

# 내부소섬유화가 종이 물성에 미치는 영향

원종명†

(2002년 10월 10일 접수; 2003년 2월 5일 채택)

## Effect of Internal Fibrillation on the Paper Properties

Jong-Myoung Won

(Received on October 10, 2003; Accepted on February 5, 2003)

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effect of internal fibrillation on the pulp and paper properties. The internal fibrillation was introduced into the SwBKP and recycled SwBKP by the mechanical treatment with Hobart mixer. WRV and physical properties of SwBKP were improved by the internal fibrillation. However the mechanical treatment of recycled SwBKP resulted in the decrease of strength properties of paper except for the tear index, although it was observed that WRV was somewhat increased by the mechanical treatment. The decrease of strength properties of recycled SwBKP might be caused by the hornification of fiber and the decrease of fiber strength.

**Keywords :** Internal fibrillation, WRV, Hobart mixer, SwBKP, Apparent density, Wet zero-span tensile, Tensile index, Tear index, Burst index

### 1. 서론

산업 혁명이래 세계 각국의 급속한 개발과 문화 및 산업의 발전은 인류의 생활을 보다 안락하고 편안하게 만들어 주었지만, 이와 더불어 지구의 환경 또한 우려할 정도로 악화되어 온실가스 감축을 위한 각종 협약 및 시민운동이 활발히 이루어지고 있다. 이와 관련하여 모든 제품을 생산하기 위한 원료, 생산공정 및 제품의 리사이클 과정에 대한 LCA 평가를 도입하여 인증을 하기 위한 ISO 14000 series도 도입되어 실행되고 있다. 이와 같이 온 세계가 환경 보전 또는 보호와 관

련하여 깊은 관심을 갖게 된 것은 개발 및 산업화 과정에서 공기의 정화, 수자원 함양, 홍수 및 산사태 방지, 레크리에이션 공간 제공 등 다양한 기능을 지니고 있는 숲이 급격히 감소되어 인구 증가 및 산업 발전으로 말미암아 오염되는 대기 정화 능력이 급격히 떨어짐으로써 최근 기후의 급변, 지구의 온난화, 생태계의 파괴 뿐만 아니라 비가 조금만 내려도 홍수와 산사태로 홍역을 앓고 있는 실정이다. 최근 우리나라에서도 남부 및 영동지방에서 갑작스런 대량의 강우 현상으로 수십 년 만의 큰 재해를 겪어 아직도 그 후유증으로부터 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

• 이 논문은 2001년도 강원대학교 기성회교수국외파견연구 지원에 의하여 연구되었음  
• 강원대학교 산림과학대학 제지공학과(Department of Paper Science & Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

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

이러한 문제를 해결하기 위해서는 모든 산업의 공정을 환경친화형으로 전환해야 할 뿐만 아니라 숲을 보전하는 것 또한 매우 중대한 과제라고 할 수 있다. 숲을 보전하기 위해서 고려될 수 있는 방법의 하나는 폐지의 재활용이다. 폐지를 재활용함으로써 그 만큼 목재 벌채량을 감소시킬 수 있기 때문에 숲의 보전에 크게 기여할 수 있다. 미국 임산물연구소의 연구 보고에 따르면 도시 폐기물로 나오는 폐지를 재활용할 경우 특히 오존층의 파괴와 지구 온난화의 주범이라 할 수 있는 온실가스 배출량을 약 10~20%를 감소시킬 수 있다고 한다.<sup>1)</sup>

