 수 있다. 케나프섬유 함량이 증가하면서 경도는 약 50% 가량 증가하였고, 섬유길이 길어지면서 약 9%가 증가한 것에 비추어 볼 때, 복합재료의 경도에 미치는 섬유함량의 영향은 크며, 그 정도 값은 케나프섬유의 표면처리에 의해 더욱 향상될 수 있음을 제시하고 있다. 즉, 천연섬유를 접착용액으로 표면처리함으로써 섬유와 천연고무 사이의 계면이 강해지고, 이러한 섬유-Chemlok-매트릭스 영역이 복합재료 표면에 분포되어 경도를 높여주었을 것으로 판단된다.



**Figure 5.** Variation of the tensile modulus as functions of fiber content (a) and fiber length (b) for untreated and treated kenaf/natural rubber composites.

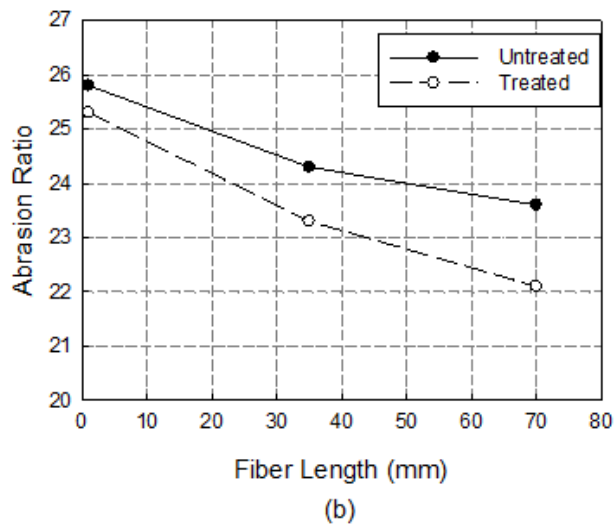
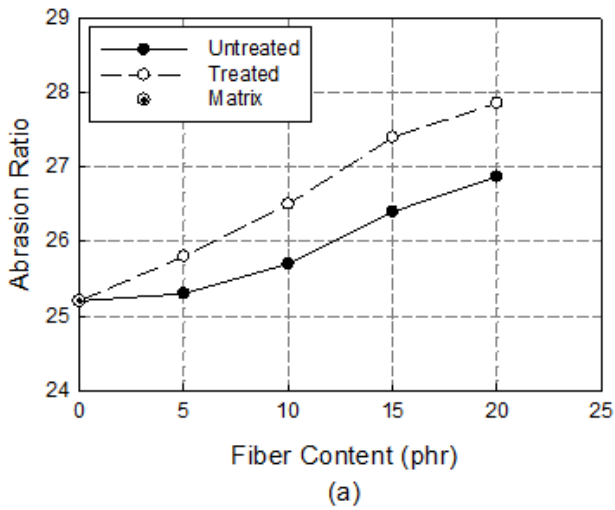
케나프/천연고무 복합재료의 인장탄성률(Fig 5.)은 앞서 보여준 경도변화와 유사한 거동을 나타냈다. 예

상하였던 바와 같이, 케나프섬유 표면을 Chemlok 402 접착용액으로 처리한 경우가 처리하지 않은 경우보다 상대적으로 높은 인장탄성률을 보여주었으며, 섬유함량이 10 phr 이상일 경우 그 증가 정도는 더욱 컸으며, 섬유길이 증가함에 따라 다소 증가하였다. 이는 앞서 Fig 2. 에서 보여준 섬유함량과 섬유길이에 따른 Tmax 값의 변화와 비슷한 경향을 보여주는 결과이다. 케나프섬유 함량 증가에 따른 탄성률 증가에 대한 이유는 고무보다 배향성이 좋은 케나프섬유가 고무매트릭스 사이에 도입되면서 구성소재의 배향성 증가에 의해 직접적으로 영향을 받는 인장탄성률에 영향을 주었기 때문이다. 또한 앞서 언급한 바와 유사하게, 케나프섬유 함량이 10 phr 이상인 경우에는 천연섬유-천연고무 사이의 계면결합력이 더욱 증가되면서 천연고무 복합재료에 가해지는 인장하중에 대한 저항성이 커지면서 탄성률 향상에 기여하였을 것으로 판단된다. 케나프섬유가 길어지면서 탄성률이 증가한 것도 이와 유사한 이유로 설명할 수 있다. 섬유길이 35 mm 이상에서 토크가 약간 증가하였으나 급격한 변화를 보여주지 않은 이유는 혼련공정 과정에서 케나프섬유가 전단응력에 노출되면서 본래의 섬유길이보다 짧아지면서 그 효과가 크지 않았으나 길이증가는 복합재료 물성 향상에 다소 기여한 것으로 판단된다.

