

펄프·제지용 원료로서의 삼 섬유 이용에 관한 연구(제2보)

–저온 펄프화 삼 섬유의 수초지 특성–

이명구¹ · 김지섭¹ · 윤승락^{2*}

(2011년 12월 1일 접수, 2011년 12월 26일 채택)

Effective Utilization of Hemp Fiber for Pulp and Papermaking(II)

– Characteristics of hemp–wood paper made of hemp fiber cooked
at low temperature –

Myoung-Ku Lee¹, Ji-Seop Kim¹, Seung-Lak Yoon^{2*}

(Received December 1, 2011; Accepted December 26, 2011)

ABSTRACT

Hemp bast pulp cooked at temperature below 100°C followed by defibration by the knife and the valley beater, respectively was mixed with softwood pulp varying the amount of hemp pulp in order to find the optimum condition for making hemp-wood paper. Both the knife and the valley beaters contributed to the dispersion of pulp fiber well. Lots of shives were found when the knife beater was applied exclusively, but the fibers were dispersed well when freeness dropped to 600 mL CSF and 500 mL CSF by the valley beater.

Air resistance decreased drastically below 500 mL CSF where rapid disruption of pulp fiber occurred. As the values for freeness and hemp fiber content increased, so did roughness and bulk. It was apparent that the tear strength of hemp-wood paper was on the rise drastically as hemp fiber content increased. Nevertheless the optimum hemp fiber content of hemp-wood paper would be 20% considering the decrease in both tensile and burst strengths as well as sheet formation.

Keywords: *hemp, hemp fiber, hemp bast fiber, wood fiber, low temperature pulping, hemp paper*

1 강원대학교 제지공학과(Dept. of Paper Science and Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701 Korea)

2 경남과학기술대학교 인테리어재료공학과(Dept. of Interior Materials Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 660-758 Korea)

* 교신저자(Corresponding author): E-mail: slyoon@gntech.ac.kr

1. 서론

전 세계적으로 종이와 판지의 소비량이 증가하고 소비인구가 증가함에 따라 목재 펄프의 수요가 늘어나고 산림의 파괴가 지속¹⁾되고 있다. 친환경적인 개발을 위하여 목재자원을 대체할 비목재 섬유자원을 확보하는 방법이 모색되고 있으며 현재 그 사용량은 증가하는 추세²⁾이다. 일반적으로 사용되는 비목재 섬유로는 kenaf, 대마, 옥수수, 대나무, bagasse, 짚, jute 등이 있다. 이들은 단기간에 재생산이 가능하여 생산성이 높고 대부분 농업 부산물로 생산되어 저렴하다는 이점을 가지고 있다. 또한 일반 농작물로 경작하여 농업 및 임업의 소득 증대에 기여할 가능성이 있기 때문에 비목재 섬유를 종이의 원료로 이용하고자 하는 연구는 오래전부터 여러 연구자들에 의해 수행^{3,4,5)}되어져 왔다.

대마는 파종 후 90~120일 정도에 수확할 수 있고 목재 펄프에 비해 holocellulose의 함량이 높으며, lignin의 함량이 낮기 때문에 높은 펄프 수율을 기대할 수 있으며, 인피부분은 대마 줄기에서 20% 정도를 차지하고 있지만 core 부분에 비해 리그닌의 함량이 낮다고 보고^{6,7,8)}되었다. 우리나라에서는 단순히 섬유만 이용하고 있지만 유럽에서는 목질부인 core는 건축용 하드보드, 제지원료로 사용하고 종자는 각종 과자류, 맥주, 아이스크림을 만들고 종실유로는 비누, 샴푸 등을 만들며 수지는 의약품 원료로 이용되는 등 이용성이 다양한 작물⁹⁾이라고 할 수 있다. 또한 대마 인피 섬유는 목재펄프에 비해 섬유장이 길기 때문에¹⁰⁾ 인열강도가 우수한 티백지, 여과지, 보안용지, 성경용지, 내유지, 절연지, 권련지 등의 특수기능지 생산에 이용되고 있다. 대마의 core나 bast fiber를 펄프화하여 종이를 제조하고자 하는 연구는 여러 연구자들에 의해서 수행되어져 왔으며, 크라프트펄프화법과 소다펄프화법을 활용한 경우에 대부분 증해는 150℃ 이상의 고온^{11,12,13,14,15)}에서 행해졌다.

