

국내 재배 엽맥섬유의 특성에 관한 연구

이혜자 · 김남은 · 유혜자*[†] · 한영숙**

한국교원대학교 가정교육과, *서원대학교 의류직물학과, **신성여자고등학교

Characteristics of the Leaf Fiber Plants Cultivated in Korea

Hyeja Lee · Nameun Kim · Hyeja Yoo*[†] · Youngsook Han**

Dept. of Home Economics Education, Korea National University of Education

*Dept. of Clothing & Textiles Seowon University

**Shinsung Girls' Highschool

접수일(2008년 12월 8일), 수정일(1차 : 2009년 3월 11일, 완료일 : 2009년 4월 9일), 게재확정일(2009년 4월 21일)

Abstract

Leaf fibers have many good properties; they are strong, long, cheap, abundant and bio-degradable. Since they, however, contain a great quantity of non-cellulose components, they have been used for the materials of mats, ropes, bags and nets rather than those of clothing. In this study, we investigated the characteristics of leaf fibers in order to promote the use of leaf fibers for the materials of clothing as well as develop the high value-added textile fibers. Leaf fiber plants including New Zealand Flax, Henequen and Banana plant, which have various nature and shape, were used. New Zealand Flax and Henequen leaves were cut from lower part of plants. Banana leaves and pseudo-stems were peeled and cut from the stem of Banana plants. First, the thin outer skins like film of leaves, veins and stems were removed before retting. The chemical retting had been processed for 1hour, at 100 in 0.4% H₂SO₄ aqueous solution(liquid ratio 50:1). Then, the retted leaf fibers had been soaked for 1hour, at room temperature in 0.5% NaClO solution(v/v) to remove the miscellaneous materials. We investigated the physical characteristics of three leaf fibers including the transversal and longitudinal morphology, the contents(%) of pectin, lignin and hemicellulose, the length and diameter of fibers, the tensile strength of the fiber bundles, and the fiber crystallinity and the moisture regain(%). The lengths of fiber from three leaf fibers were similar to their leaf lengths. The fiber bundles were composed of the cellulose paralleled to the fiber axis and the non-cellulose intersecting at right angle with the fiber axis. The diameters of New Zealand Flax, Henequen and Banana fibers were 25.13μm, 18.16μm and 14.01μm, respectively and their tensile strengths were 19.40 Mpa, 32.16 Mpa and 8.45 Mpa, respective. The non-cellulose contents of three leaf fibers were relatively as high as 40%. If the non-cellulose contents of leaf fibers might be controlled, leaf fibers could be used for the materials of textile fiber, non-wovens and Korean traditional paper, Hanjee.

Key word: Leaf fiber, Henequen fiber, New Zealand Flax, Banana fiber; 엽맥섬유, 헤네켄섬유, 뉴질랜드마, 바나나섬유

[†]Corresponding author

E-mail: hjyoo@seowon.ac.kr

본 연구는 한국교원대학교 2008년도 기성회연구지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

I. 서 론

엽맥섬유는 잎을 지탱하는 섬유로 잎 가운데나 잎의 줄기에 존재하는데 표피아래에 몰려 있다. 엽맥섬

유는 아열대성 기후인 전 세계지역에서 오래전부터 생산되어 왔으며 대표적인 것으로서 뉴질랜드마, 헤네켄, 사이잘, 아바카 등이 있다. 이들은 주로 매트나 가방, 로프, 끈, 카펫의 뒷면, 어망 등에 사용되어 왔으며 의류용 소재로서 광범위하게 이용되지는 않았다(송경현 외, 2005). 그러나 합성섬유 출현으로 엽맥섬유의 사용이 점차 줄어들다가 합성섬유의 폐기물이 자연환경의 주 오염원이라는 인식의 확산으로 합성섬유를 대체할 수 있는 천연자원으로서 다시금 주목을 받기 시작하였다.

이들 엽맥섬유는 값이 싸고 풍부하며 질기면서 생분해성이라는 장점을 지니며 섬유장이 길지만 비셀룰로스가 많아 의류재료 이외의 용도로 주로 사용되어 왔다. 뉴질랜드마는 뉴질랜드가 원산지이며 관상용으로 길렀던 것이 18세기 후반부터 상업적으로 재배하기 시작하였는데 우리나라 제주도에도 많이 자생하고 있다. 헤네켄은 콜럼버스가 신대륙을 발견하기 이전 고대 마야인 때부터 사용했고 20세기 초부터는 멕시코의 전통섬유로서 국가적인 작물로 육성하였다. 사이잘도 헤네켄과 같은 용설란과로서 유사하나 사이잘이 더 많이 재배되고 연구되었다(Ramirez & Solis, 1984). 아바카는 바나나를 따고 폐기되는 부산물에서 추가 경작비용을 들이지 않고도 강한 섬유를 얻을 수 있으며 친환경적이고 경제적인 섬유의 원료로 사용되어왔다(Idicula & Neelakantan, 2004; Piedad et al., 2004; Pothan & Thomas, 2004).

국내에서의 엽맥섬유에 대한 연구는 식물섬유인 뉴질랜드마로 수초지를 제조한 연구에서 긍정적인 결과를 얻은 것으로 보고하고 있으며(배현영 외, 2008) 포장용 상자의 강화제나 벽지로 사용하거나 인쇄용지를 개발하기도 하였으나(최봉용, 2002) 바나나섬유나 헤네켄섬유에 대한 국내 연구는 거의 없으며 의류재료로 개발하려는 연구 또한 전무하다. 이에 비해 국외에서는 80년 대 사이살섬유, 뉴질랜드마섬유와 헤네켄섬유 등 엽맥섬유를 주축으로 레팅과 구조에 대한 연구(Ramirez & Solis, 1984), 화학적 개질연구 등 복합재료에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. 엽맥섬유가 복합재료로 주로 연구되어 왔던 이유는 유리섬유나 합성섬유보다 값이 싸면서 생분해성이라는 것과 복합수지와와의 상호안정성이 커 물리화학적 특성이 좋으며(Malunka et al., 2006) 인장강도가 크고 뻣뻣함이 오히려 복합재료에서 중요한 이점이 되기 때문이다. 또한 엽맥섬유를 혼방복합재료로 사용할 경

우 복합재료의 인장강도가 증가하고 특히 충격을 가했을 때의 인장강도가 월등히 증가하는 장점이 있으며 절연성까지 띤다는 보고도 있다(Idicula & Neelakantan, 2004; El-Zawawy, 2006). 또한 뉴질랜드마의 경우 섬유의 길이, 직경 등을 세밀히 조사한 결과 물리적 특성이 경작지에 따라 많이 차이가 난다는 기초 연구를 한 것도 있는데 섬유는 쓰이는 범위에 따라 그 특성이 중요하기 때문이다(Natasha et al., 2006). 최근에는 바나나섬유를 중심으로 의류재료로 사용하고자 하는 연구를 시작하는 추세에 있으며 바나나섬유를 나일론과 혼방사를 제조하여 여러 의류재료로 사용가능성을 제시하고 있다(대한민국 특허등록번호 2004-0010138, 2004). 이에 따라 일본에서는 전통적으로 사용해왔던 바나나섬유를 더욱 육성하고 있다(Kijoka Banann Fiber Cloth, 2008).

