

## 국내산 Kenaf 이용에 관한 연구 (제2보)

– Kenaf TMP와 KP의 물리적 성질 –

이명구<sup>†</sup> · 윤승락<sup>\*1</sup>

(2007년 8월 30일 접수:2007년 10월 26일 채택)

## Utilization of Kenaf Cultivated in Korea ( II )

–Physical properties of kenaf TMP and KP–

Myoung-Ku Lee<sup>†</sup> and Seung-Lak Yoon<sup>\*1</sup>

(Received August 30, 2007: Accepted October 26, 2007)

### ABSTRACT

Whole, bast and core fibers of kenaf cultivar Tainung-2 were pulped under different pulping methods, thermomechanical and kraft pulping methods. The physical and optical properties of kenaf TMP(thermomechanical pulp) and KP(kraft pulp) handsheets were investigated and the results from the study are summarized as follows: Yields of TMP and KP were 77 ~ 87% and 43 ~ 52%, respectively. There was no significant change in apparent density between kenaf KP and USKP(unbleached softwood kraft pulp) but TMP showed a little lower apparent density. Bast pulp had the lowest apparent density regardless of pulping methods. Tensile strength of kenaf KP was higher than that of TMP but similar to that of USKP. Both TMP and KP handsheets of bast fraction showed the highest tear strengths among whole, bast, and core fractions. Core fraction showed the lowest tear strengths under different pulping methods. In general burst strength of kenaf pulp under different pulping methods was lower than that of USKP, and kenaf pulp had better stiffness than USKP. Brightness of kenaf KP and TMP was higher than that of USKP. There was no significant variation in opacity between kenaf pulp and USKP even though kenaf pulp showed a little lower opacity. The main difference in paper quality between the core fiber and bast fiber is derived from the fact that bast fiber is long and thin, whereas core fiber is short and thick.

**Keywords** : kenaf, kraft pulping, TMP, physical properties, optical properties

• 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea).

\*1 진주산업대학교 인테리어재료공학과(Dept. of Interior Materials Engineering, Jinju National University, 660-758, Korea)

† 주저자(Corresponding author): E-mail: mklee@kangwon.ac.kr

## 1. 서론

인터넷을 이용한 정보매체의 전달로 인하여 종이의 사용량이 감소할 것이라는 전망과는 다르게 인구 증가 및 경제성장으로 인하여 종이의 생산 및 사용량은 계속 증가하고 있다. 나무를 주원료로 사용하는 펄프·제지산업은 산림의 황폐화로 인해 점점 많은 제약을 받고 있다. 폐지의 재활용도 한계점이 있는 관계로 많은 제지업체에서 원료수급을 위하여 노력을 기울이고 있지만 펄프·제지용 원료 부족은 심화<sup>1)</sup>되고 있다. 제지 업계에서는 그 동안 목재 펄프를 대체하기 위하여 bagasse, cotton, straw, reed, bamboo, 옥수수대, kenaf 등 여러 비목재 작물들을 대상으로 활발히 연구<sup>2)</sup>하였다. 오늘날 온실가스로 인한 지구온난화와 '교토의정서' 채택 등 국제정세를 고려할 때 kenaf는 종이원료 수급에서 새로운 가능성을 제시하는 작물<sup>3)</sup>이라 할 수 있다. Kenaf는 광합성 작용이 활발하며 성장이 빠르다는 특징과 종이의 원료가 될 수 있다는 점에서 대체자원으로 주목받고 있다.