1보¹⁰⁾에서 종이 제조용 섬유로 사용되고 있는 대마 섬유에 대하여 효과적으로 이용하기 위한 기초 자료로

제공하고자 구성되어 있는 세포의 형상을 현미경으로 관찰하였다. 수피부는 피층 유세포와 세포벽이 두꺼운 후박세포의 인피섬유가 존재하였고, 목질부에는 도관, 목부섬유, 방사조직 등으로 구성되어 있었으며, 목질부의 목질섬유는 세포 직경이 크고 길이가 짧은 것과 긴 것, 직경이 작고 길이는 중간 정도인 3 종류로 분류할 수 있었다. 목질부에 존재하는 유세포와 수 유세포는 크기 및 모양에서 완전히 다른 형태를 하고 있었으며, 인피 섬유의 길이는 약 4.4 mm, 폭은 약 30.5 μm이며, 도관의 길이는 약 600.0 μm, 폭은 약 493.6 μm, 목부섬유의 길이는 약 1000 μm, 폭은 약 38.9 μm, 유세포의 크기는 약 50 μm, 폭은 약 26.4 μm인 결과를 얻었다.

본 연구에서는 대마 bast 펄프와 목재 펄프를 혼합하여 제조한 종이 특성을 구명하기 위하여 전통 한지 제조와 유사한 100℃ 이하의 저온 펄프화 과정을 거친 대마 bast 펄프를 칼비터와 밸리비터를 이용하여 분산시켜 목재 펄프와 혼합한 수초지를 제조하고 수초지의 물리적 및 강도적 특성을 분석하여 대마 bast 섬유의 혼합비에 따른 영향에 대하여 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

대마(*Cannabis Sativa*) 제천에서 재배한 인피의 외피를 제거 후 사용하였고 목재펄프는 SwBKP(Softwood Bleached Kraft Pulp)를 사용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 펄프 제조

펄프는 대마의 수피 중 외피를 제거시킨 내피를 Table 1의 조건에 의해 제조하였다.

2.2.2 섬유 고해

저온 펄프화한 섬유를 칼비터로 20분간 분산시키고 T 227 om-99의 시험방법으로 밸리비터로 고해를 실시

Table 1. Soda cooking condition for hemp pulp

NaOH dosage (% on dry hemp)	Chipping size (mm)	Cooking temperature (°C)	Cooking time (hr)
35	20~30	100	6

하여 700 mL CSF, 600 mL CSF, 500 mL CSF로 조절하였으며, SwBKP는 600 mL CSF로 조절하였다.

2.2.3 여수도 조건에 따른 섬유의 분리 관찰

칼비터로만 분산시킨 대마 bast 펄프(control)를 700 mL CSF, 600 mL CSF, 500 mL CSF로 조절한 섬유의 상태를 비교하기 위하여 광학현미경을 사용하여 관찰(600×)하였다.

2.2.4 수초지 제조

수초지는 목재펄프와 대마 bast 펄프를 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8로 배합하여 Table 2의 조건으로 제조하였다. 목재펄프:대마 bast 펄프=10:0의 시험편을 H0, 8:2는 H2, 6:4는 H4, 4:6은 H6, 2:8은 H8로 표기하였다.

