

〈연구논문(학술)〉

## 케이폭의 구조 및 흡유 특성

이영희 · 이정희 · 손수진 · 이동진<sup>1</sup> · 정영진<sup>2</sup> · 김한도<sup>†</sup>

부산대학교 유기소재시스템공학과, <sup>1</sup>한국세라믹기술원, <sup>2</sup>부산대학교 바이오소재과학과

### Structure and Oil Sorption Capacity of Kapok Fiber [*Ceibapentandra* (L.) Gaertn.]

Young Hee Lee, Jung Hee Lee, Su Jin Son, Dong Jin Lee<sup>1</sup>, Young Jin Jung<sup>2</sup> and Han Do Kim<sup>†</sup>

Department of Organic Material Science and Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

<sup>1</sup>Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Department of Biomaterial Science, Pusan National University, Miryang, Korea

(Received: July 5, 2011/Revised: August 16, 2011/Accepted: August 31, 2011)

**Abstract**— The structure of kapok fiber was characterized using FTIR and <sup>13</sup>C NMR spectrometers, elemental analyzer, x-ray diffractometer, SEM and IMT I-Solution ver 7.5. The kapok has a hollow tube shape and is composed of cellulose I with crystallinity of 47.95%. To develop novel oil-sorbent materials necessary to avoid the environmental pollution by spilled oil, the oil absorption capacity of various fibers such as kapok, polypropylene(PP), acryl, bamboo, cotton, rayon and wool fibers is compared in this study. The kapok fiber had the highest oil absorption capacity among the fibers and its water absorption capacity was the least. The kapok fiber selectively absorbed significant amounts of oils (43g/g of fiber for kerosene, 65g/g of fiber for soybean oil), which might be due to higher hydrophobicity of the kapok fiber, suggesting that kapok fiber may have high potential as excellent oil-absorbent materials.

**Keywords:** kapok, *Ceibapentandra* (L.) Gaertn., oil-sorption capacity, cellulose I, hollowness

## 1. 서 론

지구환경에 관한 문제점 중 해양오염의 원인으로서는 해양사고로 인한 선박으로 부터의 오염과 저장소 등의 사고 또는 공장 등에 있어서 잘못된 조작에 의한 기름의 누출, 공장배수오염 및 가정에서 사용되는 폐식용유 등을 들 수 있다<sup>1)</sup>. 최근 우리나라에서도 서해안 태안에서 1만 2천 톤의 기름유출사고 있었으며 이 사고로 해양생태계에 엄청난 파괴를 가져왔고 해안주민들에게도 엄청난 피해를 주고 있는 실정이다. 이러한 유출유를 처리하는 방법은 물리적 처리법, 화학적 처리법, 생물학적 처리법 등의 3종류로 크게 분류한다<sup>2)</sup>. 그 중 생물학적 방법은 미생물을 이용하여 기름을 분해하는 자연정화법으로 가장 환경친화적이나 처리비용이 고가이며 시간이 길게 걸린다는 단점이 있다.

유처리제를 이용하여 기름의 표면장력을 저하시켜 기름덩어리를 형성하게 하여 쉽게 물 밑에 가라앉히거나 쉽게 회수처리 하도록 하는 화학적 처리법은 유처리제 자체가 해양에 2차적인 오염을 가져 올 수 있는 단점이 있다. 유흡착제를 이용하여 기름을 회수하는 물리적 처리법은 유출유의 흐름을 차단하거나 직접 흡착하는 오일펜스(oil fence), 유흡착제(oil adsorbent), 오일 스키머(oil skimmer) 등이 있다. 그 중 유흡착제는 물을 배척하고 기름을 흡수 흡착하는 성질을 가지며 부양성이 있는 물질로 만들어진다. 또한 유흡착제가 구비하여야 하는 성질로는 기름을 흡착한 후 물에 가라앉지 않을 것, 비중이 작을 것, 취급이 용이할 것, 독성이 없을 것, 기름의 흡착속도가 빠를 것, 소수성일 것 등이 있다<sup>3)</sup>. 이상의 방법 중 친환경, 시간, 처리방법 등을 고려한다면 유흡착포를 사용하는 방법이 긍정적

<sup>†</sup>Corresponding author. Tel.: +82-51-510-2410; Fax.: +82-51-512-8175; e-mail: kimhd@pusan.ac.kr

으로 채택되어 세계적으로 널리 사용되고 있는 실정이다. 유흡착재는 천연물과 합성물(polypropylene, polyurethane)로 구분할 수 있으며, 천연물을 유기계(straw, corn cob, wood, cotton, kapok, wool, sawdust etc)와 무기계(perlite, graphite, vermiculite, zeolite, organo clay, fly ash, sand etc)로 다시 구분할 수 있다<sup>4)</sup>. 그 중 천연유기계 제품은 경제적인 면과 생분해되는 점의 장점을 가지나 낮은 부력, 낮은 소수성 등으로 인한 오일흡착능력이 떨어진다는 단점을 지니고 있다.

현재 오일제거용으로 사용되고 있는 오일흡착포는 폴리프로필렌과 면이 주로 사용되고 있다. 폴리프로필렌 흡착포의 경우는 흡유율이 흡착포 무게의 약 20배 정도이며 가격은 20원/g 정도이나 합성고분자이므로 생분해가 전혀 되지 않는 단점을 지니고 있다. 면 흡착포의 경우는 천연섬유이므로 생분해가 되는 점과 가격이 8원/g으로 싸다는 장점을 가지지만, 물과 기름이 동시에 흡수되므로 흡유율은 흡착포 무게의 약 2.5배 정도로 낮은 단점을 가지고 있다.