### 3.3.

Fig 6. 은 케나프/천연고무 복합재료의 마모특성을 측정된 결과이다. Fig 6. (a)에서 보는 바와 같이, 케나프섬유 함량이 증가할수록 마모율(abrasion ratio)은 점차적으로 증가하였다. 이는 매트릭스에 비해 비교적 brittle한 케나프섬유가 도입되면서 복합재료 표면이 마모하중에 노출되면서 마모에 의해 케나프섬유가 표면으로부터 이탈되는 양이 증가하였기 때문이다. 표면처리된 복합재료가 표면처리되지 않은 경우보다 마모율이 증가한 것은 표면처리에 의해 섬유-매트릭스 접착성이 향상되면서 마모에 의해 천연섬유가 시편표면으로부터 이탈될 때 인접한 매트릭스 일부를 포함한 다른 섬유들도 함께 이탈되었기 때문인 것으로 해석된다. 반면, 케나프섬유 함량이 5 phr로 상대적으로 낮은 함량에서는 케나프섬유 길이가 증가할수록 마모율이 감소하였다. 이는 섬유함량을 5 phr 정도로 낮게 유지하는 경우에는 케나프섬유의 길이가 복합재료의 마모성 향상에 기여하는 것으로 나타났다. 마모저항성은 통상적으로 측정소재의 표면을 구성하고 있는 입자경이 작을수록 유리한 것으로 예상된다. 일반적으로 천연고무 배합에 널리 이용하고 있는 카본블랙은 입자경이 매우 작아 bound rubber를 형성하며 천연고무와 좋은 결합을 형성하여 마모하중에 대한 우수한 저항

성을 제공한다. 그러나 케나프섬유는 카본블랙에 비해 직경이 훨씬 크고 종횡비가 크기 때문에 마모하중에 노출되었을 경우 시편 표면에 위치하였던 섬유가 이탈되면서 비교적 큰 중량감소가 발생할 수 있다. 그러한 중량감소는 매트릭스에 포함된 케나프섬유 함량이 증가할수록 더 크게 나타날 수 있다. 그러나 케나프섬유 함량이 낮아 섬유가 시편표면으로부터 이탈 현상이 거의 발생되지 않는 경우, 고무 매트릭스 사이에 케나프섬유의 존재는, 앞서 Fig 4. 에서 보여준 경도변화 결과와 같이, 섬유길이가 길어지면서 복합재료 경도의 상승효과에 의해 시편 표면에서의 마모저항성이 증가하였을 것으로 예상된다. 본 연구에 사용한 NBS

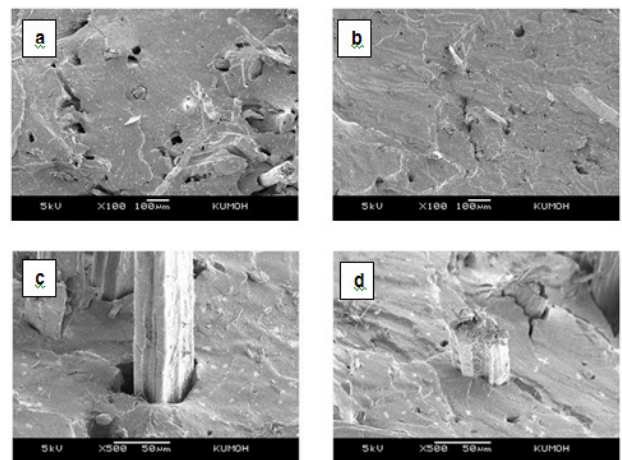


**Figure 6.** Variation of the abrasion ratio as functions of fiber content (a) and fiber length (b) for untreated and treated kenaf/natural rubber composites.

방식의 마모시험은 일정한 변위(2.54 mm)로 마모가 일어날 때 회전 수를 토대로 마모거동을 측정하는데 시편의 경도가 높으면 시편을 일정한 하중으로 눌렀을 때 하중 대비 시편의 변위가 작아 마모가 적게 발생한다. 따라서 Chemlok 402 접착용액을 사용한 케나프섬유의 표면처리가 복합재료의 마모저항성 향상에 기여하였으며, 이러한 결과는 앞서 언급한 섬유-매트릭스 사이의 계면결합력 향상과 경도 향상과 일치하는 것이다.

**3.4.**

앞서 보여준 결과에서 케나프섬유와 천연고무매트릭스 사이의 계면접착성 향상에 대한 설명을 증명하기 위해 주사전자현미경을 이용하여 섬유와 매트릭스 사이의 결합상태를 관찰하였다. Fig 7. 에서 보여주는 바와 같이, Chemlok 402 접착용액으로 케나프섬유의 표면을 처리한 경우가 처리하지 않은 경우보다 복합재료를 구성하고 있는 섬유와 매트릭스 사이의 계면접착상태가 좋은 것을 확인할 수 있다. 또한 표면처리를 하지 않은 경우 섬유와 매트릭스 사이의 틈이 두드러지게 나타났으며, pull-out 된 섬유표면에도 매트릭스가 남아 있지 않고 비교적 깨끗하게 이탈된 현상을 보여준 반면, 표면처리를 한 경우에는 섬유가 pull-out 된 이후에도 파단에 의해 절단된 섬유의 길이가 상대적으로 짧았다. 이러한 파단 양상은 앞서 설명한 Chemlok 402 접착용액 처리 효과에 기인한 케나프섬유와 고무매트릭스 사이의 계면접착성 향상에 의한 물성 증대를 정성적으로 뒷받침해주는 결과이다.