그러나 폐지의 재활용을 증대시키는데 있어서 큰 장애 두 가지 중 한 가지는 폐지의 탈묵에 따른 환경 오염이다. 이러한 환경 오염 문제를 해결하기 위한 일환으로 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그 대표적인 예로 효소 탈묵, 중성 탈묵, 초음파 탈묵 및 오존 탈묵<sup>2-4)</sup> 등 가능한 한 에너지 및 약품 사용량을 줄이고, 환경 오염을 줄일 수 있는 환경 친화형 탈묵 기술들의 개발을 위한 연구가 활발히 진행되었다. 또 다른 한 가지 문제는 백상지 또는 고급용지의 제조에 사용되는 표백 화학펄프의 경우 리사이클된 펄프 섬유가 버진 펄프에 비하여 매우 열등한 제지적성을 지니는 것이다. 즉, 섬유의 각질화(hornification) 현상<sup>5-7)</sup>으로 말미암아 이로부터 제조된 종이의 강도적 성질<sup>8-11)</sup> 및 인쇄적성이 불량하고, 제지적성을 개선하기 위하여 일반적으로 적용하고 있는 고해처리를 할 경우 미세분 발생 및 섬유 손상이 일어나는 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 일환으로 국내에서 연구가 수행된 바 있는데, 이 등<sup>12-14)</sup>은 OCC의 강도적 성질을 개선하기 위하여 화학적 기계적 처리 방법을 적용한 바 있으며, Seth 등<sup>15)</sup>은 중농도에서의 기계적 처리가 미치는 영향에 대하여 연구를 수행한 바 있다. 본 연구자는 특히 재생섬유의 기계적 처리 시 발생될 수 있는 섬유의 파괴를 최소화할 수 있는 방법을 찾기 위하여 펄프를 Hobart mixer로 처리한 결과 섬유의 손상이 거의 없이 약간의 외부소섬유화(external fibrillation)를 수반하면서 내부소섬유화 발생과 더불어 여수도 감소와 WRV 증가 효과를 나타내어 펄프의 제지적성 개선 가능성이 확인되었다.<sup>16)</sup>

따라서 본 연구에서는 섬유의 손상을 최소화하면서 제지적성 및 품질을 개선할 수 있는 방안을 강구하기 위한 일환으로 내부소섬유화(internal fibrillation)의 효과를 검토하고자 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시 재료

공시재료로는 국내 A 제지회사로부터 시판 침엽수 표백 크라프트 펄프를 분양받아 사용하였다.

### 2.2 실험 방법

#### 2.2.1 재생섬유 조제

침엽수 표백 크라프트 펄프를 실험실용 펄프 해리기(L&W사, 3,000 rpm)로 해리시킨 후, 실험실용 valley beater로 고해하여 여수도를 400 ml가 되도록 조절하고, TAPPI Standard에 의거 수초지를 제조하였다가, 다시 해리하여 다시 수초지를 제조하는 방식으로 2회 리사이클 시키는 방법으로 재생섬유를 조제하였다.

#### 2.2.2 펄프 섬유의 기계적 처리

기계적 처리를 통한 내부소섬유화의 도입이 펄프 특성 및 종이 물성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시판 침엽수 표백 크라프트 펄프를 실험실용 해리기로 3% 농도에서 해리시킨 후, 섬유간 결합에 영향을 미칠 수 있는 미세분을 제거한 후 5, 15, 30 및 45%의 농도에서 Hobart mixer로 30분간 처리를 실시하였다. 재생섬유의 기계적 처리는 미세분이 포함된 경우와 포함되지 않은 경우로 나누어 10, 20 및 30%의 농도에서 실시하였다.

#### 2.2.3 펄프의 WRV 및 종이 물성 측정

기계적 처리가 펄프의 특성 및 종이 물성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 상기 조건으로 처리한 펄프의 WRV를 측정하고, TAPPI Standard에 의거 평량 60 g/m<sup>2</sup>의 수초지를 제조하여, 조습처리를 실시한 후 주요 종이 물성을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 내부소섬유화가 침엽수 표백 화학펄프의 특성에 미치는 영향

Hobart mixer로 기계적 처리를 실시한 펄프로 제조한 종이의 물성은 Figs. 1 - 6에서 보는 바와 같이 겉보기 밀도, 인장지수, 인열지수 및 Scott bond에 있어서 전반적으로 개선되는 경향을 보여주었으며, 처리 농도의 증가는 개선 효과를 더욱 높여주는 결과를 가져왔다. 고해 시에 비하면 매우 적은 개선 효과이기는 하나, 원 등<sup>13)</sup>의 보고에서 언급된 바와 같이 외부소섬유화를 거의 수반하지 않으면서, 단지 내부소섬유화만 도입되었으며, 기계적 처리 농도가 증가됨에 따라 내부소섬유화가 증가됨과 동시에 Fig. 4에서 보는 바와 같이 습윤 제로-스팬 인장지수가 크게 감소하여 섬유 자체의 강도가 처리 농도의 증가와 더불어 급격히 감소하였음에도 불구하고, 소량이기는 하나 개선 효과