케이폭 섬유는 자바, 수마트라, 인도, 태국, 인도네시아 등에서 생산되며, 높이 10~15m에 달하는 교목의 아래에서 채취한 섬유이다. 케이폭섬유는 동남아시아 열대 지역에서 광범위하게 자라는 케이폭 [Ceibapentandra (L.) Gaertn., Family Bombacaceae] 나무의 열매로서 베개나 옷의 보온 재료 및 구멍조끼 등에 광범위하게 사용되고 있다. Xiao 등<sup>5)</sup>은 케이폭 섬유는 단세포 천연 셀룰로오스 섬유로서 섬유 내부가 약 10 $\mu$ m 직경의 텅 빈 중공구조를 가지고 있으며, Sunmonu 등<sup>6)</sup>은 케이폭 섬유는 64% cellulose, 13% lignin, 8.6%의 물, 1.4-3.5%의 ash, 4.7-9.7%의 수용성 물질, 2.3-2.5%의 xylan, 0.8%의 wax로 구성되어 있으며, Kobayashi 등<sup>7)</sup>은 섬유표면에 waxy cutin을 함유하고 있으므로 대부분이 cellulose 입에도 불구하고 발수성이 높다고 보고하고 있으며, Hori 등<sup>8)</sup>은 13%의 높은 acethyl group이 있다고 보고하고 있다. 또한 Hori 등<sup>8)</sup>은 X-ray diffraction 분석을 통하여 케이폭은 cellulose II 구조를 하고 있다고 보고한 반면, Lin<sup>9)</sup>은 cellulose I 구조를 하고 있으며 46.4%의 결정도와 90%의 중공율을 가지고 있다고 보고하였다. 그리고 Mwaikambo 등<sup>10)</sup>은 케이폭의 결정화도가 45.75%라고 보고하였으며, Lim 등<sup>11)</sup>은 케

이폭의 중공율이 77%라고 보고하였다. 이러한 서로 다른 각각의 결과들은 케이폭의 생산국가/지방 및 발육조건 등의 차이에도 일부 기인하겠지만 대부분의 연구에서 그들이 사용한 시료의 출처를 밝히지 않아 절대적인 비교는 곤란하였다. 또한 측정 및 분석의 방법의 차이 및 정확성에도 어느 정도 기인되었다고 생각되지만 지금까지 체계적인 이미지 분석을 통한 케이폭의 구체적인 중공형태와 중공율에 대한 연구는 거의 찾아 볼 수가 없었다.

따라서 본 논문에서는 X-ray 및 <sup>13</sup>C-NMR로서 본 연구에서 사용한 케이폭(태국 매싸이산)의 cellulose의 구조 및 결정화도를 분석하여 확인하였으며, SEM 및 IMT i-Solution ver 7.5를 사용하여 케이폭의 형태 및 이미지 분석을 통한 구체적인 중공형태 및 중공율을 조사하였다.

또한 케이폭의 오일흡착포용 재료로서의 활용 가능성을 검토하기 위하여 케이폭 섬유, 면, 모, 아크릴, 레이온, 대나무 섬유 및 폴리프로필렌 섬유(현재 오일흡착포로 많이 사용되고 있는 섬유)와 같은 여러 가지 섬유를 두 종류의 오일(등유, 식용유)에 대한 흡유성과 물에 대한 흡수성을 비교하였다.

또한 케이폭의 지방 성분의 제거 전후의 물 및 오일에 대한 흡착특성을 비교 조사하였다. 그리고 앞으로 본 기초 연구를 바탕으로 케이폭을 함유하는 복합소재를 제조하여 오일 흡착선택성이 높은 우수한 오일흡착포용 소재를 개발하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 오일

오일흡착용 소재로 응용하기 위한 재료로는 태국의 매싸이 지역에서 재배한 케이폭섬유(0.82d)를, 흡유성을 비교하기 위한 소재로는 면, 모, 아크릴, 레이온, 대나무 섬유, 및 폴리프로필렌을 사용하였다.

본 실험에 사용된 모든 섬유는 후처리를 하지 않은 loose fiber 형태로 사용하였으며, 흡유성 측정을 위한 오일로는 등유(kerosene, viscosity 7cP)와 식용유(soybean oil, viscosity 84cP)를 사용하였다.

## 2.2 케이폭의 특성 분석

### 2.2.1 케이폭의 FT-IR

Fourier transform infrared spectroscopy(FT-IR) 분광분석은 Nicolet Impact 400D(Madison, WI)를 이용하여 ATR법으로 400 ~ 4000 cm<sup>-1</sup>의 범위에서 측정하였다.

### 2.2.2 케이폭의 원소 및 지방 성분 분석

원소분석기 Elemental analyzer (EA)는 Vario-Micro Cube(Elementar Analysensysteme GmbH, Germany, KBSI Busan center, Korea)를 사용하였으며, 조건은 시료무게 ~ 2.0mg, 연소온도 1150°C, sulfanilic acid(C: 41.6%, H: 4.1%, N: 8.1%, O: 26.2%)를 표준물질로 사용하여 분석하였다. 지방 성분 함량은 KSM 6882: 2006 준용에 따라 다음과 같이 분석하였다.