천연엽맥섬유는 이처럼 재료가 지니는 많은 장점에도 불구하고 국내에서 그동안 사용이 저조하였던 가장 큰 이유는 생산과 원료수급이 어려웠고 이로 인한 비 경제성 때문이다. 그러나 앞으로 합성 원료인 석유자원의 고갈을 고려한다면 이제 다양한 재료의 생산과 연구에 관심을 가지고 심도 있는 연구가 진행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 천연섬유소재인 엽맥섬유를 선택하여 의복재료로서의 이용을 확대하고 부가가치 섬유소재를 개발하기 위한 기초 연구를 진행하였다. 성상이 다양한 세 종류의 엽맥섬유 식물로서 잎이 얇은 뉴질랜드마, 잎이 상대적으로 두툼하고 점액질 속에 섬유가 존재하는 헤네켄 그리고 잎 중심 엽맥과 줄기를 이용하는 바나나 등 세 가지 식물의 섬유화 과정을 살펴보았으며 추출된 엽맥섬유의 외관과 물성을 측정하여 의복재료로서의 이용가능성을 살펴보았다.

II. 실험

1. 엽맥섬유의 채취

뉴질랜드마는 다년생 초본으로 재배 중인 식물의 바깥부분부터 일정한 길이로 절단하여 섬유화에 이용하고 다음해에 지속적으로 채취하는 것이 가능하다. 본 실험에 이용한 뉴질랜드마는 제주도 제주시 외곽에 자생하는 약 10년 정도 자란 것으로 보통 1m 정도의 높이였다. 뉴질랜드마의 잎은 점액질이 없어 얇으며 표피로 싸여 있어 물의 침투가 매우 어렵다.

뉴질랜드마의 잎을 약 1m 정도의 길이로 채취하여 사용하였다. <Fig. 1>에 위에서부터 뉴질랜드마의 잎, 길 표면의 필름같은 부분을 제거한 그림, 잎에 헤네켄과 같은 점액질이 없어 얇은 잎의 단면을 나타내었다.

헤네켄(*Agavaceae Agave Fourcroyoides*)은 다년생 식물로 멕시코에서는 대단위로 재배하나 우리나라에

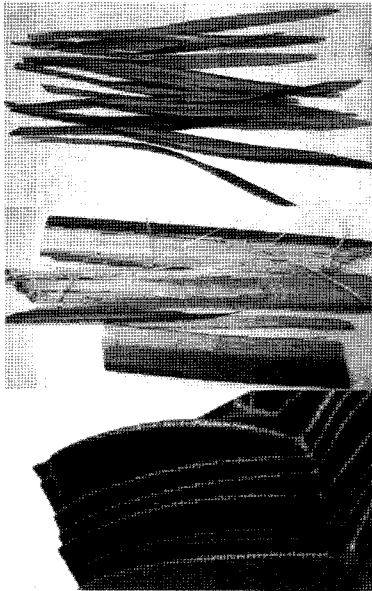


Fig. 1. The cut leaf of New Zealand Flax and section.

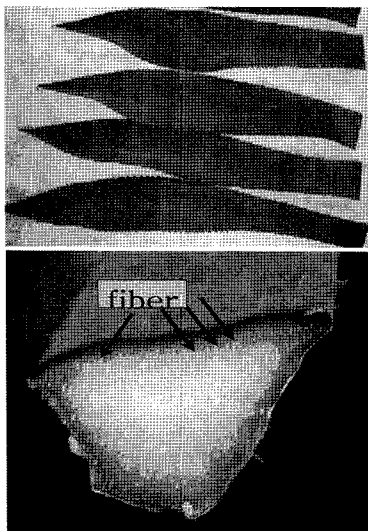


Fig. 2. The cut Henequen leaf and section.

선 관상용으로 키우고 있다. 헤네켄(Henequen)은 용설란과 아가베속 포우루쿠로요이데스 종(*Agavaceae Agave Fourcroyoides*)의 외떡잎식물로서 40도가 넘는 고온다습한 지역에서 잘 자라 멕시코 유카탄반도를 중심으로 재배되고 있다. 국내에서는 관상용으로 드물게 재배하고 있으므로 본 실험에서는 시중에서 10년생 헤네켄을 구입하여 잎을 채취하여 섬유화에 이용하였다. 헤네켄의 잎도 크기가 1m 정도의 것으로 비슷하게 하였다. 헤네켄은 줄기가 짧고 살이 두꺼우며 초록색 꼭지부분에 날카로운 피침이 있고 잎사귀 양쪽에 칼날 같은 가시가 돋아 있다. 섬유화에 이용할 헤네켄은 잎의 길이는 약 1m 전후의 것을 채취하였다. 헤네켄의 단면에서 보면 길 표면의 안쪽에서 점액질 부분과 그 사이사이로 잘 발달된 섬유다발을 관찰할 수 있으며 레팅 등을 통해 긴 길이의 섬유다발을 얻었다(Fig. 2).

바나나식물(banana plant)은 파초과(*Musaceae family*) 바나나속(*Musa genus*)에 속하며 아열대지방에서 과수로 재배되고 있다. 본 연구에 사용된 바나나식물은 제주대학 농업시험장 온실에서 약 5년 이상 자란 높이 약 4m의 바나나식물의 잎의 엽맥만을 채취하여 섬유화에 이용하였다(Fig. 3).