Kenaf는 서아프리카가 원산지로 오늘날 kenaf가 제지용 원료로 개발되기 시작한 것은 미국농무성이 농산물의 용도를 공업용으로 바꾸고자 시도한 20여년의 연구 성과이다. 이 연구에서 지구상의 500여종의 식물 중에서 성장이 가장 빠르고 섬유질이 풍부한 식물로 kenaf를 선정<sup>4-8)</sup>하였다. Kenaf는 크게 bast와 core 부위로 구별되며 중량 비율은 4:6 정도이다. 성장속도는 파종 후 4~5개월 정도 만에 4~5 m 정도 까지 성장하며, 가장 성장이 왕성할 때는 1일에 10 cm까지 성장하는 것으로 알려져 있다. 줄기의 굵기는 하부의 직경이 3~4 cm 정도에서 굵은 것은 10 cm 까지 조절 가능<sup>9,10)</sup>하다. Kenaf의 성장속도가 빠른 것은 광합성 속도가 빠르기 때문인데 이는 곧 일반 식물보다 이산화탄소를 많이 흡수함을 의미한다. Kenaf의 광합성 속도는 팽나무의 5배, 노송나무의 2.5배 정도 빠르며 산림의 평균 광합성 속도에 비해 40배 정도 빠르다는 연구 결과<sup>11-13)</sup>가 있다.

미국이나 일본과 같은 제지선진국에서는 kenaf가 환경보호와 제지 원료수급이라는 두 가지 목적을 달성할 수 있으므로 kenaf bast와 core섬유의 장점을 살린 제품들을 다수 개발하였다. 또한 인쇄필기 용지, 복사용지, 명함지, 각종봉투 쇼핑백, 휴지, 냅킨 등 다양한 제품들이 비목재 펄프로 제조되었다는 인증 마크가 부착

되어 시중에서 유통되고 있다.

우리나라는 세계 10위권의 제지생산량을 가진 국가이지만 종이제품의 원료가 되는 목재펄프의 80% 이상을 외국에서 수입하고 있음에도 불구하고 이러한 목재펄프를 대체할 수 있는 비목재 펄프 개발에 대한 연구가 부족한 실정<sup>14)</sup>이다. 국내 제지산업의 미래를 준비하여 종이원료의 확보와, 또한 산림파괴의 속도를 지연시키기 위한 대책으로 비목재 작물에 대하여 관심이 필요하다.

전보<sup>14)</sup>에서는 국내에서 kenaf의 재배, 생장 특성 및 효율적 이용을 위한 기초 자료를 얻고자 Tainung-2를 재배하였다. 근원경과 길이를 조사하여 생장량 및 건물량을 구명하였고, 시비 조건과 bast와 core 부분의 해부학적 성질에 대하여 구명하였다.

본 연구에서는 환경 친화적이며 목재펄프와 유사한 특성을 지닌 kenaf를 고수율 펄프인 열기계펄프화법(TMP)와 kraft 펄프화법(KP)으로 펄프를 제조 후 종이의 물성을 비교하여 적용 가능성을 확인하고 펄프·제지 관련 기술을 확보함으로써 국내 제지산업 발전의 기초 자료로 사용하고자 본 실험을 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

Kenaf 재배품종은 미국의 Wisconsin주의 Madison에 위치한 미국 농업연구소(USDA, U.S Department of Agriculture)로부터 분양받은 Tainung-2로 전라북도 부안군 계화면 간척지(E126° 44'41.4", N35° 46'38.1")에 2005년 5월14일 파종 후 10월13일 수확하였다. 수확한 kenaf는 향온·향습실에서 건조하였으며 bast, core, 그리고 whole로 분리하여 사용하였다. 또한 kenaf 펄프와 종이의 물성을 비교하기 위하여 USKP (unbleached softwood kraft pulp, 미표백 침엽수 크라프트 펄프)를 사용하였다.

### 2.2 실험 방법

#### 2.2.1 Kenaf 화학성분 분석

Kenaf의 bast, core, 그리고 whole 부위별로 구성되어 있는 성분을 분석하기 위하여 각 부위별로 40-60

**Table 1. Kraft pulping condition**

Active alkali(g/L)	Sulfidity (%)	Cooking temperature(°C)	Time to cooking temperature(min.)	Cooking time(min.)	Liquor to kenaf ratio
18	20	160	60	30	10:1

mesh 크기의 wood meal을 제조하여 열수추출물은 TAPPI method T 207 om-88, 알코올-벤젠 추출물은 TAPPI method T 204 om-88, 전섬유소는 TAPPI method T 17 m-55, α-cellulose는 TAPPI method T 203 om-88, 리그닌은 TAPPI method T 222 om-88, 회분은 TAPPI method T 211 om-85에 의하여 실험 분석하였다.