가늘게 자른 분석용 시료 약 10g을 0.1mg까지 정확하게 달아 원통 거름종이에 옮기고, 그 거름 종이를 속슬렛 지방 추출기에 넣어 물중탕 위에서 n-헥산에 의해 6시간 추출한다. 추출이 끝난 다음 용액 중의 n-헥산을 휘발시킨 후, 100°C 항온기 안에서 건조시켜 무게를 측정하여 다음 식으로 지방성분을 계산하였다. F는 지방 성분 (%), W는 추출물(지방)의 무게 (g), S는 시료의 무게 (g)이다.

$$(F = W/S \times 100)$$

### 2.2.3 케이폭의 구조 분석

X선 회절분석은 XRD(X'pert-PRO MRD/MPD, PANalytical, Almelo, Netherlands)를 사용하였으며, 결정화도(Crystallinity Index)  $I_c$  는 다음 식으로 계산하였다<sup>10)</sup>.  $I_{002}$ 는 2θ가 22°인 peak intensity,  $I_{(am)}$ 는 2θ가 18°인 peak intensity이다.

$$I_c = (I_{002} - I_{(am)}) / (I_{002}) \times 100$$

<sup>13</sup>C-NMR 분광계는 600MHz solid-state NMR spectrometer(Unityl NOVA, Varian, USA, KBSI Daegu center, Korea)를 사용하였다.

### 2.2.4 케이폭의 이미지 형태 분석

단면 및 측면은 Scanning Electron Microscope (JSM-6700F, JOEL, Japan)을 사용하여 관찰하였

으며, 이미지 분석기(IMT i-Solution ver 7.5, IMT i-solution Inc, Canada)를 사용하여 분석하였다.

### 2.2.5 케이폭의 흡수 및 흡유 특성 측정

흡유량은 해양경찰청의 유흡착재의 성능시험 방법<sup>12)</sup> 중 흡유량 시험에 따라 시료를 20°C의 유면에 띄어 일정시간 정지한 후 이것을 직경 1mm의 철사를 17mm의 눈금간격으로 짚 철망 위에 5분간 유지한 후 그 중량을 측정하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{Sorption}(\%) = [(the\ total\ masses\ of\ sorbed\ sample - the\ dry\ sorbent\ mass)/(the\ dry\ sorbent\ mass)] \times 100$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 케이폭의 FT-IR 분석

Fig. 1에 케이폭의 FT-IR spectrum을 나타내었다. 3350cm<sup>-1</sup>에서 -OH stretching, 2918cm<sup>-1</sup>에서 plant wax에 해당되는 C-H vibration, 1735cm<sup>-1</sup>에서 Lignin의 지방족 알데하이드, 에스테르, 및 케톤의 C=O stretching, 1596cm<sup>-1</sup>에서 fat의 C=C stretching, 1372cm<sup>-1</sup>에서 lignin의 C-H bending, 1242cm<sup>-1</sup>에서 hemicellulose의 C-H bending, 898cm<sup>-1</sup>에서 β-glycosidic linkage의 C-H stretching의 특성 피크를 확인할 수 있었으며 그 결과를 Table 1에 요약하였다.

Fig. 1과 Table 1에서 케이폭이 소수성 왁스로 코팅된 lignocellulose 임을 확인할 수 있었다.

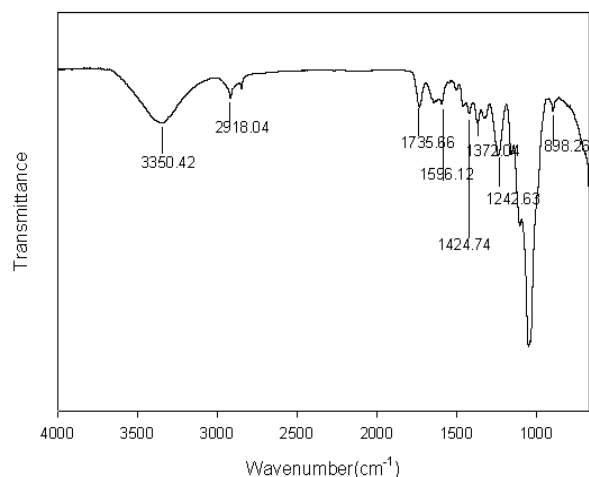


Fig. 1. FT-IR spectrum of kapok.

Table 1. Infrared absorptions of kapok

Bond type	Peak (cm <sup>-1</sup> )	Remark
-OH stretching	3350.34	
C-H vibration	2918.80	Plant wax <sup>13,14</sup>
C=O stretching	1735.66	Lignin Wax <sup>15,16</sup>
C=C stretching	1596.12	Fat <sup>10</sup>
C-H stretching	1372.04	Lignin
C-H bending	1242.63	Hemicellulose
C-C stretching	1000-1162	Carbohydrate
C-H stretching	898.26	β-glycosic linkage

### 3.2 케이폭의 원소 및 지방 분석

케이폭과 면의 원소분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 케이폭의 경우 면에 비해 수소 함유량은 비슷하나, 산소 함유량은 낮게, 탄소 함유량은 높게 나타났다. 이런 결과는 Hori 등<sup>8)</sup>이 보고한 13%의 높은 acethyl group의 영향과 앞의 FT-IR결과에서 언급한 리그닌 및 왁스 성분의 함유 때문으로 생각된다.

