

강도 개선을 위한 분급된 OCC 펄프의 고농도 펄핑 처리 기술

허용대^{*1} · 이상길 · 이학래 · 윤혜정[†]
(2005년 6월 24일 접수: 2005년 11월 15일 채택)

High Consistency Pulping Treatment of Fractionated OCC Pulp for Improving Strength

Young Dae Hur^{*1}, Sang Gil Lee, Hak Lae Lee, and Hye Jung Youn[†]
(Received on June 24, 2005: Accepted on November 15, 2005)

ABSTRACT

The mechanical strength is the prime requisite for linerboard and corrugating mediums. Repeatedly recycled OCC fibers show less suitable property for papermaking mostly due to hornification and reduced fiber length. To overcome these problems many researches including fractionation, enzymatic treatment, and chemical or mechanical treatments of fibers have been carried out. In this study, the effect of mechanical treatment by high consistency pulping on the characteristics of recycled fibers as well as mechanical properties of sheets were investigated. Results on the strength properties of handsheets made of recycled fibers that were treated to same freeness level by beating and high consistency pulping, respectively, showed that beating treatment was more efficient in improving strength. Drainage and recycling potential of the fibers treated by high consistency pulping, however, were expected to be superior to beating because fines content and fiber length didn't change significantly.

Keywords : OCC, recycling, mechanical treatment, high consistency pulping, beating, hornification

• 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 환경재료과학전공 (Program in Environmental Materials Science, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, South Korea)

*1 현주소 : 계성제지(주)연구소

† 주저자 (Corresponding author) : E-mail ; page94@snu.ac.kr

1. 서론

국내 제지산업이 지난 2-30년간 급속한 성장을 이루어 현재의 위치에 오기까지는 국제 규모의 시설을 갖추는 한편 제지기술에 대한 꾸준한 노력을 경주하여 왔기 때문이다. 그러나 중국의 제지산업의 괄목할만한 성장과 함께 재활용 섬유원료에 대한 수요가 증가할수록 국내 폐지의 자국내 순환이 감소될 것이 분명하며, 외국으로부터 수입되고 있는 폐지자원의 물량 확보 역시 크게 감소할 것으로 예상되고 있다. 이는 다시 우리나라로 수입되거나 국내에서 자체적으로 재활용되는 고지 자원의 품질이 저하될 것임을 시사하고 있다. 하지만 국내 제지업계로서는 급속하게 늘어만 가는 중국의 폐지 자원에 대한 원료 요구량으로 인해 발생하는 이러한 문제를 현실적으로 타개할 수 있는 구체적인 대안의 마련이 쉽지 않은 것이 현실이다.

골판지원지를 포함한 산업용지의 경우에는 2001년 340만톤을 생산하였으며, 이들의 원료로는 국산 OCC(KOCC)가 346만톤, 수입 OCC(AOCC)가 48만톤 사용되어 대부분 국내에서 조달되고 있음을 알 수 있다. KOCC는 수많은 재생과정을 거친 원료이기 때문에 섬유가 많이 각질화 되어 있어 섬유의 유연성과 팽윤성이 떨어질 뿐 아니라 여러 차례의 재생과정을 거치면서 과도하게 단섬유화 되어 강도와 탈수성 저하 등 품질과 공정상에 악영향을 미치고 있다.¹⁻³⁾

특히 KOCC는 미세분 함량이 30% 이상이라는 사실이 이러한 문제를 더욱 크게 일으키는 원인이 되고 있다. 따라서 열악한 원료적 특성을 지닌 KOCC의 원료적 손실을 감소시키고 공정 트러블을 최소화하기 위한 방법이 모색되어야만 할 것이다. 이러한 방안에는 여러 가지 방법이 있을 수 있다. 여기에는 KOCC 원료의 기계적 처리, 분급, 화학적 처리, 생물학적 처리, 천연펄프와의 혼합, 다층초지 등의 기술이 포함된다.^{4,5)} 이처럼 다양한 기술 가운데 최선의 방안을 선택하기 위해서는 재생횟수에 따른 강도 저하를 억제하는 효과가 있을 뿐 아니라 조업성, 생산원가, 재활용성, 환경문제 등에도 합리적인 방법을 선택해야만 할 것이다.

