

고해에 따른 kenaf kraft pulp의 물리적 성질

김민중¹⁾ · 윤승락²⁾ · 이명구¹⁾

강원대학교 제지공학과¹⁾, 진주산업대학교 인테리어재료공학과²⁾

1. 서론

펄프·제지산업은 종이의 재활용이 가능하고 친환경적인 장점이 있지만 종이 소비량의 증가로 인한 원료 확보는 산림 벌채의 규제강화, 이산화탄소 배출량의 감소 정책, 환경단체의 원시림 벌목에 대한 압박으로 인하여 점점 더 어려워 질 전망이다. 펄프·제지원료를 지속적으로 확보하기 위한 방안으로 종이 제조에 적합한 수종을 조립하는 방법과 폐지의 재활용을 높이는 방법이 있지만 조립사업에는 장시간의 재배기간이 필요하며 폐지의 재활용 또한 한계점이 있기 마련이다. 산림을 보호 하면서 종이 품질의 저하 없이 원료 확보를 위한 노력은 비목재 섬유에 대한 관심을 갖도록 하였다.

비목재 섬유가 종이 원료로 사용되기 위해서는 현재 사용되고 있는 목재섬유와 비교했을 경우 유사한 강도적 특성, 광학적 특성 및 표면 특성을 제공해야 하는 전제 조건이 필요하다. 우리나라는 세계 8위권의 종이생산량을 가진 국가이지만 종이제품의 원료가 되는 목재펄프는 80% 이상을 해외에서 수입하고 있다. 그럼에도 불구하고 목재펄프를 대체할 수 있는 비목재 펄프 개발에 대한 관심이 부족한 실정이기 때문에 산림의 보호와 국내 제지산업의 미래를 준비하기 위한 종이용료에 대한 대책으로 비목재 식물에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 목재의 대체 자원으로서 여러 장점을 지니는 kenaf를 국내에서 재배하여 우수한 강도를 나타내는 KP(크라프트 펄프)로 제조하였다. 이후 SwKP(침엽수 크라프트 펄프)와 물리적 성질을 비교함으로써 국내산 kenaf의 종이 제조 가능성을 확인하고 펄프·제지 관련 기술을 확보하여 국내 제지산업 발전의 기초자료로 사용하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

Kenaf 시료는 미국 농업연구소(USDA : U.S Department of Agriculture)로부터 분양 받은 Tainung-2를 전라북도 부안군 계화면 간척지(E126° 44'41.4", N35°46'38.1")에서

150일간 재배한 것을 사용 하였고, 동해펄프에서 생산된 SwUKP(softwood unbleached kraft pulp : 미표백 침엽수 크라프트 펄프)를 사용하여 kenaf 펄프와 비교하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 Kenaf KP(Kraft pulp) 제조

Kenaf를 bast, core, whole 부위별로 각각 칩으로 제조한 후 Table 1.의 조건으로 단속식 증해기에서 KP로 제조하였다.

Table 1. Kraft pulping condition of kenaf

| Active alkali (g/L) | Sulfidity (%) | Cooking temperature (°C) | Time to cooking temperature(min.) | Cooking time (min.) | Liquid to kenaf ratio |
|---------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 18 | 22 | 160 | 60 | 30 | 10 : 1 |

2.2.2 섬유 특성

펄프의 섬유특성은 MORFI LB-01 Fiber Size Analyzer (Techpap INC., France)를 사용하여 전건 2g의 펄프를 해리시켜 섬유장, 미세섬유 함량, coarseness, curl index항목을 측정하였고, MORFI Cell Wall Thickness Measurement(Techpap INC., France)로 각 시료의 섬유벽 두께를 측정하였다.

2.2.3 고해 및 수초지 제조

Kenaf 펄프는 Tappi standard T 200 sp-96의 방법으로 valley beater를 이용하여 고해하였고 여수도는 각 조건별로 CSF (Canadian Standard Freeness)500, 400, 300ml로 조절하였다. Core 섬유는 미고해시 여수도가 290ml을 나타내어 고해처리를 하지 않았다. 고해한 펄프는 60g/m²의 원형 수초지를 제조하였다.