Table 2. Elementary analysis results of kapok and cellulose

	C (Wt%)	H (Wt%)	N (Wt%)	O (Wt%)
Kapok	44.99	6.75	0.84	47.25
Cotton	41.76	6.66	0.82	49.60

케이폭의 지방성분 함량은 여러 연구들<sup>5,17)</sup>에서 대부분 0.8%로 보고하고 있으나, 본 연구에서 사용한 케이폭의 경우는 지방성분 함량이 0.66%로 다소 낮은 값을 나타내었다. 이러한 차이는 케이폭 나무의 원산지의 기후 조건에 따른 생육상태 및 약간의 품종의 차이로 나타난 결과라 생각된다.

### 3.3 케이폭의 결정구조

Fig. 2에 케이폭의 X-ray diffraction pattern을 나타내었다. 일반적으로 X-선 회절각 2θ가 cellulose I 구조에서는 14.8, 16.3, 22.6°에서, cellulose II 구조에서는 12.1, 19.8, 22.0°에서 관찰된다고 알려져 있다<sup>18)</sup>. 본 연구에서 사용한 케이폭의 2θ는 14.8, 16.3 및 22.6°에서 관찰되었다. 결정화도는 2θ 22°부근의 peak intensity를 결정영역, 2θ 18°부근의 peak intensity를 비결정영역으로 하여 계산하였다<sup>10)</sup>. X-ray diffraction data로부터 계산된 본 연구에서 사용한 케이폭의 결정화도는 47.93%이었다. 그런데 케이폭의 결정화도에 대한 Wang 등<sup>9)</sup>의 연구

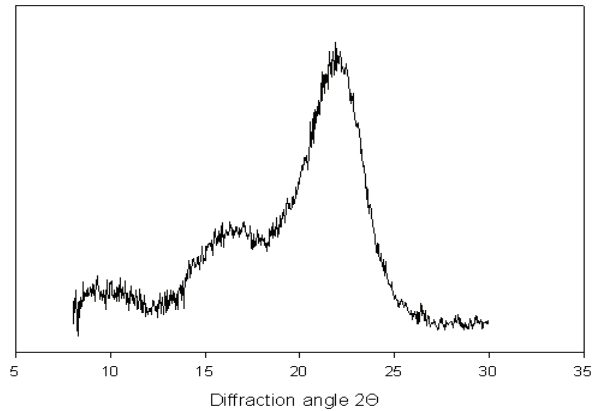


Fig. 2. X-ray diffraction pattern of kapok.

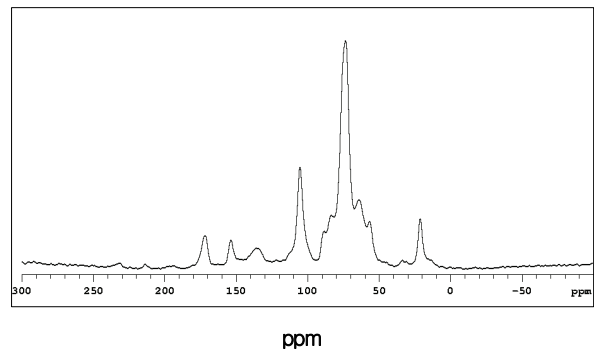


Fig. 3. Solid-state <sup>13</sup>C-NMR spectrum of kapok.

결과인 46.4%와 Mwaikambo 등<sup>10)</sup>의 연구결과인 45.75%와 비교하여 본 연구에서 사용한 케이폭 시료(태국 매싸이산)의 결정화도가 다소 높게 나타났다. 이러한 결과는 앞에서 언급한 원산지 및 발육상태 등의 차이 때문인 것으로 생각된다.

Hori 등<sup>8)</sup>의 연구에서는 케이폭을 cellulose II 구조로, Lin<sup>9)</sup>의 연구에서는 cellulose I 구조로 보고하고 있다. 본 연구에서 사용한 케이폭의 Solid-state <sup>13</sup>C-NMR spectrum을 Fig. 3에 나타내었다. 일반적으로 Solid-state <sup>13</sup>C-NMR spectrum에서 C1, C4, C6의 탄소의 chemical shift(ppm)가 cellulose I 구조에서는 105.0~106.0, 89.1~89.8,



65.5~66.2에서 관찰되며, cellulose II 구조에서는 105.8~106.3, 88.7~88.8, 63.5~64.1에서 관찰된다고 보고되어 있다<sup>18)</sup>. 본 연구에서 사용한 케이폭에서는 C1 탄소의 경우 105.3, C4 탄소의 경우 89.2, C6 탄소의 경우 65.4에서 chemical shift가 관찰되는 것으로부터 cellulose I 구조에 가깝다고 생각된다. 따라서 XRD diffraction data와 <sup>13</sup>C-NMR data의 결과를 종합하여 볼 때 본 연구에서 사용한 케이폭(태국 매싸이산)은 cellulose I 구조로 추정된다. 또한 NMR 분석 결과 56.594, 21.119 ppm의 saturated carbon(sp<sup>3</sup>), 136.089 ppm의 리그닌 aromatic ring carbon, 153.567 ppm의 리그닌 carbonyl group, 171.758 ppm의 acetyl group이 나타난 것으로부터 케이폭에는 cellulose 외에도 여러 가지 성분들이 혼합되어 있음을 확인할 수 있었다. 이는 앞의 FT-IR spectrum의 결과와도 잘 일치됨을 알 수 있었다.