본 연구에서는 여러 가지 방법 중에 분급과 기계

적 처리를 통해 종이의 특성을 향상시키고자 하였다. 분급에 의한 재활용 섬유 자원의 효율적 활용 방안으로 분급에 의해 생성된 장섬유분에 대해 선택적으로 기계적 처리를 실시한 다음 다층 초지 시 적합한 지층에 사용함으로써 종이의 물성을 개선할 수 있으며, 상대적으로 섬유장이 짧은 단섬유분에 대해서는 기계적 처리를 행하지 않음으로써 섬유의 재활용 포텐셜을 제고하고 에너지 절감과 탈수성 개선을 통해 생산성 증대를 가져올 수 있다.⁶⁾ 대표적인 기계적 처리 방안으로 고해 및 리파이닝을 들 수 있는데, 이러한 기계적 처리에 대해서는 일부 연구가 시행된 바 있다.⁷⁾ 그러나, 분급된 KOCC의 장섬유분에 고해 처리를 실시할 경우 강도는 개선될 수 있으나 섬유 특성이 더욱 열악해지는 것을 알 수 있었다. 재활용 섬유의 일반적인 고해처리는 과도한 단섬유화를 유발할 뿐 아니라 고해 섬유를 건조할 경우 더욱 각질화가 촉진된다. 따라서 본 연구에서는 상대적으로 고해의 부정적 효과를 적게 발생시키며 KOCC의 강도개선 및 재활용 특성 제고를 가능하게 할 수 있는 방안을 모색하고자 하였으며, 그 방안의 하나로써 고농도 펄핑을 이용한 완만한 섬유 처리 기술 활용을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 원료로 S제지(주)의 분급기에서 채취한 KOCC의 장섬유분을 사용하였다.

2.2 장섬유분의 기계적처리

2.2.1 고농도 펄핑

펄핑 처리를 위해 분급기에서 장섬유분과 단섬유분의 유량비가 2:8이 되도록 분급하고 지료를 농축한 후 실험용 고농도 펄퍼를 이용하여 고농도 펄핑을 실시하였다. 펄핑 조건은 농도 10%, 온도 60℃, 로터 회전수 3,500 rpm을 적용하였으며 펄핑 시간은 10, 20, 30, 60, 120분으로 변화시켰다. 농도에 따른 펄핑효과를 분석하기 위해 지료 농도를 6, 8, 10%로 달리하고 처리 조건은 앞선 조건과 동일하게 하였다.

2.2.2 고농도 펄핑 및 고해처리

고해처리는 TAPPI Test Method T200 om-89에 의거하여 실험실용 Valley Beater를 사용하여 실시하였다. 같은 여수도 수준에서 섬유 및 제지 특성을 평가하기 위해 펄핑시간을 3, 5, 7, 10분으로 변화시키고, 여수도를 측정한 후에 이에 근거하여 고해 처리를 실시하였다. 여수도 측정 결과를 바탕으로 5분 해리 후 2, 4, 6분 고해를 실시하였다.

2.3 섬유특성 평가

분급과 기계적 처리 전후의 섬유특성 변화를 측정하였다. 측정항목은 여수도, WRV, 미세분 함량, 미해리분 함량, 섬유장이었다.

2.3 수초지의 물성 평가

섬유특성을 평가한 후 평량 100 g/m²의 수초지를 제조하여 TAPPI Test method T402 sp-98에 따라 온도 23±1.0℃, 상대습도 50±2.0%에서 24시간 조습처리를 실시하고 인장강도, 파열강도, 압축강도를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고농도 펄핑 시간의 영향

Figs. 1과 2는 펄핑 시간 변화에 따른 여수도와 WRV 결과를 나타내고 있다. 처리시간이 증가함에 따라 여수도는 감소하였고, WRV는 증가하였다. 하지만 Figs. 3 및 4의 미세분 함량과 평균섬유장을

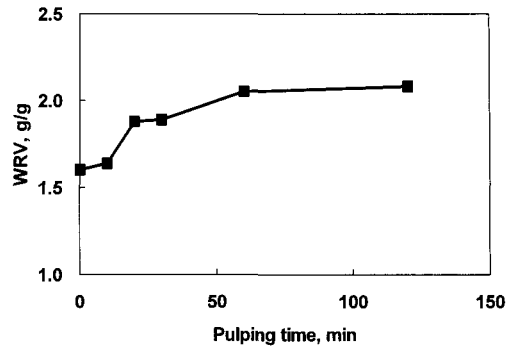


Fig. 2. Effect of pulping time on WRV.