2.2.4 물리적 특성 평가

종이의 물리적 특성은 TAPPI standard로 인장강도(T 494 om-88), 인열강도(T 414 om-88), 파열강도(T 403 om-91), 겉보기 밀도 및 bulk(T 411 om-89), 제로스팬 인장지수를 측정하였다. 거칠음도(T 538 om-96)는 L&W PPS를 사용하여 측정하였고 투기도(T 251 wd-96)는 Gurly densometer를 이용하여 내통의 하강율을 10ml로 하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 섬유 특성

Table 2.는 kenaf KP의 섬유 특성을 검토하기 위하여 MORFI LB-01 Fiber Size Analyzer(Techpap INC., France)로 분석한 결과이다.

Table 2. Fiber characteristics of kenaf pulp

| Sample | Fine(%) | Avg. Fiber length(mm) | Coarseness (mg/m) | Curl index |
|--------|---------|-----------------------|----------------------|---------------|
| Bast | 1.764 | 1.902 | 0.1551 | 0.213 |
| Core | 13.358 | 0.489 | 0.0811 | 0.087 |
| Whole | 8.981 | 0.983 | 0.1241 | 0.094 |
| SwUKP | 2.436 | 2.039 | 0.2989 | 0.135 |
| HwKP | 12.074 | 0.662 | 0.1226 | 0.088 |

미세섬유는 bast에서 가장 낮았고 core에서 가장 높은 비율을 나타내었으며 평균 섬유장은 bast에서 가장 길고 core는 가장 짧은 섬유장을 나타내었다. 목재섬유와 비교해서 bast는 침엽수 섬유와 유사하였고 core 섬유는 활엽수 보다 짧은 섬유장을 나타내었다. Kenaf의 coarseness와 curl index는 bast에서 가장 크게 나타났으며 core에서 가장 낮게 나타났다.

Table 3. Cell wall thickness of each fraction and KP

| | D(μ m) | Cell wall thickness(μ m) | L(μ m) | Runkel ratio |
|-------|-------------|-------------------------------|-------------|--------------|
| Bast | 17.6 | 5.2 | 7.2 | 1.444 |
| Core | 27.6 | 3.77 | 20.06 | 0.376 |
| SwUKP | 30.9 | 4.33 | 22.24 | 0.390 |
| NBKP | 30.1 | 4.41 | 21.28 | 0.414 |
| LBKP | 16.6 | 4.12 | 8.36 | 0.986 |

Table 3.은 MORFI Cell Wall Thickness Measurement(Techpap INC., France)로 측정한 각 시료의 섬유폭 및 섬유벽 두께를 나타낸 것이다. Kenaf core의 섬유폭이 bast보다 두꺼웠으며 침엽수 섬유폭이 kenaf 섬유폭 보다 큰 것을 알 수 있다. Bast와 활엽수의 섬유폭 차이는 크지 않았다. 섬유벽은 bast가 평균 5.2 μ m 로 가장 두꺼웠으며 침엽수 및 활엽수보다 두꺼운 섬유벽을 나타내었다. Core는 평균 3.77 μ m로 가장 얇은 섬유벽을 나타내었다. Bast 섬유의 runkel ratio 값이 높은 것으로 보아 core나 다른 목재섬유보다 섬유폭 대비 섬유벽의 두께가 크다는 것을 알 수 있었다.

3.2 섬유장 분포

Kenaf 부위별(bast, core, whole) 섬유 분포를 측정한 결과는 Fig. 1,2,3과 같다. Core 섬유는 약 0.3-1.0mm(단섬유) 크기의 섬유분포가 bast 섬유의 보다 높은 반면에, 1.0-3.0mm(장섬유) 크기의 섬유는 낮은 분포를 나타내었다. Whole 섬유의 분포는 core 섬유의 분포와 bast 섬유의 분포의 중간 수치의 경향을 보이고 있다.

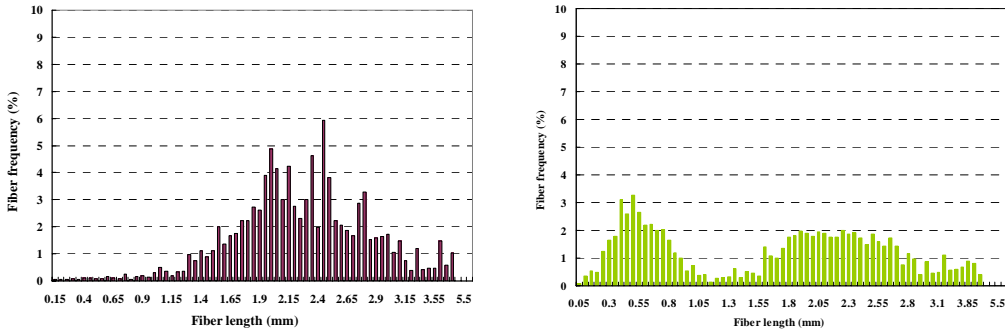


Fig. 1. Fiber length distribution of bast fiber. Fig. 2. Fiber length distribution of whole fiber.

