

중·고농도 기계적 처리가 종이의 물성에 미치는 영향

한창석* · 이재훈 · 원종명

강원대학교 산림과학대학 제지공학과

1. 서론

제지 산업에서 중요하게 인식되어야 할 문제는 세계화와 원료 공급, 그리고 환경문제를 들 수 있을 것이다. 제지 산업에 쓰이는 주원료의 지속적인 공급을 위해서는 제조에 적합하며 빠른 성장을 하고 불모지에서 성장이 좋은 수종의 개발이 우선되어야 할 것이다. 그렇지 않다면 종이의 재활용을 증대시킴으로 원료를 충당해야 할 것이다. 그리고 환경 문제의 대두로 인해 펄프·제지 분야에서는 종이의 재활용과 폐수 처리의 문제가 발생되고 있다. 제지 폐수를 줄이기 위한 방법으로 지료 조성 단계에서 중·고농도 처리 기술로 지료조성 공정 중 펄프 현탁액의 부피를 감소시키려고 하고 있다. 또한 중·고농도 처리를 하면 물의 사용량이 감소되어 생산원가, 운전비용의 절감과 부대장치의 용량감소를 이룰 수 있다.

종이의 재활용은 재생 종이의 생산량을 증대시킨다. 재생 종이의 재활용에 있어서 가장 큰 문제는 재생지의 물성이 버진펄프로 만든 종이에 비하여 매우 열등하다는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 증가제를 사용하거나, 고해와 같은 기계적 처리를 일반적으로 적용하고 있으나, 섬유가 각질화되어 쉽게 손상되고, 미세분 발생이 많은 문제점을 지니고 있다. 따라서 섬유의 손상을 최소화하면서 재생섬유로 만든 종이의 물성을 개선하기 위한 일환으로 내부 소섬유화만을 발생시켜 섬유간 결합을 개선시키기 위하여 Hobart Kitchen Mixer로 여러 수준의 농도에서 기계적 처리를 실시하고 그에 따라 얻어진 종이 물성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

펄프는 침엽수 표백 크라프트 펄프를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 중·고농도 기계적 처리

Sw-BKP를 실험실용 고해기(Valley Beater)로 고해 후 3회 리사이클링하여 10, 20, 30%의 조건으로 Kitchen mixer로 알려진 HOBART MIXER로 처리하였다. 처리후 각 농도의 지료를 회석하여, 해리 확인 후 바로 수초지를 제조하였다. 비교 시료로 고해와 리사이클링 처리하지 않고 HOBART MIXER로 5, 15, 30, 45%의 조건으로 처리하여 지료를 회석 후

바로 수초지를 제조하였다. 각 과정의 표준으로 사용되는 'Untreated'시료는 버진 펄프나 3회 리사이클링한 시료를 해리하여 동일한 시간동안 교반 후 수초지를 제조하였다. Control 시료는 여수도 450(ml, CSF)으로 고해 후 지료를 희석하여 수초지를 제조하였다.

2.2.2 섬유형상 관찰

섬유의 curl index는 FQA를 이용하여 측정하였으며, 종이 내 섬유의 curl index는 Page 등이 제안한 방식⁴⁾으로 화상분석시스템을 이용하여 측정하였다. 섬유의 내부 횡단면을 관찰하기 위하여 에탄올-아세톤 시리즈로 탈수시킨 후 Williams 등이 제안한 방식^{5),6)}으로 Spurr Kit을 사용하여 포매(embedding)하고, 횡단면을 절단한 후 다시 용출시킨 후 코팅하여 주사전자현미경(모델: JSM-5410, 제작사: JEOL limited, 가속전압: 20kV)으로 관찰하였다.

2.2.3 수초지 제조

각 조건별로 TAPPI standard T205 om-88에 의거하여 초지하며 초지 전에 지료의 여수도와 WRV(TAPPI UM-256)를 측정한다. 수초지의 목표 평량을 60g /m²로 하여 열풍 건조기에서 105℃로 건조한다.