### 2.2.2 Kraft pulp 제조

KP(kraft pulp)는 kenaf를 bast, core 그리고 whole 부위별로 단속식 digester로 증해하여 제조하였다. 약품의 액비는 10 : 1 이었으며 침가량과 증해 조건은 Table 1과 같다. 최고온도는 160°C, 최고온도 도달시간은 60분, 최고온도 유지 시간은 30분이었다.

### 2.2.3 Thermomechanical pulp 제조

TMP(thermomechanical pulp, 열기계펄프)는 Fig. 1의 defibrator를 이용하여 제조하였다. Kenaf를 bast, core, 그리고 whole로 나누어 chip을 제조한 후 3 : 1의 비율로 물에 함침 하였다. 24시간 침지시킨 chip을 defibrator에 투입 후 130°C에서 4분간 예열한 후 3분간 해섬하여 TMP를 제조하였다.

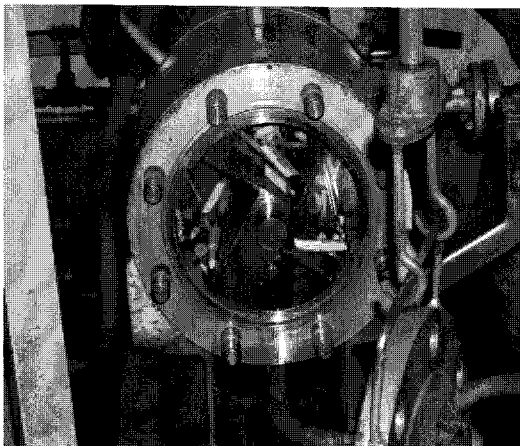


Fig. 1. Defibrator used in TMP preparation.

### 2.2.4 펄프의 고해

Kenaf KP와 TMP의 여수도를 균일하게 하기 위하여 고해를 실시하였다. KP의 경우 T200 sp-96의 방법으로 Valley beater를 이용하여 고해하였다. TMP는 T248 cm-85 방법으로 PFI mill을 이용하여 고해하였으며 펄프의 농도는 30%, clearance는 0.3 mm로 고정하였다. 여수도는 T227 om-94 방법으로 CSF(Canadian Standard Freeness)를 이용하여 300±10 mL로 조절하였다.

### 2.2.5 종이의 제조

Kenaf의 KP와 TMP의 종이는 TAPPI standard method T205sp-95의 방법으로 평량 60 g/m<sup>2</sup>의 원형수 초지를 제조하였다.

### 2.2.6 종이의 물리적 성질

종이 두께를 측정 후 TAPPI standard T411 om-89 방법으로 겉보기 밀도 및 bulk를 측정하였다. 종이의 물리적 성질은 TAPPI standard method로 인장강도(T494 om-88), 인열강도(T414 om-88), 파열강도(T403 om-91), stiffness(T489 om-92), formation index를 측정하였다.

### 2.2.7 종이의 광학적 성질

종이의 광학적 성질은 Elrepho 3000을 이용하여 TAPPI standard method로 brightness(T452 om-98)와 opacity(T425 om-96)를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Kenaf 화학성분

Table 2는 kenaf의 bast, whole, core의 구성성분을 나타낸 것이다. 열수 추출물은 whole이 11.7%이고 core(9.7%)보다 bast(13.9%) 부위가 약간 높았다. 알코

**Table 2. Chemical composition of kenaf**

Kenaf	Hot-water extractives(%)	Alcohol-benzene extractives(%)	Holocellulose (%)	$\alpha$ -cellulose (%)	Lignin (%)	Ash (%)
Whole	11.7	1.9	77.6	40.9	15.3	5.04
Bast	13.9	2.4	79.7	55.1	11.0	6.58
Core	9.7	1.7	75.7	37.4	18.3	4.09

을-벤젠 추출물은 열수추출물의 경우와 같이 bast가 2.4%로 가장 높았으나 whole과 core는 커다란 차이가 없었다.