2. 엽맥섬유 식물의 섬유화

각 엽맥섬유는 잎의 길 표면에 덮여 있는 필름같은

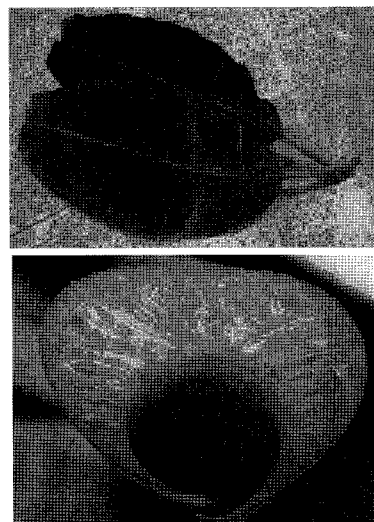


Fig. 3. The cut Banana leaf and section.

겉질을 먼저 제거하였다. 뉴질랜드마와 헤네켄은 옆면의 단단한 부분과 가시부분을 잘라내었으며 바나나 잎은 엽맥만을 잘라낸 후 레팅하였다. 레팅은 0.4% 묽은 황산용액(액비 50:1) 100°C에서 1시간 동안 가열하여 염색소를 용해한 후 이를 수세하여 섬유를 얻었다(Aguilar-Vega & Cruz-Ramos, 1995). 레팅이 끝난 엽맥섬유는 NaClO(0.5% v/v)로 상온에서 1시간 침지하여 잡 물질을 제거하고 충분히 수세한 후 자연 건조하였고 자연건조상태에서 섬유의 수분율과 레팅 수율을 측정하였다.

3. 엽맥섬유의 조성 측정

각 시료의 펙틴, 리그닌, 헤미셀룰로스의 함량을 측정하였다. 레팅한 시료(a)를 기준으로 하고 ammonium oxalate solution(0.5%)에 건조시료 10g을 액비 1:50가 되도록 넣고 85°C에서 24시간 처리한 후 수세 건조하여 건조무게로 산출한 값을 b로 하였고 펙틴의 함량을 a-b로 하였다. b시료를 0.7% sodium chlorite(0.7%) 용액으로 pH 4에서 100°C에서 2시간, 액비 1:50으로 처리하고 이를 다시 반복한 후 수세한다. 다음 sodium bisulphite solution 용액(2%)으로 25°C에서 액비 1:20으로 10분간 침지 후 수세 건조하여 건조무게로 산출한 값을 c로 하고 리그닌의 함량을 b-c로 하였다. c시료를 수산화나트륨 17.5% 수용액으로 45분 처리한 후 동량의 물을 넣고 5분간 둔 다음 수세하며 10%초산으로 중화한 후 수세 건조하여 건조무게로 산출한 값을 d로 하고 헤미셀룰로스의 함량을 c-d로 하였다. 그리고 셀룰로스 함량은 d로 하였다(한영숙 외, 2003; Abou-Zeid et al., 1984). 각 시료의 함량은 건조무게로 원래 시료에 대한 백분율로 계산하였으며 왁스나 oil, ash는 대부분의 엽맥섬유가 0.5% 미만으로 펙틴, 헤미셀룰로스, 리그닌의 함량 비교에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되어 무시하고 계산하였다. 건조무게는 105°C에서 2시간 이상 충분히 건조한 상태에서 젤 무게로 계산하였다.

4. 엽맥섬유의 물리적 특성

레팅한 엽맥섬유는 섬유의 길이, 섬유직경, 섬유단면과 측면, 강신도, 결정화도 및 흡습성을 측정하였다.

잎의 모양대로 채취된 엽맥섬유는 섬유변들 50여개를 채취하여 섬유의 길이를 측정하였다. 섬유는 변들

상태로 접착되어 있으므로 최대한 분리할 수 있는 상태로 검은 판 위에 섬유의 상하를 접착시킨 후 그 길이를 측정하여 분포도를 그리고 평균을 내었다. 섬유의 직경은 뿌리 쪽 하단부에서 최대로 가능하게 단섬유를 각각 30~40개씩 취하여 눈금이 부착된 광학현미경을 이용하여 측정하여 μm 로 나타내었다. 인장강도는 섬유의 직경을 측정한 바로 그 시료를 인장강도시험기(Testometric, Rocholale Type, England)를 이용하여 시료길이 50mm로 하고 cross head speed 10mm/min.의 조건으로 측정하였으며 단위는 Mpa로 나타내어 두께와 인장강도와의 분포도를 나타내었다.

섬유의 결정화도는 CrI변화를 $(I_c - I_a) / I_{c \times 100}$ 로 나타내었으며 I_c 는 2 θ 값으로 22°를 기준으로 한 결정영역에 대한 회절 적분강도, I_a 는 2 θ 값으로 18°를 기준으로 한 결정영역에 대한 회절 적분강도로 하였으며 X-Ray 회절분석기(XD-S-2000, Scintact)를 이용하여 측정하였다. 섬유의 단면과 측면의 측정은 SEM(Scanning Electron Microscope, Hitachi S-2500, Japan)을 통해 추출된 섬유의 단면과 측면을 측정하여 섬유의 미세구조를 확인하였다. 흡습성은 건조시료에 대한 수분량을 백분율(%)로 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 엽맥섬유 식물의 섬유화

헤네켄의 제조법, 섬유의 특성 및 그 활용가능성에 대한 연구는 주로 전통적인 제조방법에 의존해왔다(Aguilar-Vega & Cruz-Ramos, 1995; Cazurang-Martinez et al., 1991). 이들 헤네켄과 뉴질랜드마 잎 등으로부터 엽맥섬유를 얻는 방법은 전통적으로 잎을 세계 쳐서 표피를 벗기고 섬유를 느슨하게 푼 뒤 막대기로 여러 번 두들기고 수세하여 점액질이나 불순물을 짜낸다. 기계적으로는 절단한 헤네켄잎을 두 개의 드럼 사이에 넣어 짓이겨 생긴 펄프를 때리고 물을 뿌려 씻어내는 과정을 반복하여 단단하고 길고 하얀 섬유를 얻는다. 또한 식물섬유의 특성에 관한 연구에서 뉴질랜드마, 유카와 같은 엽맥섬유들은 공통적으로 겉 표면에 필름같은 껍질로 싸여 있어 일반적으로 줄기섬유에서 처리했던 물 레팅만으로는 섬유를 얻기 어려웠음을 확인 할 수 있었다(배현영 외, 2008).