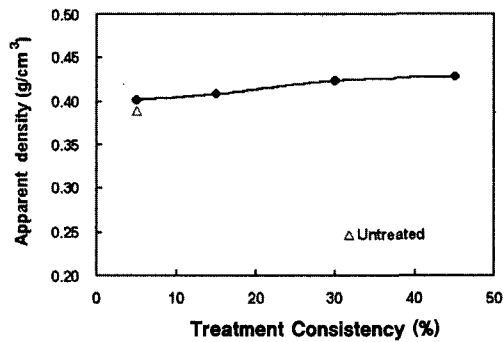


Fig. 1. Effect of mechanical treatment consistency of SwBKP on the apparent density

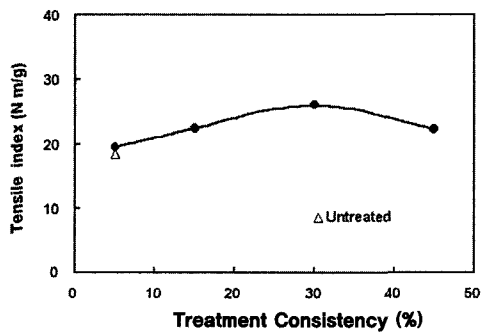


Fig. 2. Effect of mechanical treatment consistency of SwBKP on the tensile index

를 나타낸 것은 내부소섬유화도 종이의 물성에 적지 않게 기여함을 의미한다. Fig. 3은 내부소섬유화한 펄프의 WRV와 인장지수 사이의 관계를 나타낸 것으로 고농도 처리에서 다소 불균일한 처리가 이루어졌음에도 불구하고, 약 0.81의 결정계수 값이 얻어져 기계적 처리에 의한 펄프의 내부소섬유화 시에도 WRV와 중

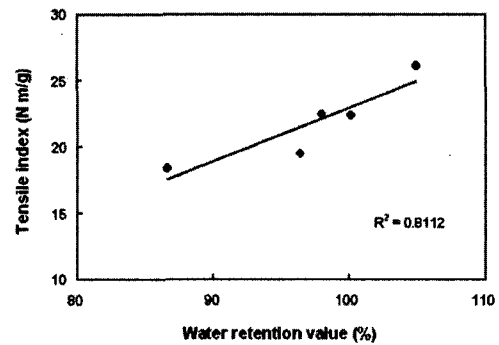


Fig. 3. Relationship between WRV and tensile index of mechanically treated SwBKP

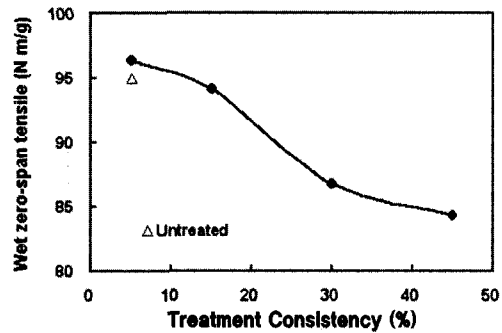


Fig. 4. Effect of mechanical treatment consistency of SwBKP on the wet zero-span tensile index