2.2.5 수초지 물성측정

제조된 수초지는 Table 3과 같이 TAPPI standard T405 om-83에 따라 조습처리한 뒤 인장강도, 파열강도, 인열강도, formation, 거칠음도, bulk, 투기도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 여수도에 따른 섬유 분리

펄프화 공정을 거친 대마 bast 섬유는 목재 섬유와 같

Table 3. Testing methods

Paper properties	Standard methods
Tensile strength	T560 om-10
Tear strength	T414 om-04
Burst strength	T403 om-10
Air resistance	T460 om-11
Roughness	T555 om-10

이 섬유가 분리되지 않고 뭉쳐 있으므로 1차적으로 칼비터를 사용하여 섬유를 분리시키고 2차적으로 벨리비터로 고해시켜 섬유의 분산을 좀 더 원활하게 하여 여수도를 조정하였다. 대마 bast 섬유를 칼비터로 고해한 후 벨리비터로 여수도를 조절하였을 때 섬유분리의 형태를 관찰하기 위하여 칼비터 고해 처리만 마친 치료(control)와 칼비터 고해 후 벨리비터로 여수도를 조절 한 치료(700 mL CSF, 600 mL CSF, 500 mL CSF)의 섬유 상태를 광학현미경으로 관찰한 것이 Fig. 1에 나타 내었다.

Fig. 1에서 나타나는 것과 같이 칼비터 고해만 실시 한 섬유와 700 mL CSF로 조절한 섬유는 균일하게 분산 이 일어나지 않았기 때문에 결속섬유들이 관찰되었으 나, 600 mL CSF와 500 mL CSF로 조절한 시료에서는 결속 섬유가 일부 관찰되기는 하였지만 대부분 섬유의 분산이 원활하게 이루어진 것을 알 수 있었다.

즉, 대마 인피로부터 100℃ 이하의 저온으로 펄프화 하여 칼비터와 벨리비터를 사용하면 섬유를 쉽게 해리

Table 2. Sheet forming conditions

Ratio of Wood to hemp	10:0(H0), 8:2(H2), 6:4(H4), 4:6(H6), 2:8(H8)
Basis weight (g/m ²)	80
Sheet size (cm)	20 × 20
Wood pulp freeness (mL CSF)	600
Hemp fiber freeness (mL CSF)	700, 600, 500

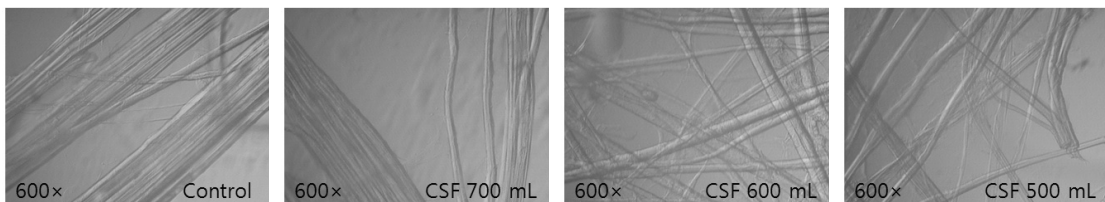


Fig. 1. Effect of freeness on separation of hemp fiber.

시킬 수 있다.

3.2 여수도와 목재펄프 혼합비에 따른 수초지의 물리적 특성

목재섬유와 대마 bast 섬유의 혼합비를 변화시키며 제조한 수초지의 물리적 특성을 검토한 결과 Fig. 2에서 알 수 있듯이 지합지수는 여수도가 감소할수록 향상되었으나 목재섬유에 대마 bast 섬유의 혼합비가 증가할수록 감소하였는데 이러한 결과는 대마의 인피 섬유가 길고 세포벽이 두꺼워서 유연성이 부족¹⁶⁾하므로 대마 bast 섬유의 혼합비가 증가할수록 지합지수가 감소하는 것으로 나타났다. 대마 bast 섬유와 목재섬유의 섬유장과 섬유폭의 현저한 차이 때문에⁹⁾ 지합지수는 대마