전섬유소는 whole이 약 78%이고 core보다 bast 부위가 약간 높았다. 섬유소 중의  $\alpha$ -cellulose는 whole이 약 41%이고 bast보다 core 부위가 약간 높았다. 리그닌은 whole이 약 15%이고 core 부위가 bast 부위 보다 높았다. 회분은 약 5%이고 core보다 bast 부위가 높았다. 일반적으로 kenaf의 core와 bast를 구성하는 화학성분이 매우 차이가 있음을 알 수 있었다.

Ohtani 등<sup>15)</sup>은 kenaf 구성 성분의 전섬유소는 bast가 79.6%, core가 77.6%이고, 리그닌은 bast 9.2%, core 19.0%이고, 열수 추출물은 bast 15.9%, core 7.5%라고 보고하였다.

### 3.2 펄프 수율

Table 3은 KP와 TMP 부위별 수율을 나타낸 결과이다. Kenaf의 KP와 TMP 모두 core보다 bast의 수율이 높았다. Whole은 core의 수율과 bast 수율의 중간이었다. TMP whole의 수율은 약 77~87%의 수준이며, KP는 약 43~52% 범위였다. 각 부위에 포함되어 있는 구성성분의 양이 펄프 수율에 직접적인 영향을 미친 것으로 사료된다.

Kenaf TMP의 수율은 침엽수 TMP의 수율 96.0%, CTMP의 수율 87.3%<sup>16)</sup>에 비하여 매우 낮았으며, 이러한 차이는 Table 2의 결과와 같이 열수 추출물 함량과 xylose의 함량<sup>15)</sup>이 높기 때문에 TMP 제조 시 열분해되어 추출된 것으로 사료된다.

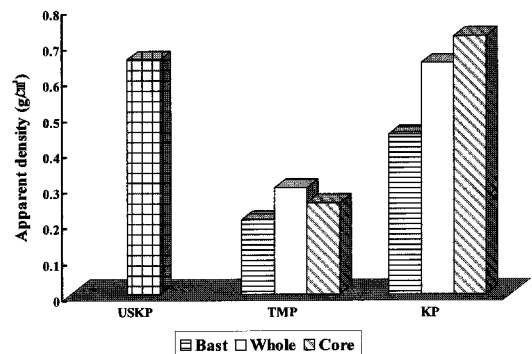
Sabharwal 등<sup>17)</sup>은 황마의 RMP 수율이 95%라고 보

고하였다. 열처리와 함께 펄프화 되는 kenaf TMP의 수율이 약 77~87%의 수준인 것은 열에 의해 분해되는 성분이 많다고 추정되고 있다.

### 3.3 겉보기 밀도

Fig. 2와 Fig. 3은 kenaf의 bast, core, whole 부위의 KP와 TMP의 겉보기 밀도와 bulk도를 나타낸 결과이다.

종이의 겉보기 밀도는 종이의 가장 중요한 물리적 특성 중 하나로 종이의 투기성, 물리적 강도, 광학적 성질 등에 영향을 미치며 섬유의 고해 정도와 유연성에 영향을 받는다. 겉보기 밀도와 bulk는 반비례 관계로 상반되는 그래프를 나타낸다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 bast의 경우 pulping 방법에 관계없이 밀도가 가장 낮게 나타났는데, 이는 섬유장의 길이에 의한 것으로 bast 섬유가 core 섬유보다 장섬유이기 때문에 bast 섬유로 수조된 종이의 두께 및 bulk도의 증가에 기인한 것으로 사료된다.