결과를 보면 펄핑 시간이 증가하여도 미세분 함량과 섬유장은 일정한 수준에서 유지되었음을 알 수 있다. 즉 처리시간에 따라 여수도는 감소하였고, WRV는 증가하였으나, 미세분 함량과 평균 섬유장에 변화가 없었다는 사실은 섬유의 고농도 펄퍼를

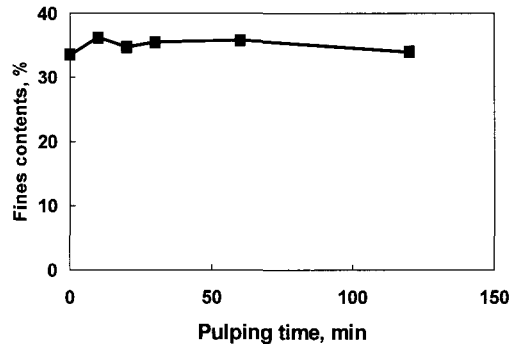


Fig. 3. Effect of pulping time on fines contents.

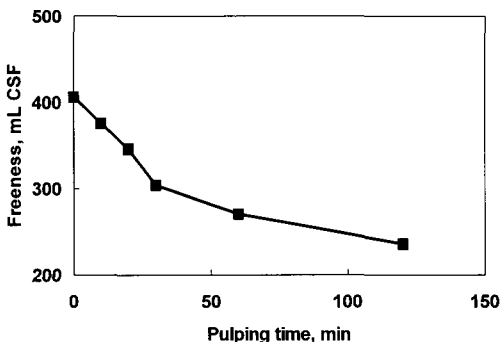


Fig. 1. Effect of pulping time on freeness.

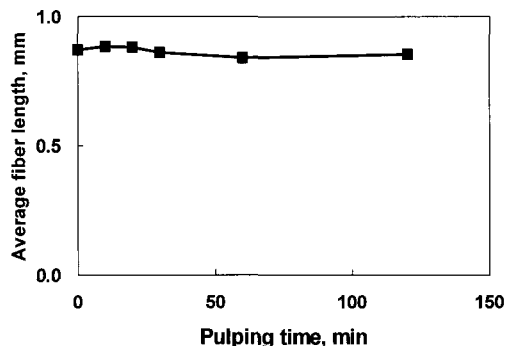


Fig. 4. Effect of pulping time on fiber length.

이용한 펄핑 처리는 섬유를 절단시키지는 않으나 피브릴화 현상은 크게 일으키는 처리법임을 보여주고 있다. 이러한 현상은 이후 재활용 시에 섬유장이 감소되지 않은 상태로 회수될 수 있음을 의미한다. 이는 우리나라와 같이 재활용 횟수가 높은 경우에 매우 유용한 처리법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

고농도 펄핑에 의해 섬유에 피브릴화가 일어난다는 사실을 강도적 성질에서도 확인할 수 있었다. Figs. 5 및 6에서 보는 것과 같이 펄핑시간이 증가함에 따라 강도가 계속적으로 증가하였다. 종이의 강도는 섬유 자체의 강도와 섬유간 결합강도 및 결합면적에 의해서 결정되며 펄핑 처리와 같은 기계적 처리에 의해서 섬유의 자체강도가 증가할 수는 없으므로 섬유간 결합면적이 증가하였음을 보여주는 것이라 할 수 있다. 이러한 결합면적의 증가는

섬유의 피브릴화에 의한 것으로 판단된다.

고농도 펄핑 처리를 실시할 경우 초반 30분까지 지료의 여수도는 급격히 감소하다가 30분 이후에는 감소폭이 줄어들음을 알 수 있다. 강도적 성질에서도 이와 같은 성질이 나타나는데 초반 30분까지는 인장강도와 파열강도가 급격히 증가하다가 30분 이후부터는 강도의 증가폭이 완화된 것을 알 수 있다. 이는 고농도 펄핑 초기에 피브릴화가 급격히 일어나다가 이후에는 피브릴화의 진행이 느려짐을 의미한다. 따라서 과도한 펄핑은 투입된 에너지에 비해 효율이 떨어지므로 적절한 시간동안 펄핑을 진행하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