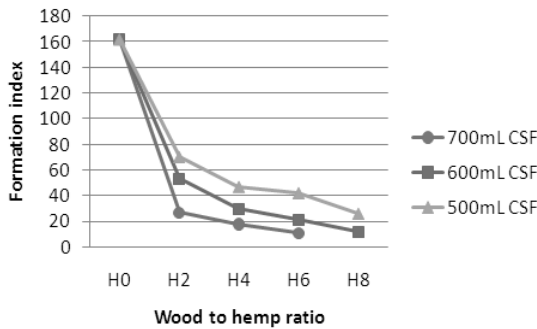


Fig. 2. Formation index of hemp-SwBKP handsheet.
 H0 : wood 10, hemp 0, H2 : wood 8, hemp 2,
 H4 : wood 6, hemp 4, H6 : wood 4, hemp 6,
 H8 : wood 2, hemp 8

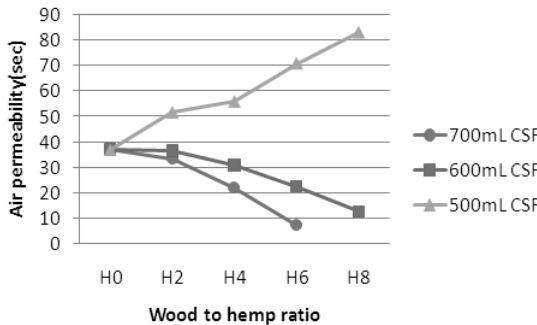


Fig. 3. Air permeability of hemp-SwBKP handsheet.
 H0 : wood 10, hemp 0, H2 : wood 8, hemp 2,
 H4 : wood 6, hemp 4, H6 : wood 4, hemp 6,
 H8 : wood 2, hemp 8

bast 혼합비가 증가함에 따라 감소한다고 판단되었다.

Fig. 3에 나타낸 것과 같이 투기도는 여수도가 감소함에 따라 함께 저하되었으며, 여수도 700 mL CSF와 600 mL CSF의 경우 대마 bast 섬유 혼합비가 증가함에 따라 투기도가 향상되는 것을 알 수 있었으나, 500 mL CSF로 여수도를 조절한 대마 bast 섬유는 혼합비가 증가하면서 투기도가 급격히 저하되었는데 이러한 결과는 밸리미터로 고해하는 과정에서 미세분의 발생량이 증가한 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 대마 bast 섬유의 여수도 및 목재섬유와 대마 bast 섬유의 혼합비 변화에 따른 거칠음을 나타낸 것이다. 여수도 변화에 따른 거칠음도는 500 mL CSF, 600 mL CSF, 700 mL CSF 순으로 높았다. 대마 bast 섬유는 거칠고 장섬유이기 때문에 대마 bast 섬유의 혼합비가 증가함에 따라 거칠음도가 증가하는 특성⁵⁾을 나타내었다. 밸리미터로 고해를 실시하면 여수도가 감소하고 섬유가 유연해지며 단섬유화가 발생하므로 대마 bast 섬유의 거칠음도를 개선할 수 있었다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 여수도가 감소함에 따라 대마 bast 수초지의 벌크는 감소하였지만 목재펄프 수초지보다는 높은 벌크를 유지하였다. 밸리미터로 여수도 500 mL CSF까지 고해를 실시하였을 때 단섬유화가 진행되기는 하였으나 수초지 상에 육안으로 관찰이 가능한 섬유가 존재하였고 대마 bast의 섬유 폭이 목재 펄프보다 크기 때문에⁶⁾ 높은 벌크를 유지한 것으로 판단되었다.