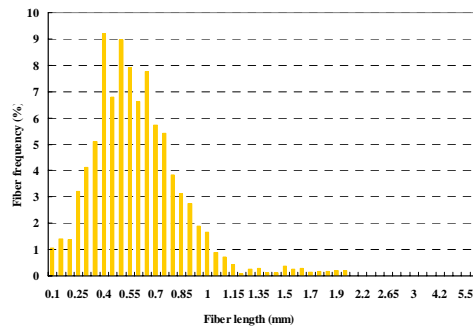


Fig. 3. Fiber length distribution of core fiber.

3.3 섬유장 및 섬유벽과 coarseness의 상관관계

Fig. 4과 5에서 kenaf 부위별 섬유길이 및 섬유벽 두께와 coarseness와의 상관관계를 검토하였다. Kenaf의 부위별 coarseness는 bast 섬유가 core 섬유보다 높게 나타났고 whole 섬유는 bast와 core 섬유의 중간 값을 나타내었다. 섬유장이 길어지고 섬유벽이 두꺼워 질수록 coarseness가 증가하는 경향을 보였다. Bast의 섬유벽이 침엽수보다 두 겹지만 낮은 coarseness를 나타낸 이유는 침엽수의 섬유폭이 bast에 비하여 약 40% 정도 더 크기 때문이다.

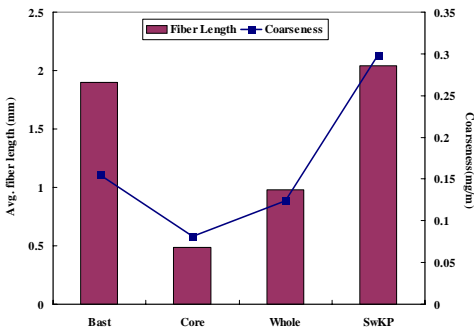


Fig. 4. Relationship between fiber length and coarseness of kenaf.

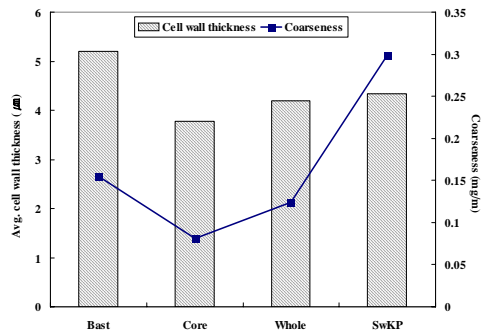


Fig. 5. Relationship between cell wall thickness and coarseness of kenaf.

3.4 물리적 특성

Fig. 6에서 고해도가 증가할수록 겉보기 밀도가 높아지는 것을 알 수 있으며 kenaf 종이의 겉보기 밀도는 $bast < whole < core$ 의 순서였다. Core의 겉보기 밀도가 가장 높은 이유는 평균 섬유길이 0.5mm 이하의 단섬유로서 높은 미세섬유 함량이 종이 제조 시 공극이 적고 치밀한 구조를 만들기 때문으로 사료된다. Fig. 7의 bulk는 겉보기 밀도와 상반되는 경향을 보인다. Kenaf 종이의 bulk는 bast에서 가장 높게 나타났으며 고해도가 증가할수록 감소하는 추세를 보였다. Kenaf bast는 curl index가 높고 섬유벽이 두꺼워 강직한 섬유 특성을 나타내기 때문에 종이 제조 시 높은 bulk를 보인 것으로 사료된다. Core는 단섬유로 인한 치밀한 구조로 인하여 낮은 bulk를 나타내었으며 whole는 bast와 core의 중간의 값을 나타내었다.

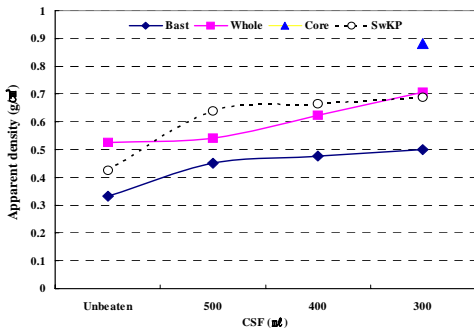


Fig. 6. Apparent density of kenaf handsheet.