### 3.4 케이폭의 이미지 형태

Fig. 4는 전자현미경으로 배율을 달리하여 측정한 케이폭의 단면과 측면 사진을 나타낸 것으로, Xiao 등<sup>5)</sup>의 연구결과와도 유사하게 섬유

내부가 작은 직경의 중공구조임을 확인할 수가 있었다. 본 연구에서는 케이폭의 중공율을 계산하기 위하여 5개의 시료를 이미지분석기를 사용하여 분석을 하였다. 이미지 분석 과정과 외부면적, 내부면적, 외·내부 장직경, 외·내부 단직경, 관벽 두께 등의 결과 값을 Fig. 5와 Table 3에 나타내었다. 케이폭(태국 매싸이산)시료를 sampling하여 5가지를 측정된 값의 범위는 내부면적 180~358μm<sup>2</sup>, 외부면적 237~456μm<sup>2</sup>, 외부장직경 24.5~34.6μm, 외부단직경 11.2~31.6μm, 내부장직경 19.8~32.0μm, 내부단직경 8.5~16.8μm, 관벽두께 1.0~1.1μm로부터 계산한 중공율은 76.1~78.6% 이었다. 평균값을 계산한 결과는 외부면적 455.659μm<sup>2</sup>, 내부면적 248.129μm<sup>2</sup>, 외부장직경 28.52μm 내부장직경 23.42μm, 외부단직경 19.00μm, 내부단직경 12.56μm, 관벽 두께 12.56μm, 및 중공율 77.1% 이었다. Lim 등<sup>11)</sup>이 보고한 77% 중공율과 비슷한 값을 나타내는 것은 원산지가 같은 태국산이기 때문으로 생각된다.

물은 높은 표면장력(7.2×10<sup>-4</sup>N/cm at 20°C against air)을 가지는 반면, 케이폭 섬유 표면의 소수성 특성과 이런 작은 직경(내부 단직경 12.56μm, 내부 장직경 23.42μm) 때문에 케이폭 섬유내로

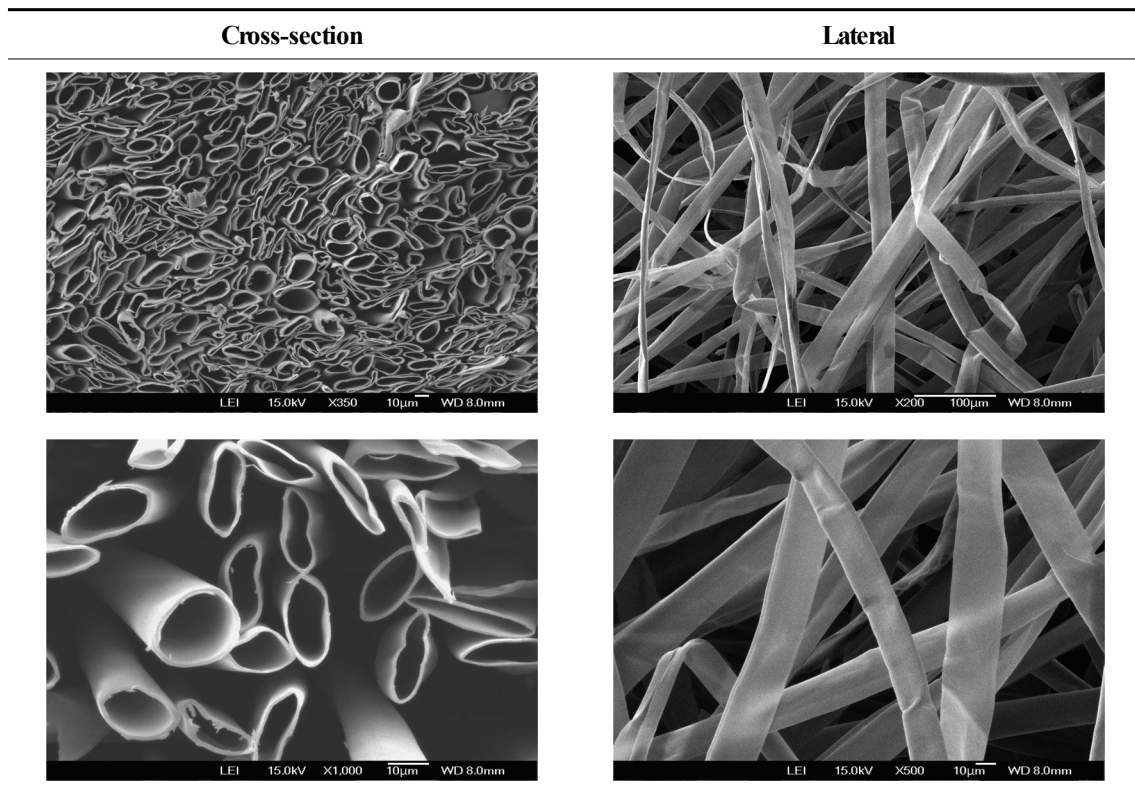


Fig. 4. SEM micrograph of kapok.