**Figure 7.** SEM images of the fracture surfaces observed with untreated (a and c) and treated (b and d) kenaf/natural rubber composites (×100 & ×500). The kenaf fiber contents were 10 phr.

## 4.

본 연구에서는 케나프/천연고무 복합재료의 경화특성, 경도, 인장탄성률 그리고 마모특성에 미치는 케나프 섬유 표면처리, 섬유함량 및 섬유길이의 영향을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 천연고무 복합재료에 케나프섬유의 함량이 증가할수록 경화거동을 나타내는 Tmax 값이 증가한 반면, tc90 값은 감소하였다. 또한 복합재료의 Shore A 경도와 인장탄성률도 크게 증가하였다. 이러한 물성 변화는 케나프섬유 함량이 10 phr 이상일 때 더욱 두드러지게 나타났다. 케나프섬유 길이가 2 mm에서 35 mm와 70 mm로 증가하였을 때 Tmax 값, tc90 값, Shore A 경도와 인장탄성률도 모두 증가하였으나 그 변화 폭이 섬유함량의 경우보다 크지 않았다. Chemlok 402을 함유하고 있는 접착용액으로 전처리한 케나프섬유를 이용하여 제조한 천연고무 복합재료의 경우가 전처리를 하지 않은 경우보다 조사된 물성에서 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 접착용액을 이용한 표면처리를 통해 케나프섬유와 고무매트릭스 사이에서 계면접착 상태가 개선되었기 때문인 것으로 밝혀졌다.

## References

1. D. Cho, S. G. Lee, W. H. Park, and S. O. Han, *Polym. Sci. Technol*, **13**, 460, (2002).
2. D. Cho and H.-J. Kim, *Elast. Compos.*, **44**, 13, (2009).
3. J. Müssig (Ed.), "Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications", John Wiley & Sons, Chippenham, (2010).
4. J. Gassan and A. Bledzki, *Polym. Compos.*, **20**, 62, (1999).
5. S. S. Tripathy, G. Levita, and D. Landro, *Compos. Sci. Technol.*, **22**, 815, (2001).
6. D. Cho, H. S. Lee, S. O. Han, and L. T. Drzal, *Adv. Compos. Mater.*, **16**, 315, (2007).
7. D. Cho, H. S. Lee, and S. O. Han, *Compos. Interf.*, **16**, 711, (2009).
8. S. M. Lee, D. Cho, W. H. Park, S. G. Lee, S. O. Han, and L. T. Drzal, *Compos. Sci. Technol.*, **65**, 647, (2005).
9. J. M. Seo, D. Cho, W. H. Park, S. O. Han, T. W. Hwang, C. H. Choi, and S. J. Jung, *J. Biobased Mater. Bioenerg.*, **1**, 331, (2007).
10. L. Liu, J. Yu, L. Cheng, and X. Yang, *Polym. Degrad. Stabil.*, **94**, 90, (2009).
11. V. G. Geethamma, G. Kalaprasad, G. Groeninckx, and S. Thomas, *Composites Part A: Appl. Sci. Manufac.*, **36**, 1499, (2005).
12. Y. Ruksakulpiwat, J. Sridee, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Composites Part B: Engineering*, **40**, 619, (2009).
13. Y.-S. Cho and D. Cho, *Elast. Compos.*, **46**, 186, (2011).
14. A. N. Gent, "Engineering with Rubber", Hanser Publishers, Munich, Chapter 2, (1992).
15. M. Morton, "Rubber Technology", 3<sup>rd</sup> Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, Chapter 3, (1987).
16. J. A. Brydson, "Rubbery Materials and Their Compounds", Elsevier Applied Science, London, Chapter 4, (1988).
17. H. Ismail, M. R. Edyham, and B. Wirjosentono, *Polymer Testing*, **21**, 139, (2002).
18. M. Jacob, S. Thomas, and K. T. Varughese, *Compos. Sci. Technol.*, **64**, 955, (2004).
19. H. Anuar and A. Zuraida, *Composites Part B: Engineering*, **42**, 462, (2011).
20. Y. H. Han, S. O. Han, D. Cho, and H.-I. Kim, *Compos. Interf.*, **14**, 559, (2007).
21. J. M. Seo, D. Cho, and W. H. Park, *J. Adhes. Interf.*, **9**, 1, (2008).
22. M. S. Huda, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and M. Misra, *Compos. Sci. Technol.*, **68**, 424, (2008).
23. A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, *Compos. Interf.*, **8**, 313, (2001).
24. G. Mehta, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and M. Misra, *J. Appl. Polym. Sci.*, **99**, 1055, (2006).
25. U. S. Ishiaku, X. Y. Yang, Y. W. Leong, H. Hamada, T. Semba, and K. Kitagawa, *J. Biobased Mater. Bioenerg.*, **1**, 78, (2007).
26. Y. Xie, C. A. S. Hill, Z. Xiao, H. Militz, and C. Mai, *Composites: Part A*, **41**, 806, (2010).