본 실험에서도 이러한 점을 고려하여 섬유화를 진행한 결과 뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나 등의 엽맥으로

부터 걸 껍질과 피침 및 잎 가장자리의 가시를 제거한 뒤 화학 레팅을 하여 잡 물질이 없는 섬유를 얻을 수 있었다. 엽맥섬유의 레팅은 섬유를 싸고 있는 섬유질을 묶은 황산에 가열하면 용해되므로(Aguilar-vega, & Cruz-ramos, 1995) 묶은 황산을 처리하여 흰색 긴 가닥의 섬유를 얻을 수 있었다.

레팅 후 뉴질랜드마와 헤네켄섬유는 각 섬유번들 가닥 가닥이 헤네켄 잎 전체 길이와 거의 동일하였으며 섬유번들로 되어 있는 한 가닥은 실 한 가닥과 같은 형상으로 표면이 매끈하였다.

이런 부분이 모시나 삼베와 다른 점이였다. <Fig. 4>에 헤네켄섬유의 번들그림을 나타내었다.

바나나섬유의 길이는 바나나식물의 엽경에서 엽맥의 말단 부위에 까지 이르는 총 길이 만큼 섬유길이 가 얻어지지 않는 것이다.

엽맥식물의 잎과 엽맥에서 얻은 섬유의 레팅 수율을 <Table 1>에 나타내었다. 뉴질랜드마와 헤네켄섬유, 바나나섬유 엽맥 모두 식물에서 건조과정 없이 레팅하였다. 줄기섬유가 목질부에서 인피부를 분리 하면 쉽게 건조되는 것과 달리 뉴질랜드마와 헤네켄

은 쉽게 건조되지 않으며 뉴질랜드마의 경우 건조시키면 섬유를 얻기 어렵다. 따라서 생 엽맥에서 얻어야 하며 섬유의 양은 뉴질랜드마 18.68%로 높은 편이며, 헤네켄은 점액질이 차지하는 비율이 많아 섬유는 1.39%로 낮으며 바나나섬유도 2.71%로 매우 낮은 편이다. 줄기섬유인 케나프섬유의 레팅 수율은 약 50% 전후로 보고되었으나(이혜자 외, 2004) 이 경우는 케나프의 목질부를 제거하고 인피부를 건조한 상태에서의 레팅 수율을 측정 한 것이며 그에 비해 본 실험에서는 수분이 다량 포함된 상태인 생 엽맥을 이용해서 레팅 수율을 산출함으로 해서 나타난 차이이다.

2. 엽맥섬유의 물리적 특성

1) 엽맥섬유 성상과 섬유길이

뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나섬유의 길이를 측정하여 분포도와 평균을 <Fig. 5>와 <Table 2>에 나타냈다. 엽맥섬유는 뉴질랜드마와 헤네켄의 경우 잎의 모양대로 짧은 섬유와 긴 섬유가 분포되어 뉴질랜드마 섬유는 42.5~82.5cm 범위에 있었으며 62.5cm에 가장 많이 정상 분포되어 있었고 평균이 62.60cm를 나타

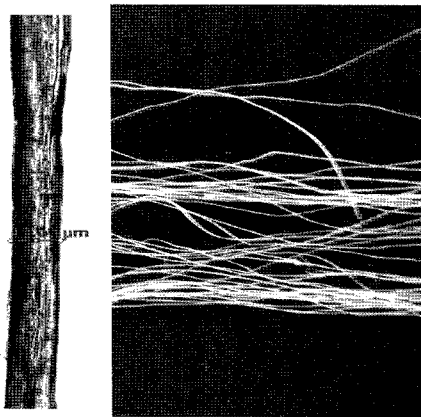


Fig. 4. Henequen fiber bundles after chemical retting (one fiber bundle and the enlarged fiber bundles).

Table 1. Retting effects(%) of New Zealand Flax, Henequen, and Banana leaf plants chemical retted with H₂SO₄ solution(concentrations; 0.4%)

Specimen	Yield(%)
New Zealand Flax	18.68
Henequen	1.39
Banana fibers	2.71

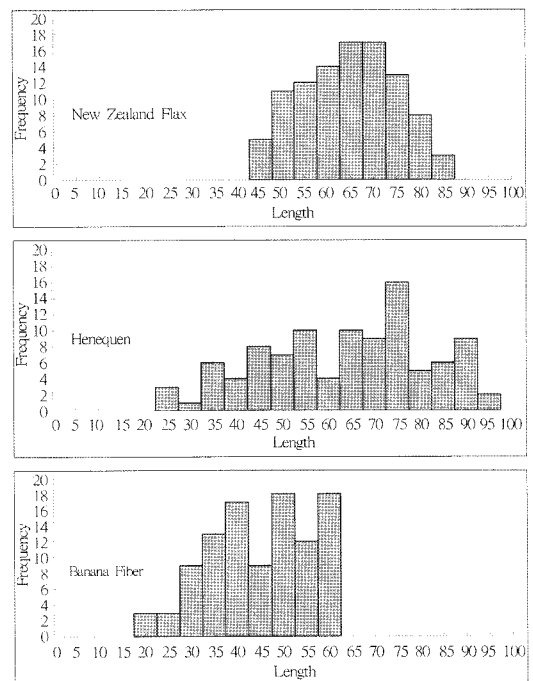


Fig. 5. The length distribution of New Zealand Hemp, Henequen, Banana Fiber bundles.

Table 2. The length of leaf fiber bundles(*Standard Deviation)

Specimen	Average(cm)	SD*(cm)
New Zealand Flax	62.60	9.56
Henequen	61.91	17.18
Banana fibers	41.21	7.56

내었으며 헤네켄은 짧은 섬유는 22.5cm~92.5cm를 나타내어 평균이 61.91cm였다. 그러나 바나나섬유는 엽경이 260cm였던 것에 비하면 섬유길이는 엽경의 끝부분인 상단부에서 쉽게 끊어져 매우 낮아 12.5cm~52.5cm에 분포를 하고 있으며 평균 42.1cm를 나타냈다. 섬유의 길이는 많은 단섬유들이 결합되어있는 번들상태에서 측정된 것이며 엽맥의 길이와 섬유번들의 길이가 거의 같은 것이 특징이다. Franck(2005)가 엽맥섬유의 일종인 sisal 섬유의 길이가 600~1000mm라고 보고한 것과 유사하다.