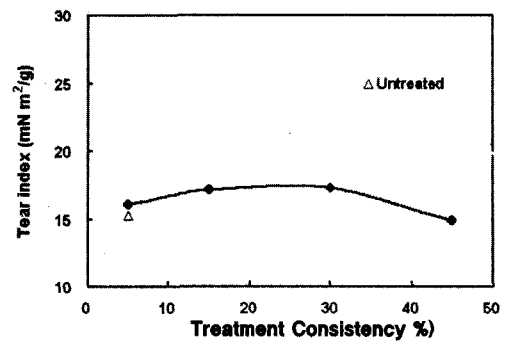


Fig. 5. Effect of mechanical treatment consistency of SwBKP on the tear index

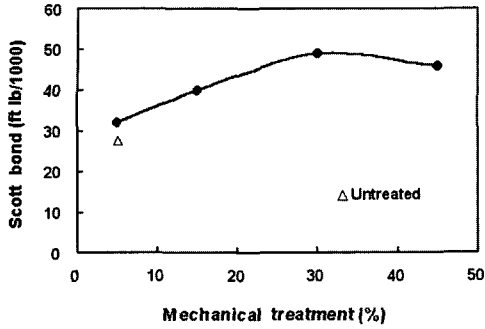


Fig. 6. Effect of mechanical treatment consistency of SwBKP on the Scott bond

이의 인장지수 사이에 밀접한 상관관계가 존재함을 확인할 수 있었다. 또한 인열지수도 내부소섬유화가 도입됨에 따라 처리 농도 30%까지는 증가하는 경향을 보여주었다. 특히 처리 농도 증가에 따른 Scott bond의 개선 효과는 매우 높게 나타났다. 따라서 내부소섬유화가 비록 섬유 자체의 강도를 떨어뜨리는 요인으로 작용하기는 하나, 이러한 현상은 고해시에도 발생되며, 근본적으로 섬유를 손상시킨다고 볼 수 없다. 이상의 결과로부터 내부소섬유화를 통하여 섬유의 수화 및 팽윤을 개선시키고, 섬유의 유연성을 개선시켜<sup>13)</sup> 섬유 간결합을 증가시켜줌을 확인할 수 있었다.

### 3.2 내부소섬유화가 재생섬유의 특성에 미치는 영향

내부소섬유화를 통하여 재생섬유의 제지특성을 개선하는 것이 가능한지의 여부를 조사하기 위하여

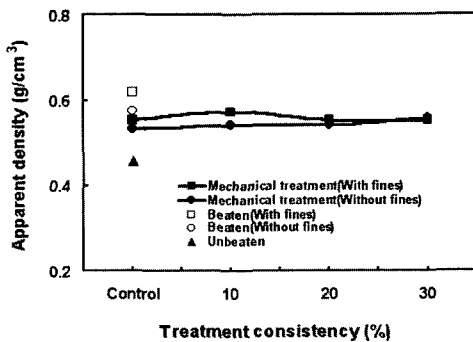


Fig. 8. Effect of mechanical treatment consistency of recycled SwBKP on the apparent density

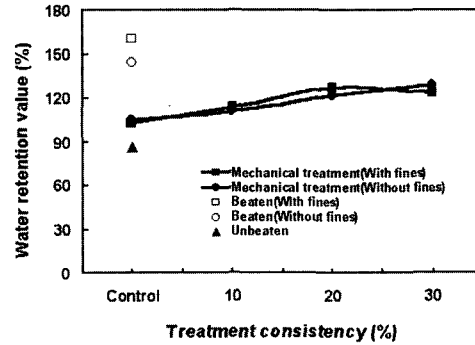


Fig. 7. Effect of mechanical treatment consistency of recycled SwBKP on the water retention value

Hobart mixer로 다양한 조건을 적용하여 기계적 처리를 실시한 결과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 비록 고해에 의하여 얻을 수 있는 WRV보다 낮은 값을 나타 내기는 했지만 재생섬유의 경우에도 기계적 처리에 의한 내부소섬유화를 통하여 WRV의 개선 효과를 얻을 수 있었으며, 기계적 처리 농도의 증가에 따른 WRV의 개선 효과는 버진펄프에 비하여 크게 나타났다.

그러나 기계적 처리를 통하여 내부소섬유화를 일으킨 재생섬유로부터 제조된 종이의 물성은 버진펄프와는 다른 경향을 보여주었다. 즉 Fig. 8에서 보는 바와 같이 미세분이 포함되지 않았을 경우에는 기계적 처리 농도가 증가됨에 따라 매우 완만하게 결보기 밀도가 증가되었으나, 미세분이 함유된 상태에서 기계적 처리를 하였을 경우에는 처리 농도의 증가에도 불구하고 큰 변화를 나타내지 않았다. 인장지수(Fig. 9), 건조 제로-스팬 인장지수(Fig. 10) 및 파열지수(Fig. 13)는 처리 농도가 증가됨에 따라 감소되는 경향을 보여주었

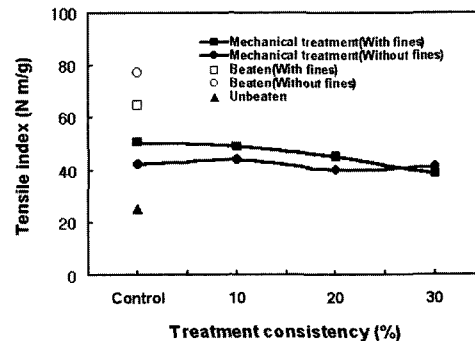


Fig. 9. Effect of mechanical treatment consistency of recycled SwBKP on the tensile index