**Fig. 2. Apparent density of kenaf handsheet.****Table 3. Yield of kenaf TMP and KP**

Pulp	TMP			KP		
	Whole	Bast	Core	Whole	Bast	Core
Yield(%)	82.6	77.0	87.0	47.2	51.8	43.4

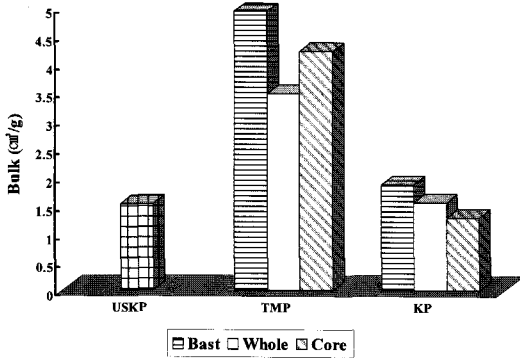


Fig. 3. Bulk of kenaf handsheet.

일반적으로 KP의 겉보기 밀도가 TMP보다 높게 나타나는 것은 KP 섬유의 표면은 매끄러운데 반하여, TMP 섬유 표면은 세포간층 및 옆 섬유의 1차벽 등이 부착<sup>18)</sup>되어 있어 섬유의 부피가 크기 때문으로 사료된다.

### 3.4 Formation index

Formation index는 Fig. 4에서 알 수 있듯이 core로 제조한 종이 가장 높은 수치를 나타내었는데 이는 core 섬유가 bast 섬유보다 짧기 때문에 섬유의 분산이 잘 이루어 젖고 감소된 공극이 높은 수치에 기인한 것으로 사료된다. 일반적으로 kenaf 펄프의 formation이 우수하였는데 이는 고해 과정에서 생성된 미세섬유에 의한 것으로 사료된다.

### 3.5 인장강도

Fig. 5는 KP와 TMP의 인장강도를 나타낸 결과이다.

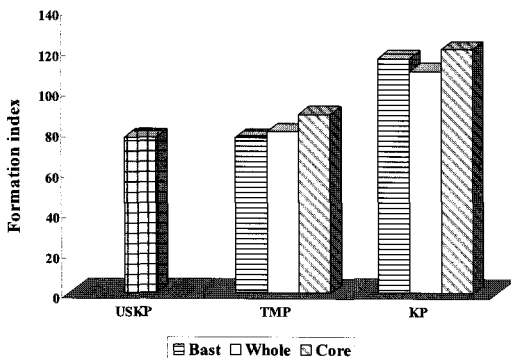


Fig. 4. Formation index of kenaf handsheet.

고해 또는 리파이닝의 증가, 장섬유 함량, 평량 등의 요인이 인장강도의 상승을 유발한다. Kenaf KP의 경우 TMP보다 인장강도가 높게 나타났으며 이러한 결과는 KP 섬유는 펄프 제조과정에서 섬유의 손상이 일어나지 않지만, TMP의 경우는 일반적으로 세포벽이 파괴<sup>18)</sup>된다. 이러한 결과로 TMP 섬유의 강도가 KP 섬유보다 약하게 나타난다.

Kraft 펄프는 USKP와 유사하거나 우수한 강도를 나타내었다. KP에서 whole이 가장 높은 강도를 나타낸 것은 장섬유와 단섬유의 혼합으로 인하여 형성된 보다 강한 결합이 인장강도의 상승을 유발한 것으로 사료된다. KP의 core가 bast보다 인장강도 우수한 것은 kenaf 각 부위별 성분이 다름에도 불구하고 동일한 조건에서 펄프화가 이루어졌기 때문으로 사료된다. Bast의 리그닌 함량이 core보다 낮는데 비하여 펙틴의 함량은 일반적으로 높는데 과다 증해로 인하여 각 섬유를 연결하는 펙틴 성분의 용출되어 섬유의 강도적 성질이 저하된 것으로 추정된다.

### 3.6 인열강도

인열강도는 Fig. 6에서와 같이 TMP와 KP 모든 경우에 bast로 제조한 종이 가장 높게 나타났고, core는 두 가지 pulping 방법에서 가장 낮은 수치를 나타내었다. 인열강도는 섬유간 결합정도 및 섬유의 길이가 증가할수록 함께 증가하기 때문에 장섬유인 bast에서 높은 인열강도를 나타내었고, 단섬유인 core에서는 가장 낮게 나타난 것을 확인 할 수 있었다.