대마 bast 섬유가 강인하고 장섬유이므로 목재펄프

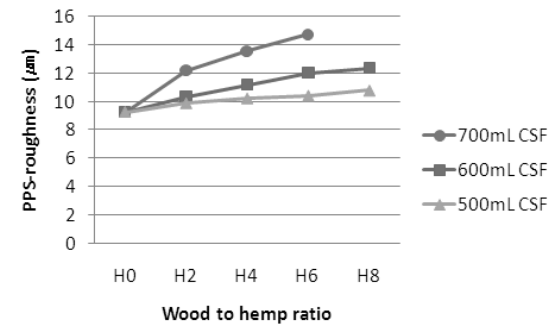


Fig. 4. Roughness of hemp-SwBKP handsheet.
 H0 : wood 10, hemp 0, H2 : wood 8, hemp 2,
 H4 : wood 6, hemp 4, H6 : wood 4, hemp 6,
 H8 : wood 2, hemp 8

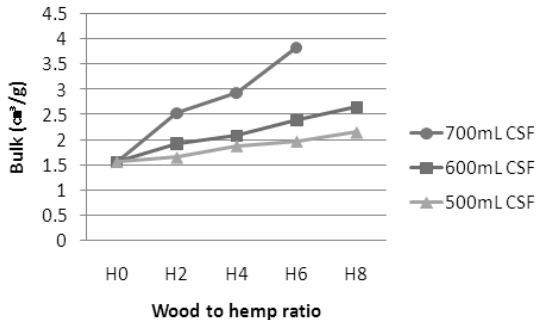


Fig. 5. Bulk of hemp-SwBKP handsheet.

H0 : wood 10, hemp 0, H2 : wood 8, hemp 2, H4 : wood 6, hemp 4, H6 : wood 4, hemp 6, H8 : wood 2, hemp 8

와 대마 bast 펄프를 혼합하여 제조한 수초지의 물리적 특성은 대마 bast 섬유의 혼합비가 증가하면 지합지수는 낮아지고, 투기도는 향상되며, 거칠음도가 증가하고, 벌크가 높아졌다. 그러므로 목재펄프와 대마 bast 펄프를 혼합하여 수초한 종이의 물리적 특성은 대마 bast 섬유의 특성이 크게 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

3.3 여수도와 목재펄프 혼합비에 따른 수초지의 강도적 특성

목재섬유와 대마 bast 섬유의 혼합비를 조절하여 제조한 수초지의 강도적 특성을 검토한 결과를 Figs. 6~8에 나타내었다.

Fig. 6과 Fig. 7에서 알 수 있듯이 여수도가 700 mL

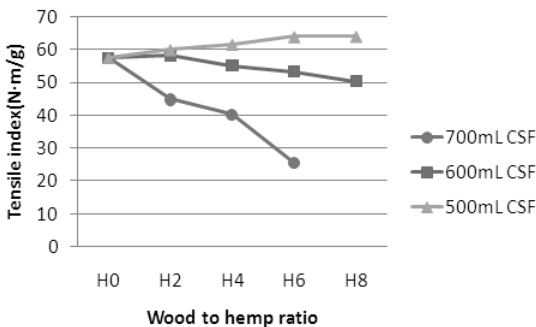


Fig. 6. Tensile index of hemp-SwBKP P handsheet.

H0 : wood 10, hemp 0, H2 : wood 8, hemp 2, H4 : wood 6, hemp 4, H6 : wood 4, hemp 6, H8 : wood 2, hemp 8

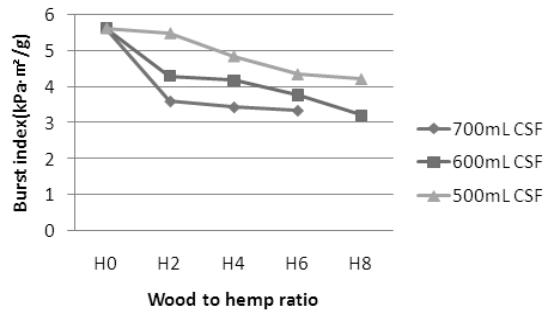


Fig. 7. Burst index of hemp-SwBKP handsheet.