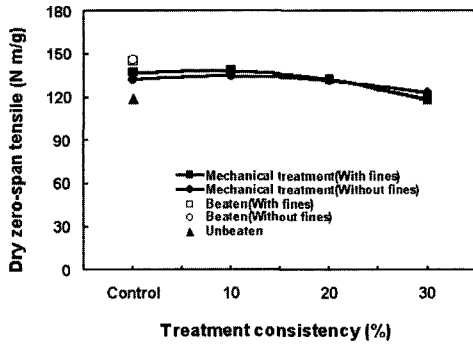


Fig. 10. Effect of mechanical treatment consistency of recycled SwBKP on the dry zero-span tensile index

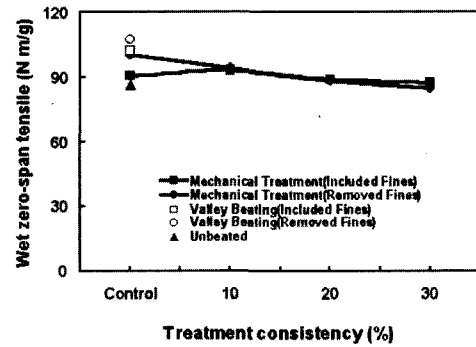


Fig. 11. Effect of mechanical treatment consistency of recycled SwBKP on the wet zero-span tensile index

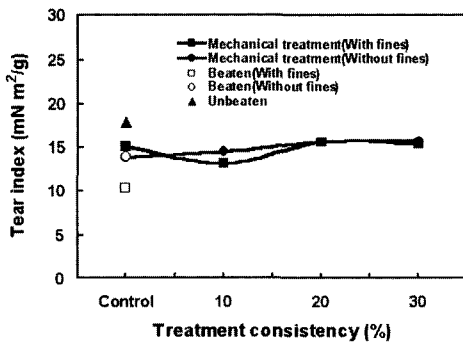


Fig. 12. Effect of mechanical treatment consistency of recycled SwBKP on the tear index

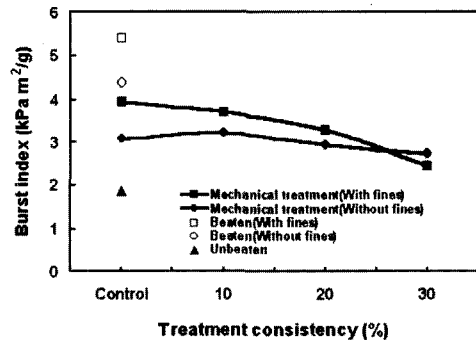


Fig. 13. Effect of mechanical treatment consistency of recycled SwBKP on the burst index

는데, 이와 같은 결과가 나온 것은 재생섬유의 경우 화학펄프 리사이클 시 큰 문제로 대두되는 각질화 현상으로 말미암아 기계적 처리에 의한 섬유의 손상이 버진펄프에 비하여 심하게 일어나기 때문에 Fig. 11에서 보는 바와 같이 섬유의 간접적인 강도 수치로 사용될 수 있는 습윤 제로-스팬 인장지수의 값이 처리 농도가 증가됨에 따라 급격히 감소되어, 비록 기계적 처리에 의하여 내부소섬유화가 도입되었음에도 불구하고, 전반적인 강도가 감소되는 경향을 보여주었다. 반면에 인열지수는 처리 농도의 증가와 더불어 다소 개선되는 경향을 나타내었다. 한편 인열강도를 제외한 본 연구에서 측정된 대부분의 물성들은 미세분 존재 시 다소 높은 값을 나타내었다. 비록 미세분의 각질화가 일어났다고는 하나, 비표면적의 증가로 물을 잡아줄 수 있는 능력(WRV)의 증가로 섬유간 결합을 다소 개선시켜주어 인열지수를 제외한 대부분의 경우 다소 개선된

결과를 가져온 것으로 생각된다.