3.2 농도변화에 따른 고농도 펄핑

일반적으로 기계적 처리는 농도가 낮을수록 단 섬유화가 많이 일어나고 농도가 높을수록 피브릴화가 많이 일어나는 것으로 알려져 있다. 따라서 농도에 따른 고농도 펄핑의 영향을 알아보기 위해 펄핑 농도를 6, 8, 10%로 변화시키고 농도에 따른 펄핑 효과를 평가하였다. 3.1의 결과에서 보듯이 30분 이상의 고농도 펄핑은 강도의 증가가 미미하였기 때문에 펄핑 시간을 10, 20, 30분으로 줄여서 처리하였다. 이 때 농도를 낮추기 위한 희석수는 현장 사일로에서 채취한 백수를 사용하였다. 백수 속에 포함된 고형분은 400 mesh 와이어로 여과하여 제거하였다.

Figs. 7-10은 펄핑시간과 농도수준에 따른 여수도, WRV, 미세분함량, 평균섬유장을 나타낸 것이다. 펄핑시간이 증가함에 따라 여수도는 감소하였고, WRV는 증가하였다. 하지만 미세분함량과 평균섬유장은 변화가 없었다. 농도는 펄핑 처리 효과에 뚜렷한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 실제 현장 적용에 있어서는 농도가 높은 상태에서 처리하는 것이 단위시간당, 단위부피당 더 많은 양의 원료를 처리할 수 있기 때문에 설비적인 측면과 에너지 절감 측면에서 볼 때 더 유리할 것으로 판단된다.

수초지의 강도를 평가한 결과는 Figs. 11과 12에 나타내었다. 펄핑 시간이 증가함에 따라 강도는 증가하였으며, 펄핑 농도에 따라서는 뚜렷한 경향을 보이지는 않았다.

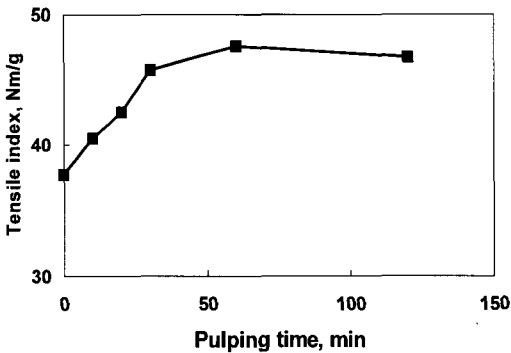


Fig. 5. Effect of pulping time on tensile index of handsheet.

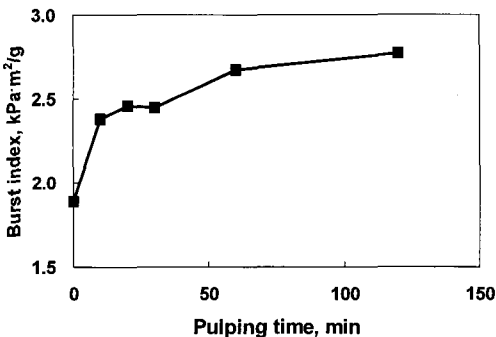


Fig. 6. Effect of pulping time on burst index of handsheet.

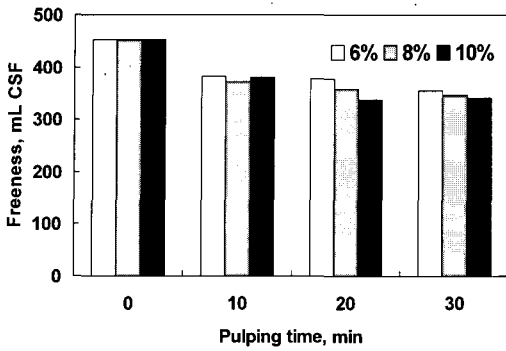


Fig. 7. Effects of pulping time and consistency on freeness.

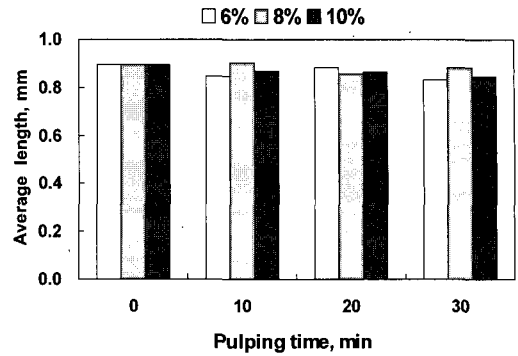


Fig. 10. Effects of pulping time and consistency on fiber length.