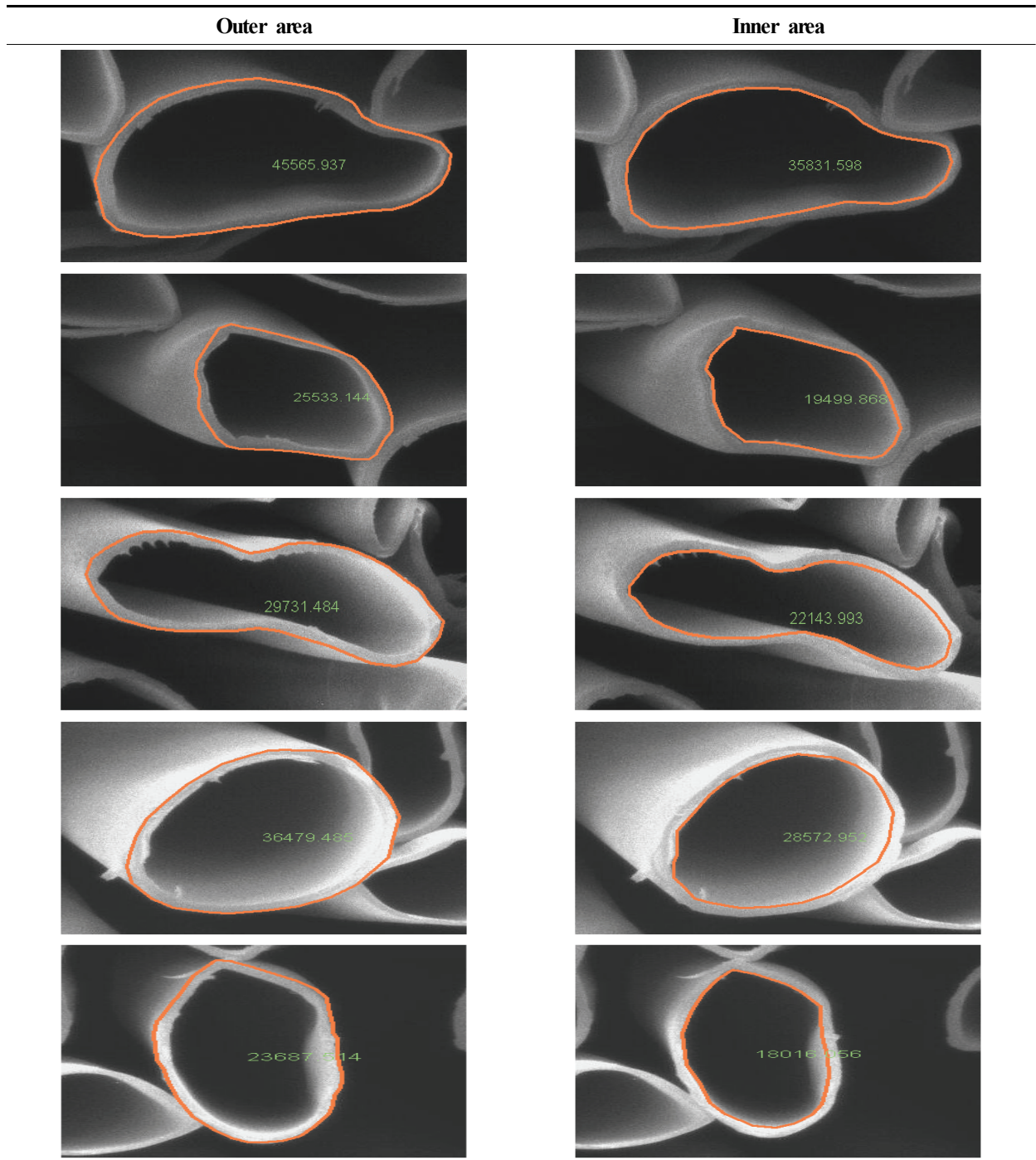


Fig. 5. Image processing of kapok.

물의 유입은 불가능할 것이다. 그러나 케이폭 섬유와 섬유 사이의 공간에는 모세관 효과에 의한 물의 침투는 가능하지만 케이폭은 전반적으로 물에 대한 흡수성이 높지 않을 것이다. 특히 케이폭 섬유 표면에 존재하는 지방 성분 때문에 높은 친유성을 가지므로 oil/물 중에서 oil 흡착에 대한 선택성을 가질 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.5 케이폭의 흡수 및 흡유 특성

케이폭의 오일흡착포 재료로서의 응용 가능성을 검토하기 위하여 케이폭을 비롯하여 죽섬유, 레이온, 모, 면, 아크릴 및 현재 오일흡착포로 많이 사용되고 있는 폴리프로필렌을 등유 및 식용유에 대한 흡유성을 비교해 보았으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

Table 3. Analysis of cross-sectional structure of kapok

Sample	Inner area ( $\mu\text{m}^2$ )	Outer area ( $\mu\text{m}^2$ )	Outer diameter (long $\mu\text{m}$ )	Outer diameter (short $\mu\text{m}$ )	Inner diameter (long $\mu\text{m}$ )	Inner diameter (short $\mu\text{m}$ )	Wall thickness ( $\mu\text{m}$ )	Hollowness (%)
1	358.315	455.659	34.6	16.6	32.0	14.0	1.1	78.6
2	194.999	255.331	22.5	16.2	19.8	14.3	1.1	76.4
3	221.44	297.314	34.4	31.6	19.8	8.5	1.0	74.5
4	285.73	364.795	24.5	19.4	21.9	16.8	1.0	78.3
5	180.161	236.875	26.6	11.2	23.6	9.2	1.0	76.1
<b>Average</b>	<b>248.129</b>	<b>321.995</b>	<b>28.52</b>	<b>19.00</b>	<b>23.42</b>	<b>12.56</b>	<b>1.04</b>	<b>77.1</b>