### 3.7 파열강도

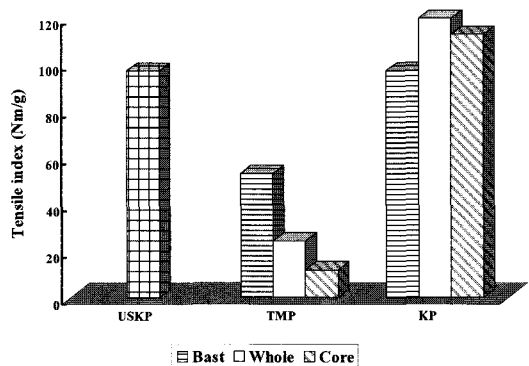


Fig. 5. Tensile index of kenaf handsheet.

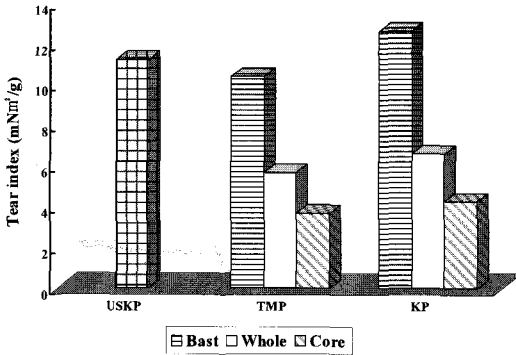


Fig. 6. Tear index of kenaf handsheet.

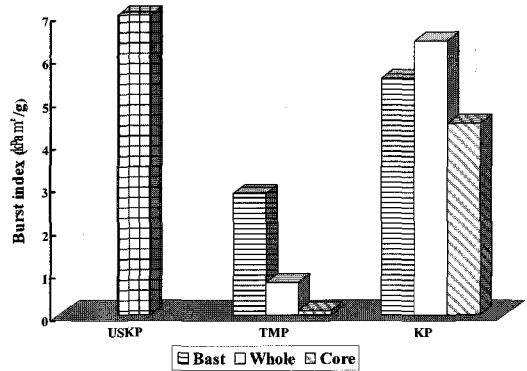


Fig. 7. Burst index of kenaf handsheet.

Fig. 7에서 알 수 있듯이 USKP가 kenaf 펄프보다 파열강도가 높았고, KP가 TMP보다 높은 강도를 나타내고 있다. 이러한 결과는 인장강도에서와 같이 세포벽의 손상 유무가 파열강도의 강약에 크게 관여한다고 사료된다. Kenaf KP의 파열강도는 whole > bast > core 순으로 높게 나타났다. Whole 섬유가 높은 것은 bast의 장섬유와 core의 단섬유가 혼합되어 시트를 형성했기 때문에 시트의 비중이 증가한 것으로 사료된다. KP의 core가 bast보다 파열강도 우수한 것은 인장강도의 경우와 같이 리그닌 함량은 낮지만 펙틴 함량이 높은 bast 부위의 펙틴 성분이 용출되어 섬유의 강도적 성질이 저하된 것으로 추정된다.

### 3.8 Stiffness

Fig. 8은 stiffness를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 두께, 밀도, 평량, 섬유 배향성 등이 stiffness에 영향을

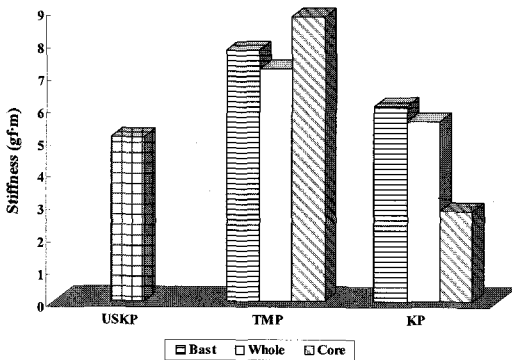


Fig. 8. Stiffness of kenaf handsheet.