2) 엽맥섬유의 단면과 표면

엽맥섬유는 다른 식물성 섬유와 마찬가지로 셀룰로스가 헤미셀룰로스와 리그닌으로 결합된 섬유번들로 구성되어 있다. 일반적으로 식물섬유는 각 셀들이 여러 개 모여 마이크로 피브릴을 이루며 이들은 다시 이웃하는 마이크로 피브릴들과 군집하여 피브릴을 거쳐 리그닌과 펙틴질과 함께 세포벽을 이룬다. 식물섬유 중 외떡잎식물의 엽맥은 서로 길이가 비슷하고 잎의 장축과 평행하게 뻗는데 일반적으로 엽맥섬유는 이러한 나란히 엽맥 식물의 엽맥으로부터 얻는다. 나란히 엽맥 각각은 하나의 관다발로서 물관부(xylem)가 체관부(phloem)로 둘러싸여 하나의 관다발조직을 형성하며 이 관다발조직의 세포벽인 후벽조직(sclerenchyma tissue)이 섬유가 된다(이규배, 2004).

헤네켄섬유세포는 유관속조직의 세포벽에 쌓여 하나의 가닥 또는 다발로 생성된 것으로서 잎의 길이에 따라 섬유길이가 다양하다. <Fig. 6>에서 보는 바와 같이 뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나섬유 모두 엽맥섬유로서의 같은 형태의 단·측면을 나타내고 있다. 측면도에서 섬유번들 축에 최초의 섬유번들이 내부나 외부에서 섬유 축 방향으로 질서 정연히 줄지어 있다. 이렇게 나란히 줄지어진 섬유번들은 Piedad(2004)가 보고한 바와 같이 기하학적으로 가로로 비셀룰로스들에 의해 결합되어 있다. 이런 비셀룰로스는 물 레팅을 30일 이상할 경우 많이 감소하는 것으로 보고하고 있다. 그러나 지나친 비셀룰로스 제거는 섬유번들의

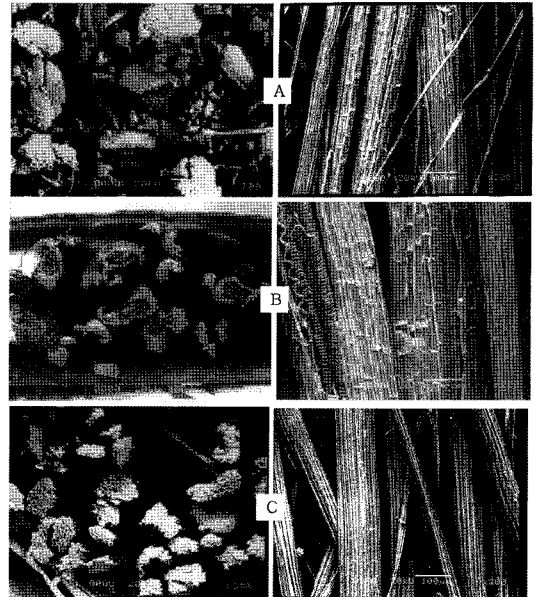


Fig. 6. Transversal(left: x300) and longitudinal(right: x200) Scanning Electron Micrographs of New Zealand Flax(A), Henequen(B), Banana Fiber(C) leaf fiber bundles.

강도를 감소시킬 수 있다. 본 연구에서 실시한 화학적 레팅의 경우와 비교할 때 20일의 물 레팅의 경우와 같다. 따라서 차후에 화학적 레팅 조건을 달리함으로써 비셀룰로스의 제거 정도를 살펴볼 필요가 있다.

단면도에서는 중앙의 물관과 이를 둘러싼 체관이 하나의 섬유다발을 이루고 있고 여러 관다발이 산재해 있는 형태를 볼 수 있다. 이는 옥수수섬유에서도 같은 형태를 하고 있다(배현영 외, 2008). 특히 중앙의 물관세포는 헤네켄의 측면 SEM에서 잘 관찰되는데 코일형태로 감아 올라가며 성장하는데 왼쪽부분의 물관부의 코일이 풀어져 나온 모양도 관측된다. 관다발의 중앙부분에는 코일형태로 성장하는 물관부의 세포벽이 중공을 형성하고 있음을 알 수 있다. 중공의 크기는 물관부의 중앙부분은 15 μ m 정도로 크나 체관부 쪽은 밀착되고 눌러 극히 작아 보인다.

이처럼 엽맥섬유는 줄기섬유나 종자섬유와는 다소 다르게 세포가 성장하여 이러한 특징은 섬유의 물리적 성질에도 영향을 미칠 것으로 생각된다. 즉 대표적인 식물성 섬유인 목화 속 식물의 면섬유는 종자섬유로서 헤네켄과 같이 후벽조직으로부터 얻는 섬유가 아니다. 또한 면섬유세포는 섬유 축 방향에 대해 70도 정도의 각으로 엷 방향으로 배향되어 1차벽을

이루며 다시 섬유 축에 20~45도 정도의 각을 이루면서 나선형으로 여러 겹 겹쳐 2차 세포벽을 이루어(송경현 외, 2005; Cazaurang-Martinez et al., 1991) 마섬유나 엽맥섬유보다 부드럽다. 이와 달리 대부분의 외떡잎식물로부터 얻은 엽맥섬유는 특히 불관부 조직을 포함하고 목질화되어서 뻣뻣하고 강인한 섬유를 얻는 것으로 생각된다.

3) 엽맥섬유의 굵기와 인장강도의 분포도

엽맥섬유는 성장기간이 길거나 재배지역 등에 따라 굵기와 인장강도에서 차이가 난다. 섬유의 뿌리쪽 하단부는 번들의 수가 많고 잎의 끝부분인 상단부로 갈수록 번들의 수가 적어 가늘게 보일 뿐이다. 엽맥 섬유들이 공통적으로 관다발조직의 후벽조직이 섬유가 되므로 뿌리쪽 하단부에서 최대한 가늘게 단섬유를 채취하여 섬유의 굵기를 재고 인장강도를 측정하여 분포도를 <Fig. 7>에 나타내었다.