2.2.4 수초지의 물성 측정

제조된 수초지는 TAPPI standard T402 om-83에 따라 온도 23±1℃, 관계습도 50±2%로 조절되는 항온·항습실에서 조습 처리를 실시한 후 인장강도(T494 om-88), 인열강도(T414 om-88), Dry zero-span tensile strength(T231 cm-96), Wet zero-span tensile strength(T273 pm-95), 내부결합강도(T541 om89) 및 겔보기밀도를 측정한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 섬유의 소섬유화

중·고농도 기계적 처리에 의한 섬유의 내부 소섬유화 정도를 조사하기 위하여 섬유의 횡단면에 대하여 주사전자현미경 사진을 촬영한 결과 Figs. 1~2에서 보는 바와 같이 처리 농도가 높아질수록 현저하게 내부 소섬유화가 증가되었다. 그러나 비록 동일 농도에서 처리를 하였다고 할지라도 섬유의 특성에 따라 내부 소섬유화의 정도나 형태가 다르게 나타났다. 한편 외부 소섬유화의 경우 기계적 처리 농도 15%까지는 거의 일어나지 않았으며, 기계적 처리 농도가 증가됨에 따라 다소 증가되었다. 그러나 고해를 실시하였을 경우에는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 내부 및 외부 소섬유화가 현저하게 증가되는 것이 관찰되었으며, 섬유의 손상이 심하게 일어난 것을 관찰할 수 있었다.

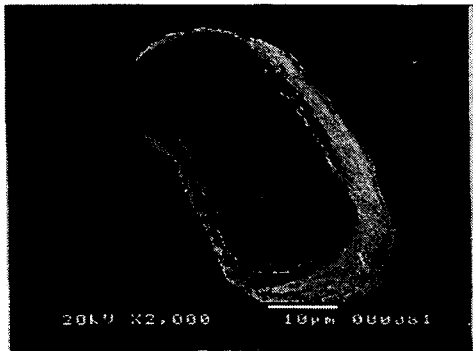


Fig. 1. Scanning electron micrograph of the cross section treated at 15% consistency

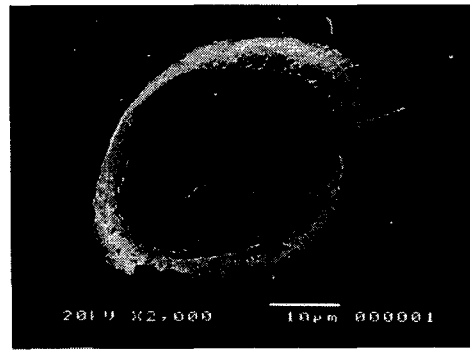


Fig. 2. Scanning electron micrograph of the cross section treated at 30% consistency

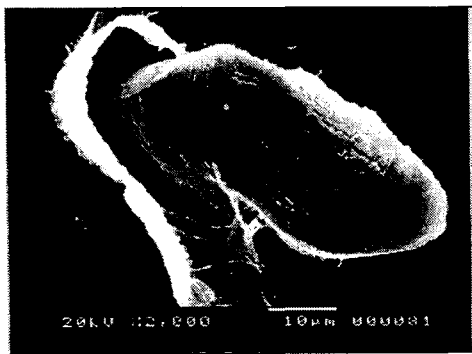


Fig. 3. Scanning electron micrograph of the cross section of fiber beaten for 30 min

3.1 여수도와 WRV변화

Seth 등¹⁾이 보고한 바에 의하면 “섬유 축 방향으로의 압축(axially compressed)과 심한 접힘(severe bending)을 일으키는 기계적 처리가 가하여졌을 때 섬유의 순응성(comformability)등과 같은 다른 요소를 무시한다면 섬유의 커다란 형태학적변화, 즉 컬(curl)과 킥(kink)를 함유한 섬유는 여수도 측정시 벌키한 매트(mat)를 형성하여 물 빠짐이 쉬워질 것이고 그 결과 여수도가 증가할 것이다”라고 주장한다. 본 실험에서 여수도의 변화는 기계적 처리 농도가 증가됨에 따라 컬화의 증가에 의하여 완만하게 증가되는 것을

관찰할 수 있었다. 여수도와 컬 지수와의 관계는 이러한 가설을 증명해 주었다.