H0 : wood 10, hemp 0, H2 : wood 8, hemp 2, H4 : wood 6, hemp 4, H6 : wood 4, hemp 6, H8 : wood 2, hemp 8

CSF인 경우 결속섬유로 인해 대마 bast의 혼합비가 증가함에 따라 인장강도와 파열강도가 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 여수도 600 mL CSF와 500 mL CSF로 조절한 대마 bast 시료는 섬유 분산이 양호하여 목재펄프 수초지와 비슷한 강도를 나타내었지만, 대마 bast의 혼합비가 증가할수록 인장강도(Fig. 6)의 경우 여수도 500 mL CSF는 약간 증가하였지만 그 외는 인장강도와 파열강도가 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 대마 bast의 세포벽이 두껍기 때문에 섬유의 유연성이 부족하여 섬유간 결합력이 감소한 것¹⁶⁾으로 사료되었다.

Fig. 8의 인열강도는 여수도 변화에 관계없이 모든 경우에 목재 펄프보다 우수한 결과가 나타났으며, 여수도 700 mL CSF일 때는 대마 bast의 장섬유 특성 때문에

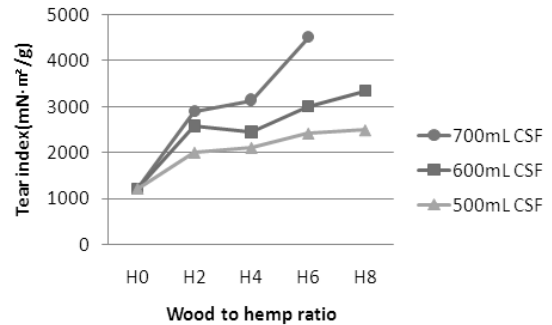


Fig. 8. Tear index of hemp-SwBKP handsheet.

H0 : wood 10, hemp 0, H2 : wood 8, hemp 2, H4 : wood 6, hemp 4, H6 : wood 4, hemp 6, H8 : wood 2, hemp 8

가장 높은 인열강도를 나타냈으며 대마 bast 혼합비가 증가함에 따라 향상되었다. 여수도가 감소함에 따라 인열강도도 감소하는 것을 확인할 수 있었는데, 여수도 500 mL CSF일 때는 대마 bast 혼합비 증가에 따른 인열강도의 상승폭이 크지 않은 것으로 보아 섬유 분산과 더불어 단섬유화가 많이 진행되었고 장섬유의 분포가 비교적 적은 것으로 판단되었다.

목재펄프와 대마 bast 섬유를 혼합하여 종이를 제조할 때 수초지의 물리적 및 강도적 성질을 고려할 때 목재섬유 80%와 대마 bast 섬유 20% 혼합하여 종이를 제조하는 것이 가장 적합하다고 사료되었다.

4. 결론

대마 bast 섬유와 목재섬유 혼합하여 종이를 제조하기 위한 조건을 탐색하기 위하여 100℃ 이하의 저온 펄프화 과정을 통하여 제조한 대마 bast 섬유를 칼비터와 벨리비터를 이용하여 분산시킨 후 목재 펄프와 혼합한 수초지를 제조하고, 수초지의 물리적 및 강도적 특성을 분석하여 대마 bast 섬유의 혼합비에 따른 영향에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 대마 인피로부터 100℃ 이하의 저온에서 펄프화하여 칼비터와 벨리비터를 사용하여 섬유를 분산시켰을 경우 원활하게 분산되었다.

2. 칼비터로만 분산을 시킨 경우에는 결속섬유가 많이 발견되었지만 여수도를 600 mL CSF와 500 mL CSF로 조정하였을 때에는 섬유의 원활한 분산이 관찰되었다.

3. 여수도 600 mL CSF와 500 mL CSF의 대마 bast 섬유로 제조한 수초지가 인장강도와 파열강도를 유지하면서 높은 인열강도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 여수도가 감소함에 따라 인열강도가 급격히 저하되는 경향을 보였기 때문에 여수도 500 mL CSF 이하의 대마 bast 섬유로 수초지를 제조한다면 인열강도가 우수한 종이를 제조하기 어렵다고 사료되었다.