<Fig. 7>에서 보는 바와 같이 섬유를 최대한 가늘게 채취하였으므로 굵기는 뉴질랜드마, 헤네킨, 바나나 섬유 모두 거의 10~40 μ m 범위로 비교적 가는 섬유를 얻을 수 있었다. 인장강도는 뉴질랜드마가 20~30 μ m에서 30Mpa 이하에 많이 분포되어 있으며 헤네킨은 10~30 μ m의 굵기에서 15~50Mpa에 많이 분포되어 있어 헤네킨섬유가 상대적으로 더 강한 것으로 나타났다. 뉴질랜드마와 헤네킨섬유는 굵기와 강도에서 비례관계가 나타나고 있다. 특히 헤네킨섬유의 비례관계가 더 크다. 바나나섬유의 굵기는 5~20 μ m으로서 뉴질랜드마나 헤네킨보다 더 가늘지만 인장강도는 5~12Mpa에 분포되어 상대적으로 낮았다. 이는 바나나 식물은 원래 6~7m까지 자라고 엽경의 길이도 3~4m까지 이를 수 있으나 본 실험에 사용된 바나나는 약 5년 된 식물로서 키가 4m이며 엽경은 1.5m 정도로 미성숙 잎과 줄기를 사용했기 때문으로 생각된다. 따라서 엽경의 길이에 따른 물성의 변화를 확인하기 위한 추가적인 실험과 고찰이 이루어져야 할 것으로 사료되었다.

엽맥섬유 3종류의 섬유굵기와 인장강도의 평균을 비교하여 나타낸 <Table 3>에서 보면 바나나섬유는 섬유의 굵기를 감안한다고 하더라도 인장강도가 뉴질랜드마나 헤네킨보다는 매우 낮다고 할 수 있으며 뉴질랜드마는 평균 섬유굵기가 25.13 μ m에서 인장강도 19.40Mpa를 나타낸 것에 비해 18.16 μ m의 굵기에 32.26Mpa를 나타낸 헤네킨섬유가 3종류 중 가장 인

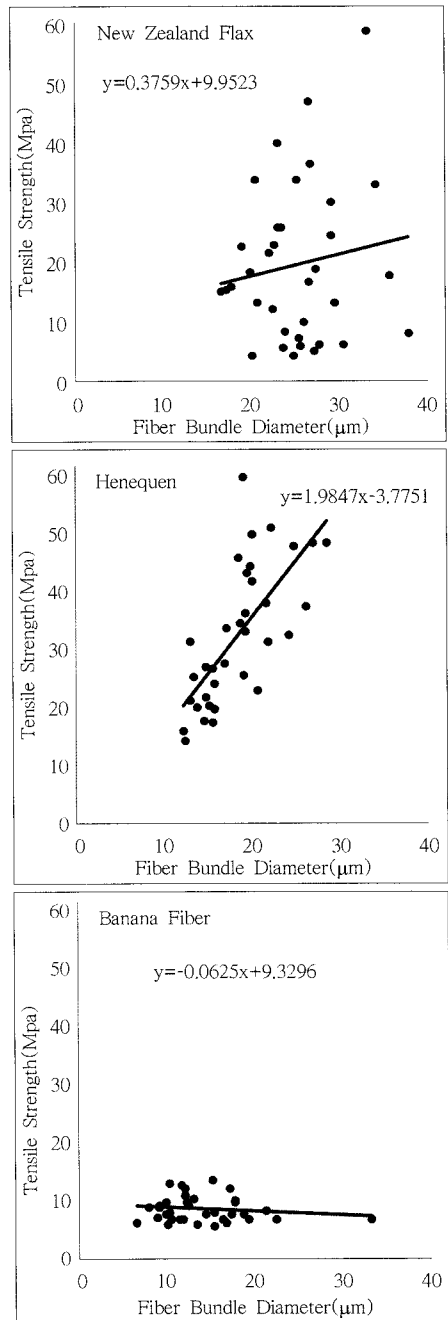


Fig. 7. The distribution of fiber bundle diameter and the tensile strength of New Zealand Flax, Henequen, Banana fibers.

장강도가 큰 것으로 나타났다. 바나나섬유는 평균 섬유굵기가 14.01 μ m에서 8.4Mpa를 나타내어 그중 낮

았다.

<Table 3>에서 단위 μm 당 Mpa를 계산하여 보면 헤네켄섬유 1.78, 뉴질랜드마섬유 0.77, 바나나섬유 0.60 순이었으며 이것은 <Table 4> 셀룰로스 함량의 순위의 헤네켄섬유 63.17%, 뉴질랜드마섬유 59.45%, 바나나섬유 57.11% 와 같아 섬유강도가 셀룰로스 함량과도 상관이 있는 것으로 판단되며 결정화도도 헤네켄섬유 88.18%, 뉴질랜드마섬유 82.35%, 바나나섬유 80.59%로 나타나 강도에 영향이 있는 것으로 판단된다.

줄기섬유인 케나프섬유의 경우, 화학적 레팅한 케나프섬유의 굵기가 80~200 μm 의 범위에 가장 많이 분포되어 있으며 평균이 132 μm 를 나타냈다는 연구결과(유혜자 외, 2006)와 비교하여 볼 때 뉴질랜드마섬유가 25.13 μm , 헤네켄섬유가 18.16 μm , 바나나섬유가 14.01 μm 로 굵기에서 많이 가늘었다. 인장강도에서는 케나프섬유가 평균 11.37Mpa를 나타낸 것과 비교할 때 헤네켄섬유가 32.26Mpa, 뉴질랜드마섬유가 19.40Mpa를 나타내었고 바나나섬유가 8.45Mpa를 나타냈으며 굵기가 상대적으로 가늘었다는 점을 감안하면 본 실험에서 추출된 엽맥섬유는 케나프섬유보다 강하였다. 또한 시살섬유가 100~400의 굵기에서 80~839Mpa를 나타낸다는 보고(Franck, 2005)와 비교해보면 본 실험에 사용한 섬유다발들의 굵기가 가늘었다는 점을 감안하여 굵기에 따른 강도의 비율에서 유사한 결과를 보여주었다.

신도는 뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나섬유가 2.48~3.76%를 나타내었다. 일반적으로 마섬유가 약 2%대의 신도를 나타내 강직한 특성을 갖게 되는 것보다는 약간 높은 값을 나타내었다(송경현 외, 2005).

