

크라프트 펄프 섬유 섬유의 다단 고해와 니딩 처리에 따른 종이 신장률 및 파괴인성의 변화

임종혁 · 채희재 · 박창순 · 박중문[†]
(2010년 11월 9일 접수: 2010년 12월 17일 채택)

Effects of Refining and Kneading of Kraft Pulp Fibers on Elongation and Fracture Toughness of Paper

Jong-Hyck Lim, Hee-Jae Chae, Chang-Soon Park, and Jong-Moon Park[†]
(Received November 9, 2010; Accepted December 17, 2010)

ABSTRACT

To increase the fracture toughness of paper made of Sw-BKP, refining and kneading conditions were analyzed. Curl and kink was known to increase the strain at break and the fracture toughness. Sequence of multiple stage beating, beating load and kneading were compared.

When we applied a kneading treatment using a kneader at the final step, the most of the fiber transformation such as curl and kink occurred, the more the bulk and air-permeability improved. Physical strength and TEA(tensile energy absorption) were increased higher when kneading treatment before refining than only refining treatment was performed. TEA was increased because of higher elongation. It was found that the highest fracture toughness was obtained when applying the kneading treatment to the fibers in the pre-treatment step rather than in the middle step of beating or in the final step of beating.

Keywords : fracture toughness, elongation, kneading, refining

1. 서론

본 논문은 종이의 강도발현을 위해 섬유의 다단고해와 kneading 처리같은 물리적인 처리가 종이의 신장률 및 파괴인성에 끼치는 영향에 대해서 연구하였다.

고해는 제지 기술 중 다른 어느 공정보다도 많은 연구의 대상이었는데, 그 주요 이유는 고해과정이 제지공정에 있어서 중요한 공정임과 동시에 상당히 많은 에너지를 소비하기 때문이다^{1,2)}. 또한, 고해에 의한 섬유의 변형은 섬유의 물리화학적 성질, 해부학적 성질 등 고

• 충북대학교 농업생명환경대학 임산공학과 (Chungbuk National University, College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Dept. of Forest Products & Engineering, Cheongju, Chungbuk, 361-763, South Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: jmpark@cbu.ac.kr

해 조건에 따라 다양한 형태로 제지 공정에 영향을 끼치게 된다³⁾. 그 대표적인 예로 Seth⁴⁾의 연구에서 제시된 SEM 사진을 통하여 관찰할 수 있는 바와 같이 펄프 자체의 특성에 따라 고해에 대하여 다르게 반응을 보인다고 하였으며, Manfredi⁵⁾는 펄프종류에 따른 고해방법이 종이의 품질과 관련된 여러 가지 특성에 영향을 끼친다고 하였다.

본 연구는 종이의 사용 목적에 적합한 특히 종이의 신장률과 파괴인성 향상을 위한 고해 방법 및 kneading을 고해 전에 처리한 경우와, 고해 후에 처리한 경우와 종이의 물리적인 특성변화에 대하여 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 자료

본 실험에서 사용한 pulp는 Sw-BKP로써 1.5%의 농도로 TAPPI T200 om-98에 의거하여 고해를 실시하였고, 최종 여수도는 TAPPI T227 om-97에 의거하여 550 ml C.S.F.로 하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 고해

각각의 고해조건을 Fig. 1에 나타냈다.

2.2.2 Kneader

해리한 펄프를 35%로 농축하여 미리 80℃로 내부온도를 맞춘 kneader에 투입하여 1회 처리하였다.

2.2.3 섬유 분석

섬유장, 섬유폭, 조도, curl, kink 등을 MorFi LaBo(LB-01)로 측정하였다.

2.2.4 수초지 제작

Valley beater로 고해한 펄프를 0.3%로 희석한 후 TAPPI T205 sp-95에 의거하여 평량 80 g/m²의 수초지를 제작하였다.

2.2.5 수초지의 물리적 특성 분석

수초지의 물성을 측정하기 위해 TAPPI standard T402 sp-98에 따라 조습처리한 후 수초지의 평량, 두께, bulk를 측정하였다.

2.2.6 수초지의 물성 분석

투기도는 L&W사의 densometer를 이용하여 Gurley sec. 로 공기 100 cc가 투과하는 시간을 측정하였으며, 종이의 인장 및 파괴시험은 SCAN-P 67 / P 77에 의거하여 L&W사의 tensile tester with fracture toughness를 이용하여 측정하였으며 Page식에 의해 섬유 결합강도를 계산하였다.