Fig. 6에서 알 수 있는바와 같이 물에 대한 흡수성은 모 > 면 > 레이온 > 죽섬유 > 아크릴 > 폴리프로필렌 > 케이폭의 순으로, 등유에 대한 흡유성은 케이폭 > 아크릴 > 면 > 모 > 폴리프로필렌 > 레이온 > 죽섬유의 순으로, 식용유에 대한 흡유성은 케이폭 > 폴리프로필렌 > 아크릴 > 면 > 모 > 레이온 > 죽섬유의 순으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 모든 섬유에 대한 흡유성은 등유보다 식용유에 대한 값이 크게 나타났는데 이는 분자량의 차이에 기인되며 높은 분자량을 지닌 식용유는 낮은 분자량의 등유보다는 섬유에 대한 인력이 높으므로 보다 높은 흡착량을 나타낸 결과라 생각된다. 케이폭은 다른 섬유들에 비해 물에 대한 흡수성은 케이폭 무게의 1.6배 정도로 아주 낮은 값을 나타내는 반면 오일에 대한 흡유성에서는 아주 높은 값을 나타내었다. 등유의 경우 케이폭 무게의 43배, 식용유의 경우 케이폭 무게의 65배의 흡유량을 나타내었으므로 케이폭은 우수한 흡착형 흡유성 소재로서 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 케이폭 표면에 존재하는 지방 성분이 오일 흡유성 및 물 흡수성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 지방 성분을 제거한 후 물, 등유, 식용유에 대한 흡착성 실험을 한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 알 수 있는 바와 같이 지방 성분을 제거하기 전의 케이폭 섬유는 물, 등유, 식용유에 대한 흡착성이 케이폭 무게의 1.6, 64.9, 43.0배이었으나, 지방 성분을 제거한 후의 경우는 케이폭 무게의 1.82, 51.5, 37.6 배의 결과로 물에 대한 흡수성은 증가하였으나, 오일에 대한 흡유성은 등유에 대하여는 13%, 식용유에 대하여는 21% 정도로 높은 감소율을 나타내었다는 결과를 알 수 있었다.

따라서 케이폭의 표면에 존재하는 지방 성분이 물과 오일이 혼합된 상태로 존재하는 경우 오일을 선택적으로 흡수할 수 있다는 것을 알 수 있다.

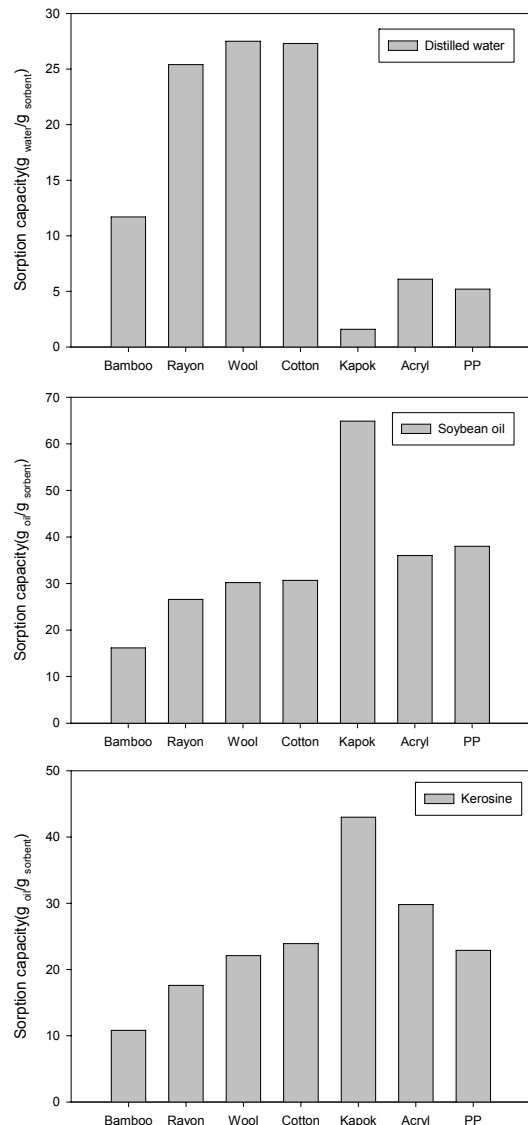


Fig. 6. Comparison of sorption capacity of various fibers.

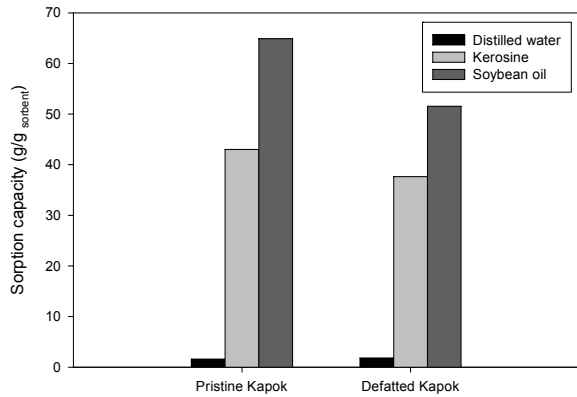


Fig. 7. Comparison of sorption capacity of pristine kapok and defatted kapok.