종합적으로 볼 때 헤네켄과 뉴질랜드마섬유는 일반적으로 삼베나 모시와 같은 1년생 인피섬유와 달리 다년생으로서 인장강도가 높은 편으로 나타났다. 유리섬유의 굵기가 5~25 μm 이고 인장강도가 1.7~3.5Mpa인 것과 비교할 때(Pothen & Thomas, 2003) 엽맥섬유들의 인장강도가 더 높으면서 친환경적이고 값싼 재료라는 점이 복합재료분야에서 유리섬유를 대체할

만한 섬유소재로 각광받고 있는 이유임을 알 수 있었다. 국내에서 뉴질랜드마는 오래전부터 제주도를 중심으로 인조섬유가 나오기 전까지 농어업용의 끈으로 쓰였으며 생선이 용이했던 것으로 보인다. 물성 개선을 위한 연구가 진행되어 긍정적 연구결과가 나온다면 새롭게 환경을 생각하는 소재로서 활용가능성이 충분하다. 또한 헤네켄섬유는 멕시코에서는 레팅을 한 후 줄기섬유와 같이 쪼는 과정을 거치지 않고 바로 기계 방적을 하여 고유의 섬유산업을 일구었으며 지금까지도 판초를 비롯한 의류 및 식탁, 소품들을 제조하여 전통을 잇고 있다.

우리나라의 기후가 점차 아열대성화 되고 있어 헤네켄과 같은 작물들도 관심의 대상이 되고 있으며 근래에는 동남아시아 여러 지역에서 케나프와 같이 기능성 작물들을 재배하는 우리나라 기업이 늘고 있는 이때에 이러한 엽맥섬유에 대한 기초 자료를 제공할 필요가 있다.

4) 비셀룰로스의 조성, 결정성, 흡습성

뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나섬유의 펙틴, 리그닌, 헤미셀룰로우스, 그리고 셀룰로스의 조성을 <Table 4>에 나타냈으며 본 연구에서는 0.3%~0.5% 정도로 보고 되고 있는 왁스나 오일 및 ash 등의 기타 물질을 고려하지 않았다.

뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나섬유의 셀룰로스 함량은 59.55, 67.17, 57.11%이고 헤미셀룰로스가 24.55, 23.32, 22.31% 이미 리그닌이 11.24, 11.37, 18.71%, 펙틴이 1.24, 2.14, 1.87%를 나타내었다. 시살섬유가 셀룰로스 55~65%, 헤미셀룰로스 10~15%, 펙틴 2~4%, 리그닌 10~20%인 것에 비교할 때 헤미셀룰로스가 다소 많은 것으로 나타났으나 품종과 재배상태 등에 따라 많은 차이를 보일수 있다(Franck, 2005). 결정화도는 뉴질랜드마가 82.35%, 헤네켄이 88.18%, 바나나섬유가 80.59%를 나타내었다. 결정화도는 엽맥섬유인 시살섬유가 55~65%인 것(Franck, 2005)과 비교할 때 매우 높은 값이었으나 일반 마섬유가 80% 전후한 것과는 유사하였다(송경현 외, 2005). 인장강도에서

Table 3. The tensile strength and elongation of leaf fiber bundles

Specimen	New Zealand Flax(\pm SD)	Henequen(\pm SD)	Banana fiber(\pm SD)
Tensile strength(Mpa)	19.40(\pm 6.11)	32.26(\pm 11.86)	8.45(\pm 2.16)
Elongation(%)	2.48(\pm 0.87)	3.70(\pm 0.82)	3.76(\pm 0.68)
Diameter(μm)	25.13(\pm 5.08)	18.16(\pm 4.24)	14.01(\pm 5.08)

Table 4. The characteristics of leaf fiber bundles

Characteristics		Specimen		
		New Zealand Flax	Henequen	Banana fiber
Fiber composition(%)	Pectin	1.24	2.14	1.87
	Lignin	11.24	11.37	18.71
	Hemi-cellulose	24.55	23.32	22.31
	cellulose	59.45	63.17	57.11
Crystallinity		82.35	88.18	80.59
Moisture regain(%)		10.97	9.82	8.81

*wax, oil & ash were disregarded in this data

헤네켄섬유가 32.26Mpa, 뉴질랜드마섬유가 19.40Mpa, 바나나섬유가 8.45Mpa 를 나타낸 것과 같이 결정화도도 헤네켄, 뉴질랜드마, 바나나섬유 순서를 나타내었다.

흡습성은 8.81~10.97%를 나타내 마섬유의 일반적인 흡습성 범위 내에 있다(송경현 외, 2005). 엽맥섬유의 수많은 루멘의 존재가 면섬유에 비해 결정화도가 높으면서도 흡습성이 높은 이유 중의 하나로 판단된다(Franck, 2005).

이와 같이 뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나섬유 모두 강한 섬유이면서 비셀룰로스가 많으나 전통적인 우리나라 모시섬유와 같이 짜고 잇고 삼는 과정이 필요 없으며 수작업으로 제품을 만들 경우는 시원한 여름철 옷감으로 사용할 수 있다. 이를 방적할 경우에는 비셀룰로스로 인하여 거칠 수 있으므로 비셀룰로스를 일부 제거하여 부드러운 섬유를 제조할 필요가 있으며 그에 따라 한지재료를 비롯하여 부직포, 나아가 의류재료로 사용가능성은 충분하다고 할 수 있다.

IV. 결 론

엽맥섬유의 의류소재로의 활용가능성에 대한 기초 연구로서 뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나식물로부터 각각 잎을 채취하고 레팅하여 섬유화한 후, 이들 섬유의 형태와 조성, 그리고 물리적 특성을 살펴보았다.

1. 엽맥섬유는 잎의 장축과 평행하게 자라 엽맥섬유길이 잎의 크기와 유사하게 채취되었으나 바나나섬유는 엽맥의 길이보다 짧게 채취되었다. 뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나의 섬유 번들은 섬유 축 방향으로 질서정연하게 발달한 셀룰로스가 가로방향의 비셀룰로스로 결합되어 있다. 섬유의 단면은 섬유의 중앙에는 코일형태로 성장하는 물관부의 세포벽이 중

공을 형성하고 있었다. 섬유의 수율은 뉴질랜드마가 19%내외, 헤네켄과 바나나섬유는 2% 내외로 엽맥의 수분정도에 따라 달랐으며 레팅한 섬유번들의 길이는 뉴질랜드마와 헤네켄이 60cm 내외로서 시알섬유와 유사 범위 안에 있었으며 바나나섬유가 40cm 내외로 나타났다.

2. 엽맥섬유의 굵기는 뉴질랜드마, 헤네켄, 바나나섬유 순으로 25.13, 18.16, 14.01 μ m를 나타내었으며 인장강도는 헤네켄, 뉴질랜드마, 바나나섬유로 각각 32.16, 19.40, 8.45 Mpa를 나타내어 헤네켄섬유가 가장 강한 섬유였으며 이는 줄기섬유인 케나프섬유나 유리섬유보다 더 큰 값으로 매우 강한 섬유이다.