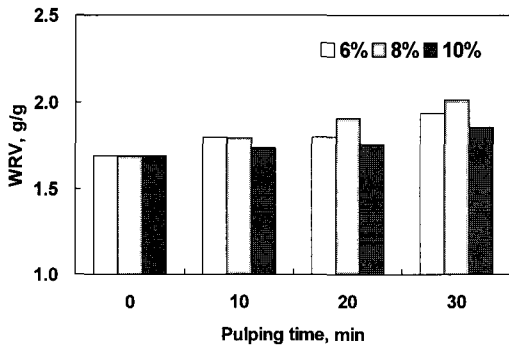


Fig. 8. Effects of pulping time and consistency on WRV.

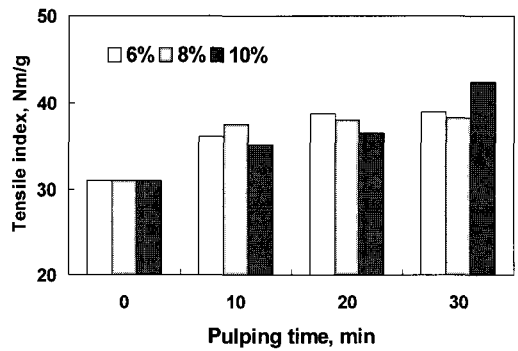


Fig. 11. Effects of pulping time and consistency on tensile index.

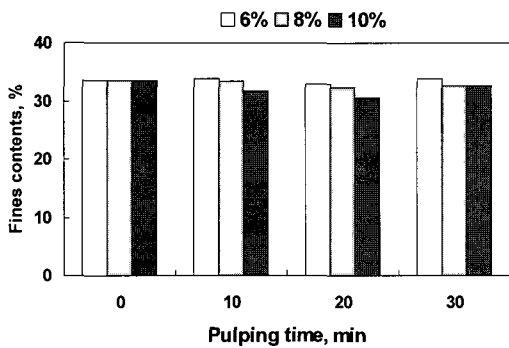


Fig. 9. Effects of pulping time and consistency on fines contents.

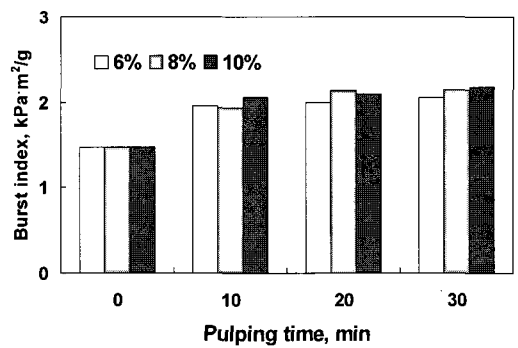


Fig. 12. Effects of pulping time and consistency on burst index.

3.3 고농도 펄핑 vs 고해

펄핑 처리가 기존의 고해 처리에 비해서 얼마만큼의 효과가 있는지 살펴보기 위해서 실험실용 Valley beater를 이용하여 고해를 실시하고 그 효과를 서로 비교하였다.

펄핑 시간과 고해시간에 따른 여수도와 WRV 결과를 Figs. 13과 14에 나타내었다. 펄핑 시간과 고해시간이 증가할수록 여수도는 모두 감소하였다. 특히 펄핑에 비해 강력한 기계적 처리방법인 고해의 경우 여수도 감소는 급격하게 발생하였다.

Figs. 15 및 16은 각각 미세분 함량과 평균 섬유장을 나타낸 것으로 앞선 결과에서처럼 펄핑 처리를 실시할 경우에는 처리 시간에 따라 미세분 함량과 섬유장이 거의 변화되지 않았으나 고해처리를 실시한 경우에는 두 가지 모두 지속적으로 감소하

였다. 이는 고해와 같은 강한 기계적 처리 시 섬유 단섬유화 현상이 계속 발생되고 이에 따라 미세분도 점점 증가하고 있기 때문이다.