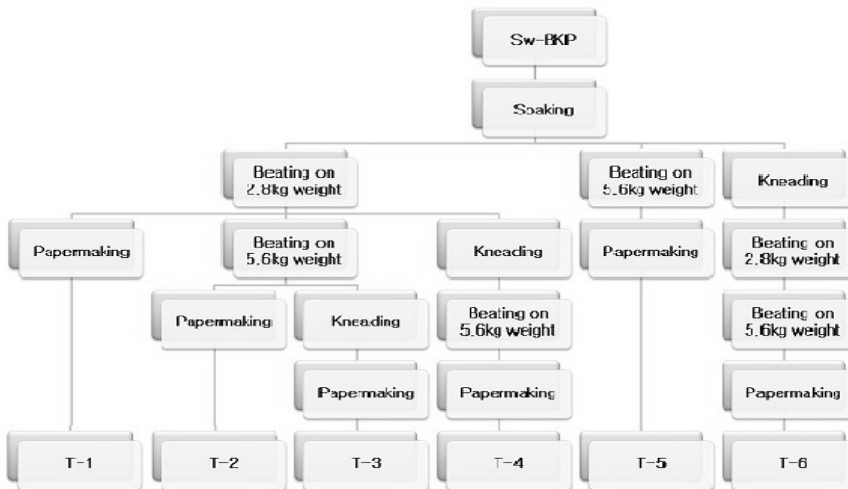


Fig. 1. Preparation of Sw-BKP stocks.

· 계산식 : $\frac{1}{T} = \frac{1}{F} + \frac{1}{B}$ (Page equation)

T: 인장강도, F: 섬유의 자체강도, B: 섬유의 결합강도

3. 결과 및 고찰

3.1 섬유특성

처리된 각 pulp의 섬유장, 섬유폭, 조도, kink, curl의 분석 결과를 Table 1 에 나타냈다.

Table 1. Properties of treated Sw-BKP stocks

	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
Average length(μm)	1532	1547	1332	1475	1481	1521
Average width(μm)	23.3	23.8	20.5	20.7	23.6	20.6
Coarsness(mg/m)	0.2262	0.1911	0.0884	0.182	0.3024	0.2203
Kinked fibers(%)	27.407	31.415	59.264	39.894	27.919	33.185
Average Curl(%)	8.676	9.318	17.996	10.617	8.532	9.223

6가지의 처리 중 5개의 시료는 큰 변화가 없었지만 T-3의 경우 섬유장과 조도가 낮아지는 반면, kink와 curl이 급격히 증가하였고, T-4, T-6은 kink와 curl이 약간 증가하였다. 이는 kneading처리를 전처리와 중간처리로 하였을 경우 고해에 의하여 섬유유 의 변형이 이루어진 것으로 판단된다^{6,7)}.

3.2 Bulk

Fig. 2는 고해조건에 따른 수초지의 bulk특성을 나타낸 것이다. Kneading 처리를 실시한 T-3의 bulk가 가장 높았는데, 이는 kneading에 의한 물리적 처리를 최종단계에 가하였을 때 발생하는 curl, kink가 많이 발생한 영

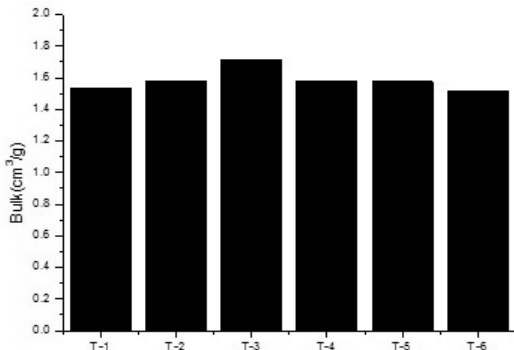


Fig. 2. Bulk of handsheets.