따라서 화학펄프 재생섬유의 경우에는 일부 성질이 개선되기는 하나 섬유 자체의 강도가 약화되어 결국 종이의 강도적 성질을 감소시키는 결과를 초래하기 때문에 기계적 처리에 의한 종이 물성의 개선은 부적절한 것으로 평가되었으나, 고농도 기계적 처리에 의하여 형성된 컵을 제거해 줄 경우 인장강도 등의 일부 강도적 성질이 다소 개선 가능할 것으로 기대된다.

## 4. 결론

내부소섬유화가 종이의 물성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 SwBKP와 이 펄프를 2회 리사이클한 펄프에 대하여 Hobart mixer를 이용하여 내부소섬유화를 일으키고, 수초지를 제조하여 그 물성을 조사하였

다. 버진펄프의 경우에는 내부소섬유화 만으로도 펄프의 WRV 및 제반 종이 물성의 개선이 가능하였으나, 재생섬유의 경우에는 섬유의 각질화로 말미암은 섬유강도의 약화와 각질화된 미세분 함량의 증가로 인열지수를 제외한 대부분의 강도에 있어서 개선 효과를 확인할 수 없었으며, 처리 농도의 증가는 종이의 강도를 약화시키는 결과를 가져왔다. 따라서 화학펄프 재생섬유의 경우 기계적인 처리만을 통한 물성 개선이 어려운 것으로 확인되었으나, 고농도 기계적 처리 결과 형성된 껍을 제거해줄 경우 인장강도 등의 강도적 성질이 다소 개선될 수 있을 것으로 기대된다.

## 인용문헌

1. Ince, P.J., Skog, K.E. and Heath, L.S., Recycling in the big picture-the really big picture, *Resource Recycling*, 14(6):41(1995).
2. Won, J.M., Noh, K.I. and Jo, B.M., Deinking of white ledger with ozone, *Journal of Korea TAPPI* 32(1):41(2000).
3. Jo, B.M. and Won, J.M., Effect of ozonation consistency on the ink removal efficiency and pulp characteristics, *Journal of Korea TAPPI* 33(3):18(2001).
4. Won, J.M. and Noh, K.I., Ozone deinking mechanism of white ledger, *Journal of Korea TAPPI* 33(3):24(2001).
5. Lyne, L.M. and Gallay, W., The effect of drying and heating on the swelling of cellulose fibers and paper strength, *Tappi*, 33(9):429(1950).
6. Carlsson, G. and Lindström, T., Hornification of cellulosic fibers during wet pressing, *Svensk Papperstidning*, 87(15):R119(1984).
7. Laivins. G.V. and Scallan. A.M.. The influence of drying and beating on the swelling of fines, *JPPS*, 22(5):J178(1996).
8. Bovin, A., Hartler, N. and Teder, A., Changes in pulp quality due to repeated papermaking, *Paper Technology*, 14(5):261(1973).
9. Horn, R.A., What are the effects of recycling on fiber and paper properties, *Paper Trade Journal*, 159(7):78(1975).
10. Chatterjee, A., Roy, D.N. and Whiting, P., Effect of recycling on strength, optical and surface properties of handsheets, *Proceedings of 78th Annual Meeting, Technical Section, CPPA*, p. A277(1992).
11. Minor, J.L. and Atalla, R.H., Strength loss in recycled fibers and methods of restoration, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 266:215(1992).
12. Lee, J.H., Seo, Y.B. and Jeon, Y., Strength property improvement of OCC-based paper by chemical and mechanical treatment(I), *J. Korea TAPPI*, 32(1):10(2000).
13. Lee, J.H., Seo, Y.B., Jeon, Y., Lee, H.L. and Shin, J.H., Strength property improvement of OCC-based paper by chemical and mechanical treatment(II), *J. Korea TAPPI*, 32(2):1(2000).
14. Lee, J.H., Seo, Y.B., Jeon, Y., Lee, H.L. and Shin, J.H., Strength property improvement of OCC-based paper by chemical and mechanical treatment(III), *J. Korea TAPPI*, 32(2):8(2000).
15. Seth, R.S., Francis, D.W. and Bennington, C.P.J., The effect of mechanical treatment during medium stock concentration, *Appita*, 46(1):54(1993).
16. Won, J.M., Lee, J.H. and Han, C.S., Effect of curling on the characteristics of pulp fibers, *Journal of Korea TAPPI*, 33(1):45(2001).