#### 4. 결 론

본 연구는 오일흡착용 재료로서의 활용가능성을 검토하기 위한 케이폭 섬유(태국 매사이산)에 대한 기초연구이다. 케이폭 섬유의 구조를 FT-IR, <sup>13</sup>C-NMR spectrometer, elemental analyzer, x-ray diffractometer, SEM 및 이미지분석기를 사용하여 분석한 결과, 케이폭 섬유는 결정화도 47.95%인 cellulose I 구조로 가늘고 긴 중공형태로 내부 장직경 23.42 $\mu$ m, 내부 단직경 12.56 $\mu$ m, 관벽 두께 12.56 $\mu$ m, 및 중공율은 77.1% 이었다. 또한 오일 및 물에 대한 흡착성을 비교하기 위하여 케이폭 섬유, 면, 모, 아크릴, 레이온, 대나무 섬유 및 현재 오일흡착포로 많이 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유 등 여러 종류의 섬유들을 두 종류의 오일(등유, 식용유)에 대한 흡유성과 물에 대한 흡수성을 비교한 결과 케이폭 섬유는 물에 대한 흡수성은 케이폭 무게의 1.6배, 등유에 대한 흡유성은 케이폭 무게의 43배, 식용유에 대한 흡유성은 케이폭 무게의 65배로 다른 섬유들보다 월등하게 흡수성은 낮고 흡유성은 높게 나타났으므로 오일흡착포용 재료로서의 높은 활용 가능성을 확인할 수 있었다. 또한 케이폭 섬유의 지방 성분을 제거한 후에는 흡수성이 증가하는 반면 오일 흡착성을 현저히 감소함을 알 수 있었다. 이는 케이폭 섬유의 복잡한 중공구조 외에도 표면에 존재하는 소수성인 지방 성분이 우수한 오일 흡착성을 나타내는데 크게 기여하였음을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된

기초연구사업(2010-0012030)으로 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. A. W. Maki, The Exxon Valdez Oil Spill: Initial Environmental Impact Assessment, *Environ. Sci. Technol.*, **25**, 24-29(1991).
2. H. T. T. Duong and R. P. Burford, Effect of Foam Density, Oil Viscosity and Temperature on Oil Sorption Behavior of Polyurethane, *J. Appl. Polym. Sci.*, **99**, 360-367(2006).
3. H. S. Shin, J. H. Yoo, and L. Jin, A Study on Oil Absorption Rate and Oil Absorbency of Melt-blown Nonwoven, *Textile Coloration and Finishing*, **22**(3), 257-263(2010).
4. M. O. Adebazo, R. L. Frost, J. T. Klopogge, O. Carmody, and S. Kokot, Porous Materials for Oil Spill Cleanup: A Review of Synthesis and Absorbing Properties, *J. Porous Materials*, **10**, 159-170(2003).
5. H. Xiao, W. Yu, and M. Shi, The Fine Structure of Kapok Fiber, *Text. Res. J.*, **80**, 159-165 (2010).
6. O. K. Sunmou and D. Abdullahi, Characterization of Fibers from the Plant Ceiba Pentandra, *J. Text. Inst.*, **2**, 273-274(1981).
7. Y. Kobayashi, R. Matsuo, and M. Nishiyama, Japanese Pat. 52,138,081(1977).
8. K. Hori, M. E. Flavier, S. Kuga, T. B. T. Lam, and K. Iiyama, Excellent Oil Absorbent Kapok[*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.] Fiber: Fiber Structure, Chemical Characteristics, and Application, *J. Wood Sci.*, **46**, 401-404(2000).
9. C. Q. W. Lin, Structure and Property Contrast of Kapok Fibre and Cotton Fibre, *Cotton Textile Technology*, **11**, 12(2009).
10. L. Y. Mwaikambo and M. P. Ansell, Chemical Modification of Hemp, Sisal, Jute, and Kapok Fibers by Alkalization, *J. Appl. Polym. Sci.*, **84**, 2222-2234(2002).
11. T. T. Lim and X. Huang, Evaluation of Kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a Natural Hollow Hydrophobic-Oleophilic Fibrous Sorbent for Oil Spill Cleanup, *Chemosphere*, **66**, 955-963(2007).



12. Notification No. 2008-4 of Korea Coast Guard, Korea.
13. M. A. Abdullah, A. U. Rahmah, and Z. Man, Physicochemical and Sorption Characteristics of Malaysian *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. as a Natural Oil Sorbent, *J. Hazardous Materials*, **177**, 683-691(2010).
14. V. Tserki, N. E. Zaferropous, F. Simon, and C. Panayiotou, A Study on the Effect of Acetylation and Propioylation Surface Treatments on Natural Fibers, *Compos. A: Appl. Sci. Manuf.*, **36**, 1110-1118(2005).
15. P. H. Kang, J. P. Jeun, B. Y. Chung, J. S. Kim, and Y. C. Nho, Preparation and Characterization of Glycidyl Methacrylate (GMA) Grafted Kapok Fiber by Using Radiation Induced-grafting Technique, *L. Ind. Eng. Chem.*, **13**, 956-958(2007).
16. M. O. Adebajo and R. L. Frost, Infra-red and <sup>13</sup>C MAS Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopic Study of Acetylation of Cotton, *Spectrochim. Acta A*, **60**, 449-453(2004).
17. B. R. Li, "Encyclopedia Textile", Encyclopedia of China Publishing House, Beijing, China, p.195, 1984.
18. R. D. Gilbert, "Cellulosic Polymers, Blends and Composites", Hanser Publishers, Munich Vienna New York, pp.4-5, 1995.