3. 엽맥섬유는 비셀룰로스 함량이 약 40%로 높은 편이었으며 본 연구에서는 비셀룰로스의 함량을 보기위한 것으로 오일 및 ash 등이 0.5% 정도라 영향을 주지 않는다고 판단되어 고려하지 않았다.

지금까지는 엽맥섬유가 뻣뻣하고 강하므로 복합재료로 주로 이용되어왔다. 그러나 방적사를 제조할 경우 거칠다는 문제점은 주원인이 되는 비셀룰로스의 함량을 조절함으로써 한지, 부직포 및 의류소재로의 이용가능성을 확인하였다.

참고문헌

배현영, 이해자, 유혜자, 한영숙. (2008). 식물섬유의 특성에 관한 연구. *한국의류학회지*, 32(4), 598-607.
 송경현, 유혜자, 이해자, 김정희, 안춘순, 한영숙, 이진숙. (2005). *의류재료학*. 서울: 형설출판사.
 이규배. (2004). *식물형태학*. 서울: 라이프사이언스.
 이승구, 조동환, 박원호, 한성옥. (2004). 천연섬유를 이용한 친환경성 복합재료. *섬유기술과 산업*, 8(4), 378-397.
 이해자, 유혜자, 한영숙. (2006). 비셀룰로스 함량에 따른 케나프 섬유의 특성 변화. *한국의류학회지*, 30(11), 1681-

- 88.
- 이혜자, 한영숙, 유혜자, 김정희, 송경현, 안춘순. (2004). 케 나프섬유 분리에 대한 화학적 레팅 효과. *한국의류학회지*, 28(9/10), 1281-1291.
- 최봉용. (2002). *미이용 농산자원인 뉴질랜드마의 고기능 섬 유화 기술 및 이 섬유를 이용한 초경량 인쇄용지 개발*. 대구: 경북대학교출판부.
- 100년전 한인 이민 직후 사진 최초 입수. (2005, 1. 9). *연합 뉴스*. 자료검색일 2005, 10. 20, 자료출처 <http://news.paran.com>
- にわゆぎ. (2004). 바나나섬유와 그 제조방법, 그것을 이용한 혼방사, 및 섬유구조물, 대한민국 특허등록번호 2004-0010138. 서울: 특허청.
- 스타, C. (2006). *생명과학 이론과 응용* (6판). 홍영남, 권덕기, 김경진, 김영환, 김은희, 김재범, 김제진, 김희백, 노유선, 박순철, 박연일, 부문중, 부성민, 신현철, 안정신, 이강석, 이경호, 이성태, 이은주, 정학성, 조도순, 조형택, 진창덕 공역 (2006). 서울: 라이프사이언스.
- Abou-Zeid, N. Y., Higazy, A., & Hebeish, A. (1984). Graft copolymerization of styrene, methylmethacrylate, and acrylonitrile onto jute fibers. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 121, 69-87.
- Aguilar-Vega, M. & Cruz-Ramos, C. A. (1995). Properties of henequen cellulosic fibers. *J. Applied Polymer Science*, 56, 1245-1252.
- Banana Fiber Silk Yarn. (2008, October 21). *shangri-lacrafts*. Retrieved November 10, 2008, from http://www.shangri-lacrafts.com/banana_yarn.html
- Canche-escamilla, G., Rodriguez-trujillo, G., Herrera-franco, P. J., Mendizabal, E., & Puig, J. E. (1997). Preparation and characterization of Henequen Cellulose grafted with methyl methacrylate and its application in composites. *J. Applied Polymer Science*, 66, 339-346.
- Carr, D. J., Cruthers, N. M., Laing R. M., & Niven, B. E. (2005). Fibers from three cultivars of New Zealand Flax(Phormium tenax). *Textile research J.*, 75(2), 99-105.
- Csaurang-Martinez, M. N., Herrera-Franco, P. J., Gonzalez-Chi, P. I., & Aguilar-Vega, M. (1991). Physical and mechanical properties of Henequen fibers. *J. Applied Polymer Science*, 43, 749-756.
- El-Zawawy, W. K. (2006). Blended graft copolymer of carboxymethyl cellulose and poly(vinyl alcohol) with Banana fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(3), 1842-1848.
- Franck, R. R. (2005). *Bast and other plant fibers*. Cambridge England: Woodhead Publishing Limited.
- Idicula, M. & Neelakantan, N. R. (2005). A study of the mechanical properties of randomly oriented short Banana and sisal hybrid fiber reinforced polyester composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(5), 1699-1709.
- Joseph, M. L. (1986). *Introductory to textile science*. New York: CBS college publishing.
- Joseph, S., Oommen, Z., & Thomas, S. (2006). Environmental durability of Banana-fiber-interforced phenol formaldehyde composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(3), 2521-2531.
- Kijoka Banana Fiber Cloth. (2008, October 21). *kougei*. Retrieved November 10, 2008, from <http://www.kougei.or.jp/english/crafts/0130/f0130.htm>
- Malunka, M. E., Luyt, S. S., & Krump, H. (2006). Preparation and characterization of Eva-sisal fiber composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(2), 1607-1617.
- Natasha, M. C., Dbra J. C., Racchel M. L., & Brian E. N. (2006). Structural differences among fibers from six cultivars of harakeke(Phormium tenax, New Zealand flax). *Textile Research Journal*, 76(8), 601-606.
- Piedad, G (2004). Biological natural retting for determining the hierarchical structuration of Banana fibers. *Macromolecular bioscience*, 4(10), 978-983.
- Piedad, G., Javier C., Saioa, G., Aitor A., & Inaki, M. (2004). Stem and bunch Banana fibers from cultivation wastes: Effect of treatments on physico-chemical behavior. *J. of Applied Polymer Science*, 94(4), 1489-1495.
- Pothan, L. A. & Thomas, S. (2004). Effect of hybridization and chemical modification on the water-absorption behavior of Banana fiber-reinforced polyester composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 91(6), 3856-3865.
- Ramirez, A. P. & Solis, A. S. (1984). Development of a New composite material from Waste polymers, Natural fiber and Mineral fillers. *J. of Applied Polymer Science*, 29, 205-2412.
- Removing fiber from Henequen plants. (2008, January 7). *mexicanmercados*. Retrieved July 15, 2008, <http://www.mexicanmercados.com/>