고농도 펄핑과 고해처리를 거친 각각의 KOCC 지료를 사용하여 수초를 실시하여 강도를 평가한 결과를 Figs. 17과 18에 도시하였다. 같은 여수도 수준에서 강도를 비교하면 고해처리가 펄핑처리보다 더 높은 수치를 나타내었다. 이는 강력한 기계적 처리인 고해처리가 섬유를 피브릴화시키고 단섬유화시키며 미세분을 발생시키는 등의 효과를 발생시켜 종이의 강도를 향상시키는 것이 온화한 기계적 처리인 펄핑을 통해 피브릴화만 발생시켜 강도를 향상시키는 것보다 강도발현에는 더 효과적이라는 것을 보여준다. 그러나 미세분이 발생할 경우 강도는 향상되지만 초지기 상에서 보류가 되지 않아 백

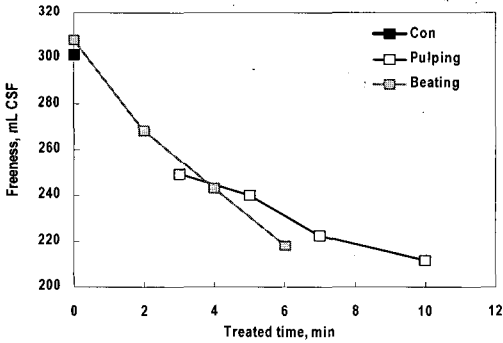


Fig. 13. Effects of pulping and beating treatments on freeness.

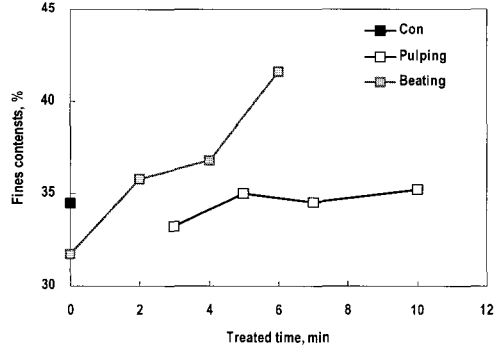


Fig. 15. Effects of pulping and beating treatments on fines contents.

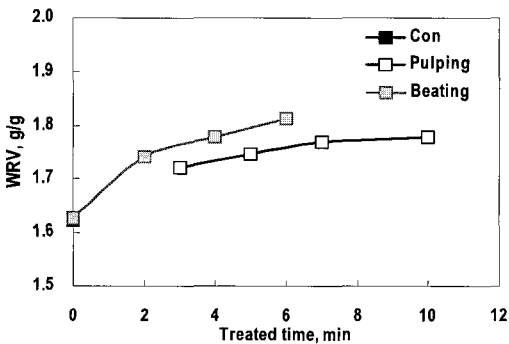


Fig. 14. Effects of pulping and beating treatments on WRV.

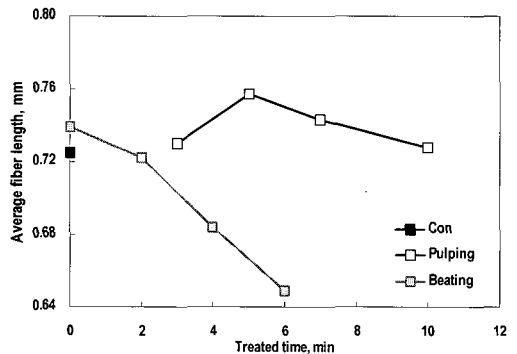


Fig. 16. Effects of pulping and beating treatments on fiber length.

수계 내에서 계속 순환된다면 탈수성만 악화시키고 각종 첨가제의 효능을 저하시키는 등 종이 제조 공정에 악영향을 미칠 것으로 생각된다. 또 지필에 분류된다고 하더라도 다시 재활용 과정이 반복된다면 이러한 미세분은 다시 초지계로 유입되어 공정상태를 더욱 악화시킬 수 있다. 따라서 장기적인 섬유자원의 활용 효과를 고려한다면 섬유의 재생 포텐셜 또한 섬유의 기계적 처리 방법의 선정에 중요한 인자로 고려되어야 한다고 판단된다.