미치는데 TMP로 제조한 종이는 core > bast > whole 순으로 높음을 확인할 수 있었으며, KP의 경우는 bast > whole > core 순으로 높은 stiffness가 나타났다. USKP와 비교했을 경우 전체적으로 kenaf 펄프의 stiffness가 더 높았는데 이는 KP의 섬유보다 TMP의 섬유로 제조한 종이가 더 bulky하기 때문으로 사료된다.

### 3.9 광학적 성질

Fig. 9와 Fig. 10은 kenaf의 bast, core, whole 부위의 chip으로 제조한 TMP와 KP로 평량 60g/m<sup>2</sup>의 종이를 제조하여 백색도와 불투명도를 측정된 결과이다.

각 종이의 백색도는 KP가 USKP와 비슷하고, TMP의 백색도는 매우 높았다. TMP가 기계적으로 섬유를 분리하는 반면에 크라프트 펄프화법의 경우 kenaf 내의 리그닌이 pulping되는 과정에서 용출되어 섬유에 착색되었기 때문에 TMP가 KP보다 높은 백색도를 나타

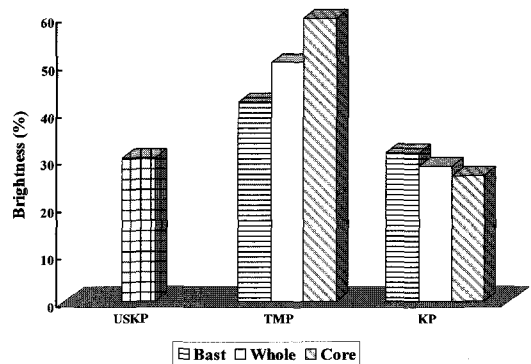


Fig. 9. Brightness of kenaf handsheet.

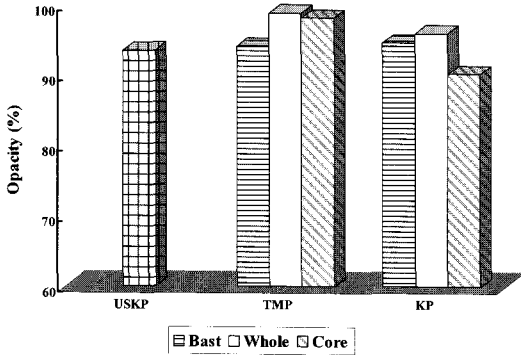


Fig. 10. Opacity of kenaf handsheet.

낸 것으로 보인다. TMP의 백색도는 core > whole > bast의 순으로 높게 나타났으나, KP에서는 TMP와 반대로 bast > whole > core 순으로 높았지만 KP의 경우는 TMP의 경우보다 차이가 크지 않았다. 부위별로 백색도가 다른 것은 그 부위의 화학 조성에 큰 영향을 받은 것으로 생각된다. 불투명도는 KP와 TMP 모두 USKP보다 낮게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. TMP 경우 부위별에 따라서 whole > core > bast 순으로 나타났으며 KP는 whole > bast > core 순으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 목재 펄프를 대체 할 수 있는 비목재 원료중 하나인 kenaf를 kraft pulping과 thermomechanical pulping을 실시한 후, 수초지를 제작하여 물리적 성질과 광학적 성질을 측정 한 결과는 다음과 같다.

Kenaf TMP의 수율이 낮은 것은 열분해 추출되는 성분이 많기 때문으로 추정된다.

겉보기 밀도는 USKP와 비교하여 kenaf KP는 비슷하였으나 TMP는 낮은 수치를 나타내었다. Bast의 경우 pulping 방법에 관계없이 가장 낮은 밀도를 나타내었다.