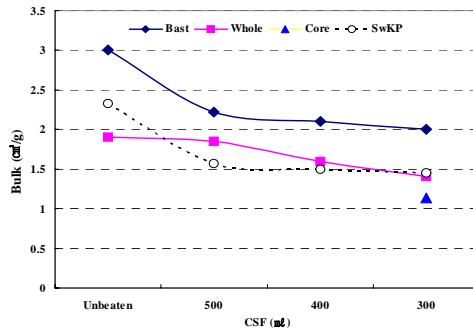


Fig. 7. Bulk of kenaf handsheet.

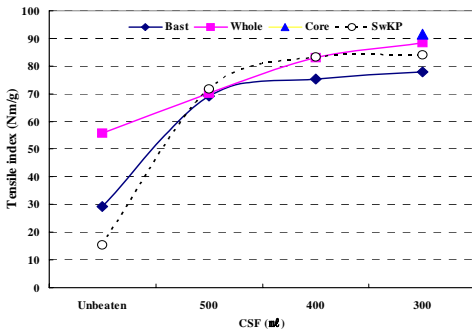


Fig. 8. Tensile index of kenaf handsheet.

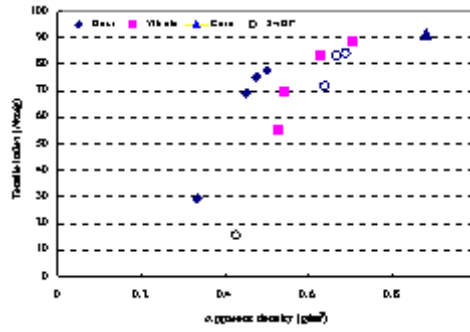


Fig. 9. Variation of tensile index as a function of apparent density.

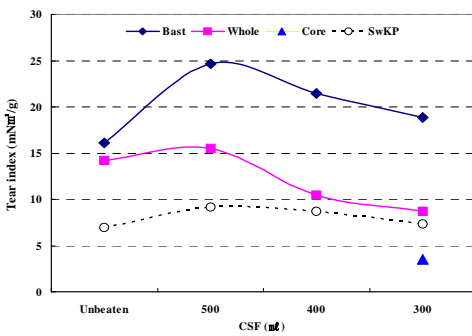


Fig. 10. Tear index of kenaf handsheet.

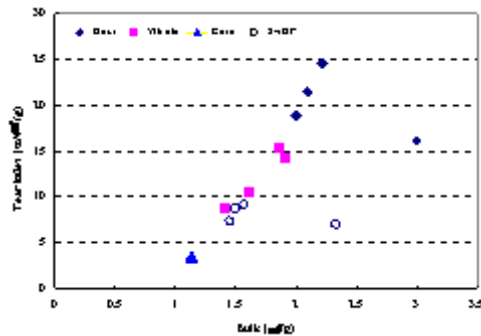


Fig. 11. Variation of tear index as a function of bulk.

Fig. 8 은 고해별로 제조한 수초지의 인장강도를 평량으로 보정하여 인장지수로 환산한 것이다. Kenaf의 bast는 장섬유를 core는 단섬유를 나타내지만 kenaf의 인장강도는 bast<whole<core의 순으로 나타내었다. Core의 섬유장이 bast보다 짧지만 높은 인장강도를 나타낸 것은 겉보기 밀도가 높아서 섬유간 결합력이 강하기 때문이며 whole 역시 단섬유의 비율이 많기 높은 겉보기 밀도를 나타내었기 때문으로 사료된다.

Fig. 9에서 kenaf 종이의 겉보기 밀도와 인장강도와의 상관관계를 살펴보았다. 겉보기 밀도가 증가함에 따라 함께 인장강도가 동반 상승하는 경향을 확인할 수 있었다. 초기 밀도 증가에서는 강도의 급격한 상승이 이루어졌지만 나중에는 상승폭이 완만해졌음을 알 수 있었다.