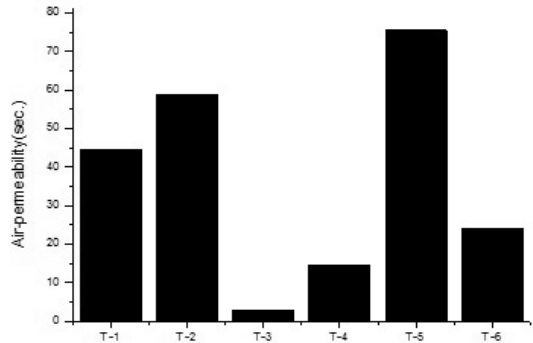


Fig. 3. Air-permeability of handsheets.

향으로 sheet 형성시 보다 많은 공극을 만들었기 때문이라고 판단된다.

3.3 투기도

Fig. 3은 고해조건에 따른 수초지의 투기도를 나타낸 것이다. 고해의 조건이 달라짐에 따라 투기도가 달라짐을 알 수가 있는데, kneading을 후처리로 할수록 높은 투기도를 보였다. 이러한 이유로는 섬유유 의 curl, kink의 발생으로 인해 bulk가 증가하고 내부공극 형성이 많이 되었기 때문으로 판단된다. 또한 고해하중이 증가함에 따라 투기도가 감소되었으며, kneading 처리를 전처리로 하였을 경우 투기도는 상승하였다.

3.4 신장률

Fig. 4는 고해조건에 따른 신장률의 변화를 나타낸 것이다. 신장률의 증가효과는 kneading처리를 중간단계와 전처리에 하였을 때 효과가 나타나며, 후처리시 오히려 신장률이 떨어지는 경향을 보였다. 이는 과도한

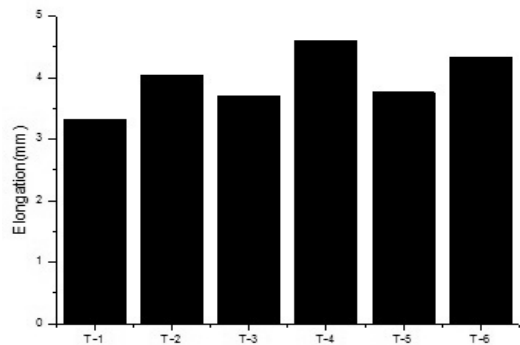


Fig. 4. Elongation of handsheets.

kink와 curl이 섬유결합에 있어서 부정적인 영향을 끼쳤으며, 다단고해 시 저하중 고해와 고하중 고해보다 높은 신장률을 보이는데, 이는 2.8 kgf에서는 섬유의 팽윤이 주를 이루다가 5.6 kgf으로 고하중이 가해짐으로써 섬유가 급속히 파괴되면서 신장률이 감소하였고, kneading 처리를 전처리로 하였을 경우에 높은 신장률을 보였다.

3.5 TEA index

Fig. 5는 고해조건에 따른 인장 에너지 흡수도(TEA)를 나타낸 것이다. 그래프를 보면 T-3에서 가장 낮은 TEA값을 나타내는데, 다단고해 후에 후처리로 kneading처리 시 높은 kink, curl의 발생에도 불구하고 낮은 강도 값을 나타내는 이유는 섬유변형이 심화되어 오히려 강도발현에 악영향을 끼친 것으로 판단된다.

적절한 양의 kink, curl이 존재하는 T-4, T-6는 일반적인 고해시보다 다소 높은 강도발현을 보였다. 동일한 최종 여수도 조건에서 고해의 전처리로 그리고 고해의 중간 공정으로 kneading을 하는 경우가 curl과 kink를 고해처리 후에도 어느 정도 잔류되고, 동시에 curl과 kink로 인해 신장률이 증가하였기 때문에 TEA index가 상승하였다고 판단된다. 섬유변형을 유지해서 섬유간 결합에 좀 더 유리한 조건을 가졌던 것으로 판단된다. 일반적인 고해에서는 저하중고해보다 고하중고해, 다단고해 조건을 가졌던 T-2, T-5가 좀 더 높은 TEA값을 나타내었다^{8,9)}.

3.6 인장강도 지수

Fig. 6은 종이의 인장강도 시험결과로써 T-3을 제외

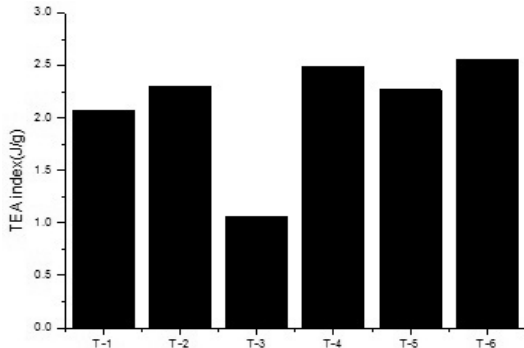


Fig. 5. TEA index of handsheets.