4. 투기도는 여수도 500 mL CSF부터 급격하게 감소하는 것으로 보아 섬유의 파괴가 급속히 진행되는 것으로 판단되었고, 거칠음도와 벌크는 여수도가 감소함에 따라 함께 감소되었으며, 대마 bast 섬유의 투입량이 많아질수록 증가하는 것을 알 수 있었다.

5. 목재펄프와 대마 bast 섬유를 혼합하였을 때 대마 bast 섬유의 투입비가 높아짐에 따라 예상한 것과 같이 인열강도가 급격히 증가하지만, 인장강도나 파열강도의 감소를 고려하고 지필 형성 시 지합을 양호하게 하기 위해서는 대마 bast 섬유를 20% 투입하는 것이 가장 적절하다고 판단되었다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업 308006-03(2008)의 일환으로 수행되었습니다.

인용문헌

1. Jim L. Bowyer., Hemp (*Cannabis sativa* L.) as a papermaking raw material in Minnesota : Technical, Economic and Environmental consideration (2001).
2. H. Pande., Non-wood fibre and global fibre supply, the faculty of Forestry, University of Toronto, Canada, p. 44-50 (1998).
3. Mamers, H., Yuritta, J. P., and Menz, D. J., The siropulper - an explosive alternative for non-wood pulping. *Tappi J.*, 64(7):93- (1981).
4. Marguerite, S., Environmental compatibility of effluents of aspen biomechanical pulping of bagasse and wheat straw. *Tappi J.*, 77(1):161-166 (1994).
5. Laurel M. Sheppard., How Product are Made : Industrial Hemp : (2009).
6. Fatima, M. C. C., Fibre characteristics and chemical pulping of Canadian industrial hemp(*Cannabis sativa* L.), the thesis for the degree of master of science in forestry faculty of forestry, University of Toronto, Canada, p. 37 (1999).
7. Correia, Fatima, Roy, D. N., Goel, Krishan., Chemistry and delignification kinetics of canadian industrial hemp. *journal of wood chemistry and technology*, 21(2):97-111 (2001).
8. Ranalli, P., *Advances in Hemp Research*, Haworth Press, p. 213-238 (1999).
9. Moon, Y. H., Lee, B. H., Jeong, B. C., Kim, Y. U., and Kim, G. Y., *Breeding History of Non-drug Type*

- Hemp Variety “Cheungsam” and It’s Characteristics, J. Korea Society of International Agriculture, 14(2):119-126 (2002).
10. Yoon, S. L., and Lee, M. K., Effective Utilization of Hemp Fiber for Pulp and Papermaking (I) - Morphological Characteristics of Hemp Fiber -, J. Korea TAPPI, 42(1):7-12 (2010).
 11. Abdul-Karim, L.A., Rab, A., Polyánszky, É., and Rusznák, I., Kinetics of delignification in kraft pulping of wheat straw and hemp, Tappi J., 78(8):161-164 (1995).
 12. Frans, H. A. Z., Richard, J. A. G., Jan, E. G. V. D., and Boke, F. T., Organosolv pulping and test paper characterization of fiber hemp, Tappi Journal, 78(5):149-155 (1995).
 13. 이명구, 최경화, 박은호, Hemp 섬유를 이용한 kraft pulp 제조. 한국펄프·종이공학회 2008년 추계학술 발표논문집, pp. 323-329 (2008).
 14. 조병욱, 채수명, 윤승락, 이명구, 대마의 소다펄프화 kinetics에 관한 연구. 한국펄프·종이공학회 2010년 춘계학술발표논문집, pp. 1-6 (2010).
 15. Fatima, M. C. C., The characterization of hemp (*Cannabis sativa L*) chemical pulp and paper, the thesis for the degree of doctor of philosophy, faculty of forestry, University of Toronto, Canada, p. 37-54 (2004).
 16. Jaymini Kamat., Effect of harvesting time on the physical, chemical and pulping properties of hemp (*Cannabis sativa L*), the thesis for the degree of master of science in forestry faculty of forestry, University of Toronto, Canada, p. 7-10 (2000).