Fig. 10은 인장강도를 인열지수로 환산한 그래프로서 시편의 일정 길이를 미리 칼날

로 찢어놓은 후 측정하는 내부 인열강도를 측정하였다. 인열강도는 종이 파괴부위에 관여되는 섬유 수, 섬유장, 섬유자체강도, 섬유간 결합 강도 등의 영향을 받는다. Kenaf bast의 인열강도가 가장 우수하였으며 core는 단섬유들의 결합으로 인하여 가장 낮은 강도를 나타내었다. Whole은 bast와 core의 중간의 강도를 나타내었다. Kenaf bast는 섬유장이 가장 길기 때문에 높은 인열강도를 나타낸 것으로 사료된다. Bast와 침엽수의 섬유길이 유사하였지만 bast의 인열강도가 더 높은 이유는 bast의 bulk가 침엽수보다 약 20% 가량 높기 때문이다.

Fig. 11에서 kenaf 종이의 bulk와 인열강도의 상관관계를 살펴보았다. Bulk는 고해도가 증가할수록 감소하는 경향을 보이는데 그래프에서 bulk의 증가는 고해도의 감소를 의미한다. Bulk가 증가할수록 인열강도가 향상되는 것을 알 수 있었다.

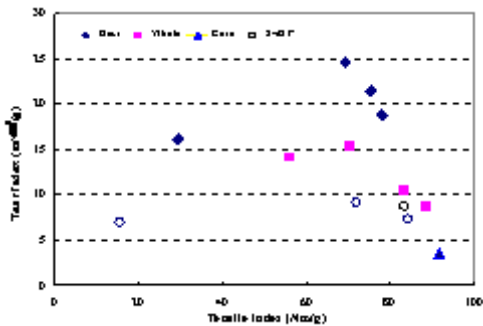


Fig. 12. Variation of tear index as a function of tensile index.

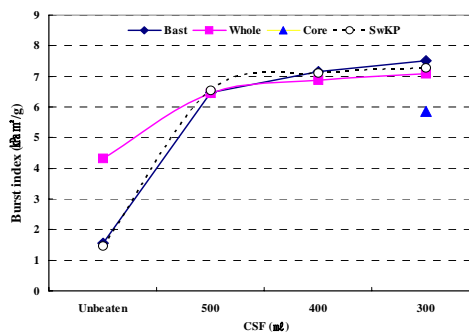


Fig. 13. Burst index of kenaf handsheet.

Fig. 12에서 인장강도와 인열강도의 상관관계를 나타내었다. 초기 고해 단계에서 인장강도와 인열강도가 동반상승하지만 kenaf와 침엽수 모두 인장강도가 증가하면 인열강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

Fig. 13은 각 고해도에 따른 파열강도를 나타낸 것이다. 파열강도는 여수도가 감소할수록 증가하기 때문에 kenaf 종이역시 고해도가 증가할수록 파열강도의 상승이 일어남을 알 수 있었다. 파열강도는 섬유장의 길이에 영향을 받기 때문에 kenaf에서는 core<whole<bast 순서의 강도를 나타내었고 bast, whole 및 침엽수의 강도차이는 크지 않았다.

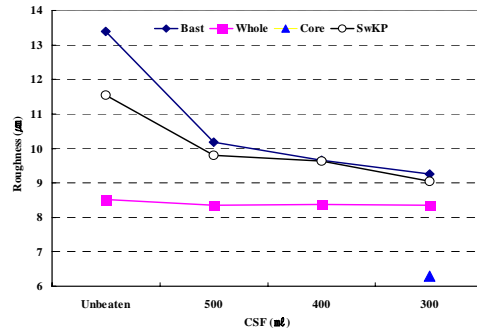
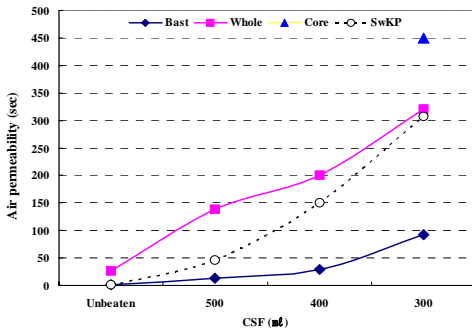


Fig. 14. Air permeability of kenaf handsheet. Fig. 15. Roughness of kenaf handsheet.