인장강도의 경우 kenaf KP는 TMP에 비하여 높은 수치를 나타내었으며 USKP와 비슷한 강도를 나타냈다. 인열강도는 TMP와 KP 모두 bast 섬유에서 가장 높게 나타났다. Core의 경우 두 가지 pulping 방법에서 모두 가장 낮은 값을 나타냈다. 파열강도의 경우 USKP가 kenaf 펄프보다 전반적으로 우수한 파열강도를 나타내

었고 stiffness는 USKP와 비교하여 전체적으로 kenaf 펄프가 더 높은 stiffness를 나타내었다.

광학적 성질에서는 kenaf 펄프가 KP와 TMP에서 모두 USKP 보다 높은 백색도를 나타내었고, 불투명도는 kenaf 펄프가 USKP 보다 낮게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다.

#### 인용문헌

- Andrew, F. K., Kenaf an alternate fiber for the pulp and paper industries in developing and developed countries, TAPPI J. 75(10):141-145(1992).
- Nieschlag, H. J., Nelson, G. H., Wolff, I. A., and Perdue, R. E. Jr., A search for new fiber crops. TAPPI J. 43(3):193-200(1960).
- Bowyer, J. L., Economic and environmental comparisons of kenaf growth versus plantation grown softwood and hardwood for pulp and paper, Kenaf properties, processing and products, pp.323-346(1999).
- Clark, T. F., Cunningham, R. L., and Wolff, I. A., A search for new fiber crops, TAPPI J. 54(1):63-65 (1971).
- Hovermale, C. H., Effect of row width and nitrogen rate on biomass yield of kenaf, Proc. Fourth Int. Kenaf Crop., Int. Kenaf Assoc. Ladonia, TX:35-40 (1993).
- Morimoto, M. K., Eco-pulping of kenaf fiber, J. Japan TAPPI, 45(5):49-53(2002).
- Tanaka, N., Kuraye, T., Kayanuma, H., and Yokoyama, H., Use and research of kenaf as a paper-making material, Annals of the High Performance Paper Society, 33:48-54(1994).
- Morimoto, M. K., Utilization of nonwood plant fibers for pulping-The status quo and future, J. Japan TAPPI, 51(6):65-84(1997).
- Rogerm, R., and Han, James. S., Change in kenaf properties and chemistry and a function of growing time, Kenaf properties, processing and products, pp.33-41 (1999).
- Bagby, M. O., Kenaf, a practical fiber resources. TAPPI Nonwood plant fiber pulping. Progress Report : 75-80(1977).
- Pearson, J. A. and S. Bonvicini, Commercial applications of kenaf in petrochemical industries, Environmentally responsible solutions, Kenaf prop-

- erties, processing and products, pp.435-443(1999).
12. Cleveland, T. G., Rixey, W. G., Tiller, F. M., Varghese, B. K., and Liu, H., Kenaf as an absorbent, a body-feed filter aid, and coalescence aid, Kenaf properties, processing and products, pp. 455-470 (1999).
  13. Kaldor, A. F., Karlgren, C., and Verwest, H., Kenaf a fast growing fiber source for papermaking, TAPPI J. 73(11):205-209(1990).
  14. Lee, M. K., and Yoon, S. L., Utilization of kenaf cultivated in Korea(1), J. Korea TAPPI 35(4):68-74 (2003).
  15. Ohtani, Y., Mazumder, B. B., and Sameshima, K., Influence of the chemical composition of kenaf bast and core on the alkaline pulping response, J Wood Sci. 47:30-35(2001).
  16. Yoon, S. L., and Kojima, Y., The Beating properties of high yield pulp treated ozone(Part 1) -Fiber length distribution of ozonation pulp for beating-. Mokchae Konhak 25(2):75-80(1997).
  17. Sabharwal H. S., Akhter M., Blanchette R. A. and Young R. A., Refiner mechanical and biomechanical pulping of just. Holzforschung 49(6):537-544(1995).
  18. Yoon, S. L. and Kojima Y., Relationships between the ligni distribution on the high yield pulp fiber and the physical properties. J. Korea TAPPI 25(1):34-41 (1993).