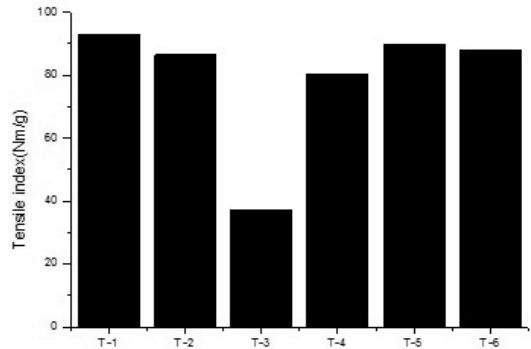


Fig. 6. Tensile index of handsheets.

한 모든 시편에서 균일한 강도발현을 보이는 반면, curl, kink의 함량이 가장 높은 T-3은 가장 낮은 강도 값을 나타냈다. 이는 섬유의 kneading처리를 고해 후에 하였을 때 섬유변형이 심화되어 섬유 자체강도가 하락하였기 때문이라고 판단되었다.

3.7 Zero-span tensile strength

Fig. 7은 섬유 자체 강도인 zero-span tensile strength의 결과를 나타냈다. T-3의 섬유 자체 강도가 다른 수초지에 비해 낮은 강도 값을 나타내었는데, 이는 섬유 자체의 강도가 고해 후에 kneading을 하였을 때 많이 약해진 것으로 사료가 된다. 하지만 T-4와 T-6는 kneading에 의한 전처리가 되었음에도 T-3과 큰 강도 차이를 보이는데, 이는 kneading처리를 고해 전에 실시하였는지 또는 고해 후에 하였는지에 따른 차이로, 고해 후에 kneading처리를 할 경우 curl과 kink가 지나치게 발생하여 섬유자체강도와 섬유간 결합강도가 떨어져 물리적 강도특성이 저하되는 것으로 판단되었다.

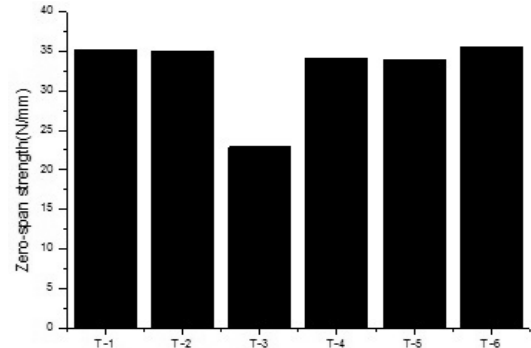


Fig. 7. Zero-span tensile strength.

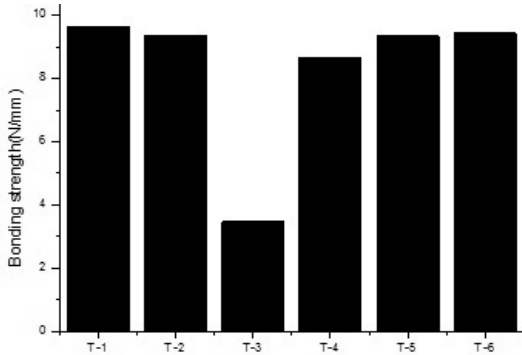


Fig. 8. Fiber bonding strength.

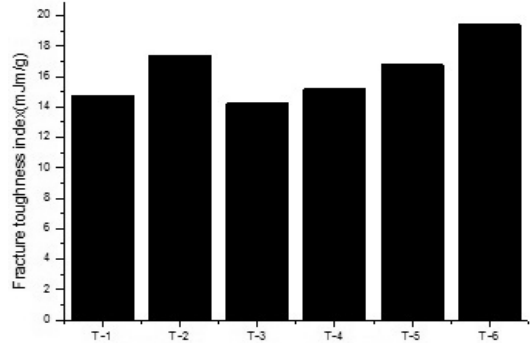


Fig. 9. Fracture toughness index of handsheets.