Fig. 14은 kenaf 종이의 고해정도에 따른 투기도를 나타낸 것이다. 고해도가 높아질수록 겉보기 밀도가 상승하여 공기통과 시간이 길어지기 때문에 투기도는 감소한다. 각 조건 모두 고해가 진행될수록 공기 통과시간이 급격히 증가하여 투기도가 감소하는 경향을 나타내었다. Kenaf의 투기도는 core<whole<bast의 순서로 나타났다. Bast는 낮은 겉보기 밀도와 작은 섬유폭을 나타내기 때문에 높은 투기도를 요구하는 필터용지나 함침지에 적용할 수 있으며, 강도와 투기도가 같이 요구되는 시멘트 포장지에도 적용이 가능할 것으로 사료된다. Core와 whole은 치밀한 구조를 형성하였기에 낮은 투기도를 나타내었다.

Fig. 15에서 고해도가 증가할수록 거칠음도가 감소하여 평활도가 상승함을 알 수 있다. Kenaf core로 제조한 종이의 거칠음도가 가장 낮기 때문에 가장 높은 평활성을 보인다는 것을 알 수 있으며 단섬유간의 결합이 종이의 표면 특성을 평활하게 하기 때문이다.

Bast 종이는 미고해시 거칠음도가 가장 높게 나타나 평활성이 떨어졌지만 고해도가 증가할수록 거칠음도가 감소하는 것을 알 수 있으며 여수도 400ml과 300ml에서는 침엽수와 유사한 거칠음도를 보였다. Whole은 거칠음도의 변화가 크지 않은 경향을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 비목재 식물인 kenaf의 bast, whole 그리고 core 부위별로 크라프트 펄프(KP)로 제조 후 표백을 실시하여 섬유 특성 및 고해별 물리적 성질을 측정하고 그 결과 다음 결론을 얻을 수 있었다.

펄프의 평균 섬유장은 bast가 침엽수와 유사하였고 core는 활엽수 보다 다소 짧은 섬유장을 보였다. 미세섬유 함량은 bast 1.76%, whole 8.98%, core 13.36%로 bast 펄프의 미세섬유

가 가장 적었고 core는 단섬유로 인하여 미세섬유 함량이 상당히 많은 것을 알 수 있었다.

Coarseness는 core<whole<bast의 순이었고 curl index는 bast가 가장 높았으며 종이의 bulk 향상에 영향을 미쳤다. Runkel ratio는 bast가 가장 높은 값을 나타내어 core 및 다른 목재섬유와 비교하여 섬유폭당 두께가 가장 큰 것을 알 수 있었으며 섬유장과 세포벽의 두께가 커질수록 coarseness가 증가하였다. 인장강도는 bast<whole<core의 순을 나타내었으며 고해도가 상승하고 걸보기 밀도가 증가할수록 인장강도가 증가하는 경향을 보였다. 파열강도는 섬유장의 길이와 고해도의 영향을 받아 core<whole<bast의 순서의 강도를 나타내었다. Bulk는 bast에서 가장 높게 나타났으며 섬유의 강직함과 높은 curl index의 영향을 받은 것을 알 수 있었다. Bulk가 상승할수록 인열강도가 증가하는 경향을 보였으며 bast의 bulk가 가장 높았기 때문에 가장 우수한 인열강도를 나타내었다. Kenaf의 투기도는 core<whole<bast의 순서였고 고해도가 증가할수록 투기도가 떨어지는 경향을 보였다. Bast는 높은 coarseness와 긴 섬유장의 영향으로 높은 투기도를 나타내었다. 고해도가 증가할수록 거칠음도가 감소하는 경향을 보였으며 bast 종이의 거칠음도가 높게 나타나 평활성이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 본 연구를 통하여 국내산 kenaf는 bast가 인장강도를 제외한 강도 특성에서 whole과 core 보다 우수하였고 침엽수와 비교하여도 강도의 큰 차이 없이 양질의 종이를 제조할 수 있음을 확인할 수 있었다.

5. 인 용 문 헌

1. Sabharwal, H. S., Akhtar, M., YU, E., Agostino, D.D., Young, R. A., and Blanchette, R. A., Development of biological pulping processes for non-woody plants., Proceedings of the 6th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry: Advances in Applied and Fundamental Research (1996).
2. 조욱기, 비목재 펄프에 관하여, 펄프·종이기술 3(1):25-31(1971).
3. 원종명, 제지용 원료로서의 비목재 자원, 2005 춘계 학술 논문 발표대회 논문집, 한국 펄프·종이 공학회, 56-67.
4. Rymsza, T. A., Commercial paper making with kenaf, www.visionpaper.com/PDF_speeches_papers/Amsterdam2.pdf.
5. 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).