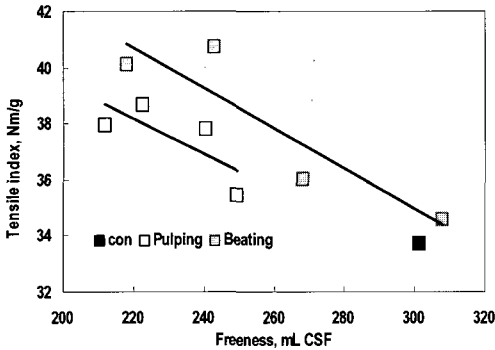


Fig. 17. Effects of pulping and beating treatments on tensile index.

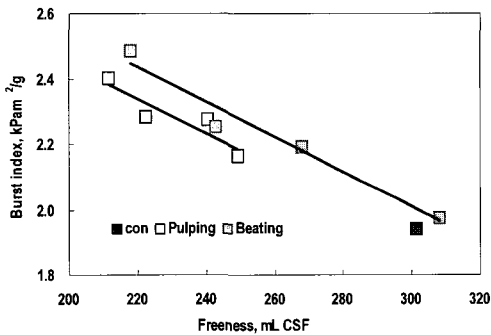


Fig. 18. Effects of pulping and beating treatments on burst index.

4. 결론

점점 더 열악해져 가는 KOCC 섬유를 주로 사용하여 산업용지를 생산하는 국내 라이너지 공장에서

는 과도한 강도저하를 방지하고 공정 상태를 개선하기 위해 많은 노력을 기울이고 있지만 아직까지도 그 기본이 되는 유입 원료에 대한 체계적인 연구가 미흡하였다. 특히 국내에서 발생하는 골판지 고지인 KOCC는 재활용률 증가와 재활용 횟수 증대에 따라서 타 OCC와도 다른 특이성을 지니고 있다.

이러한 원료의 특이성을 지닌 KOCC의 강도 향상을 위한 방안으로 기계적 처리 조건을 설정하기 위한 기초 자료를 얻고, 실제 현장에 대한 활용성을 평가하기 위해 본 연구를 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 고농도 펄핑 처리를 실시하면 처리 시간에 따라 강도는 지속적으로 증가하는 경향을 보였으며, 섬유장은 변하지 않았고 미세분함량도 증가하지 않았다.

2. 농도에 따른 펄핑 처리 시 원료의 섬유특성과 제조된 종이의 제지 특성에 특별한 경향을 보이지 않았으나 높은 농도로 펄핑처리를 실시하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

3. 같은 여수도 수준에서 펄핑 처리와 고해 처리를 비교해본 결과 고해 처리가 우수한 강도 특성을 보였다. 그러나 고해 처리는 미세분을 증가시키며, 섬유장을 감소시키는 부정적인 효과를 동반하는 단점이 나타났다. 반면, 고농도 펄핑 처리는 미세분 발생 및 섬유장 감소를 덜 일으킴으로써 공정 및 섬유의 재활용 측면에서는 매우 유리할 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 산업자원부 청정생산기술개발사업의 지원으로 수행되었음. 또한 이 연구의 일부를 수행함에 있어 2005 Brain Korea 21 핵심사업의 지원이 있었음.

인용문헌

- Howard, J. M. and Doshi, M. R., The contribution of different types of fines to the properties of handsheets made from recycled paper, In Recycled Paper Technology, TAPPI Press, pp. 253-262 (1994).

2. Parel, M. and Trivedi R., Variations in strength and bonding properties of fines from filler, fiber and their aggregates, *Tappi J.*, 77(3) : 185 (1994).
3. Phipps, J., The effects of recycling on the strength properties of paper, *Paper technology, ECC int.*, pp 34-40 (1994).
4. Jackson, L. S., Heitmann, J. A., and Joyce, T. W., Enzymatic modifications of secondary fiber, *Tappi J.*, 76(3) : pp.147-154 (1993).
5. Eriksson, L. A., Heitmann, J. A., and Venditti, R. A., Drainage and strength properties of OCC and ONP using enzymes with refining in 1997 recycling symposium, TAPPI PRESS, pp. 423-433 (1997).
6. Justus, E. J. and Gustafson, D. R., Stratified flow for optimum use of recycled fibers in linerboard and corrugated grades, *Tappi J.*, 57(8) : 89 (1974).
7. Hak Lae Lee, Hye Jung Youn, Tae-Young Kang, Man-Seok Seo, and Yong-Dae Heo, Effects of mechanical treatments of stock components of KOCC on paper properties, *Proceedings of 2002 KTAPPI Fall Conference*, p.205.