3.8 결합강도

Fig. 8은 결합강도를 나타내는 그래프인데, zero-span tensile strength와 변화추세가 비슷한 결과를 나타냈으며, 섬유자체 강도와 유사하게 결합강도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 섬유의 kneading 처리에 의한 변형이 섬유자체강도와 결합강도에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 판단되었다.

3.9 Fracture toughness index

Fig. 9는 파괴인성에 대한 결과를 나타낸 것으로, T-6이 가장 높은 파괴인성 값을 나타내었다. Kneading을 고해 중간(T-4) 또는 고해 후처리(T-3)로 한 경우, 다단 고해(T-2)와 고해중고해(T-5)에 비해 curl과 kink의 발생이 증가하였고, 섬유자체 강도가 하락하고 섬유간 결합이 감소하였기 때문에 파괴인성 값이 낮아졌다. T-6이 가장 높은 값을 나타낸 이유는 고해 전에 kneading처리를 하였을 때 고온으로 인하여 섬유의 표면에 피브릴 효과가 일어났고 이후 다단 고해를 통한 내, 외부 피브릴화가 다른 조건의 고해조건보다 좀 더 원활히 이루어졌기 때문이라고 판단되었다^{10,11)}.

4. 결론

본 연구의 목적은 Sw-BKP를 이용하여 고해하중을 변화시킨 다단고해와 섬유의 kneading 처리를 병행하여 curl 및 kink의 발생을 늘려 종이의 신장률과 파괴인성을 높이는 최적의 고해조건을 탐색하는 것이다. 섬유의 kneading 처리를 최종단계에 가한 T-3은 가장 많은

섬유변형 즉 curl과 kink가 발생하였다. 섬유변형이 가장 많이 일어날수록 bulk 및 투기도가 향상됨을 알 수 있었으나, 섬유의 curl과 kink의 발생이 증가함에 따라 종이의 물리적 강도를 현저하게 감소시킴을 확인할 수 있었다. 하지만, kneading처리를 고해 전 단계에 했을 경우 신장율의 증가로 TEA값이 크게 증가하였으며, 종이의 물리적 강도와 파괴인성이 증가함을 확인할 수 있었다.

이는 다단고해 후 kneading처리를 할 경우 섬유 손상 원인이 되는 것을 알 수가 있었으며, 섬유에 kneading 처리를 고해 중간에 또는, 고해 후에 하는 것보다, kneading처리를 고해 전에 실시한 T-6의 경우 종이의 물리적 강도가 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한, kneading처리를 고해 전에 실시한 경우 신장률, TEA, 투기도, 파괴인성 상승에 따라 수입산 고급 지대지를 대체할 수 있을 것이라고 사료된다.

사 사

이 논문은 2009학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2009).

인용문헌

1. 조현정 외, 펄프·제지공학, 선진 문화사, pp.203-456 (1997).

2. 이학래 외, 제지과학, 광일문화사, pp.115-461 (1996).
3. 박중문, 종이특성 관련식에 대한 고찰, 한국펄프·종이공학회, 펄프·종이기술 국제 세미나, 33:155-172 (2008).
4. Seth, R. S., Beating and refining responses of some re-inforcement pulps, Tappi J. 82(3):147-155(1999).
5. Manfredi, V., Evaluation of refining strategies for combined use of softwood and eucalyptus pulp in papermaking, Proceedings of Pan Pacific Conference, pp.37-42(2006).
6. Tam Doo, P. A. and Kerekes, R. J., The effect of beating and low-amplitude flexing on pulp fiber flexibility. J. Pulp Paper Sci. 15(1):J36 (1989).
7. Luner, P., The relationships of wet fiber flexibility to fiber and pulp properties. In Proc. 1992 Paper Physics Seminar, Helsinki, June, 8-11 (1992).
8. Danforth, D. W., Pira International Conference: Advances in Refining Technology, Birmingham, England, Dec. 9-11 (1986).
9. Claudio-da-silva, E., Jr., Pira International Conference: Advances in Refining Technology, Birmingham, England, Dec. 9-11 (1986).
10. 이진호, 박중문, 섬유 특성에 따른 종이의 물리적, 파괴 역학적 특성 변화, 펄프·종이기술, 35(3):37-42 (2003).
11. 장현성, 고해하중변화에 의한 탈수성과 종이물성변화, 충북대학교, 석사학위논문 (2003).