섬유간 결합특성을 조사하기 위하여 그 간접지표로 사용되는 WRV를 측정하였다. WRV(Water Retention Value), 즉 보수도는 펄프를 원심탈수 후 펄프 자체가 보유하고 있는 물의 양을 측정하여 펄프와 물과의 친화력을 측정한 것이므로 기계적 처리에 의하여 형성된 섬유는 내부 소섬유화가 일어남으로써 섬유내의 비표면적이 증가하여 물과 결합할 수 있는 영역의 증가로 인해 WRV가 증가된 것이라고 생각된다.

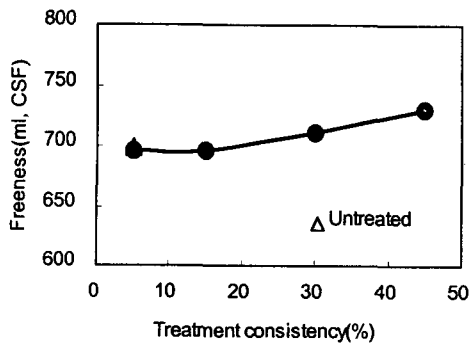


Fig. 4. Effects of treatment consistency on freeness(virgin pulp)

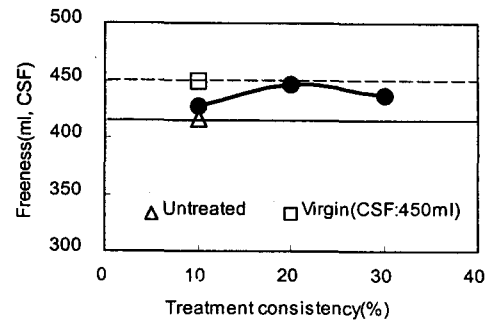


Fig. 5. Effects of treatment consistency on freeness(recycled pulp)

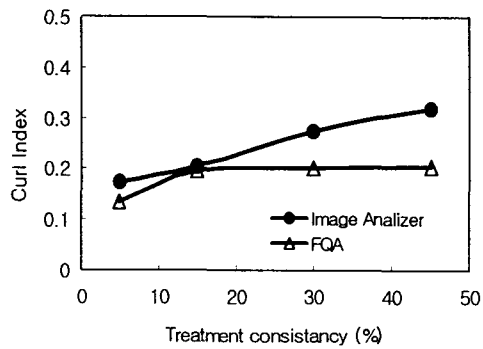


Fig. 6. Effects of treatment consistency on curl index(virgin pulp)

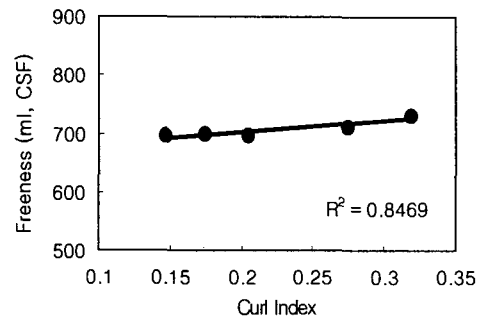


Fig. 7. Relationship between freeness and curl index(virgin pulp)

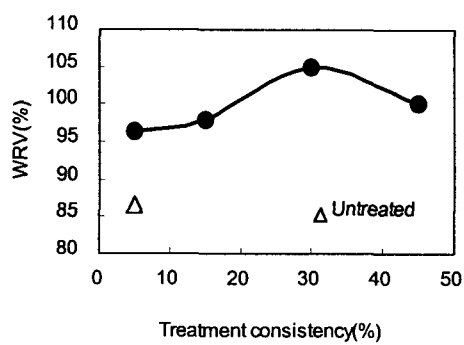


Fig. 8. Effects of treatment consistency on WRV(virgin pulp)

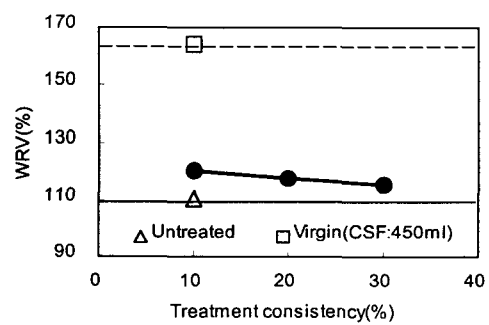


Fig. 9. Effects of treatment consistency on WRV(recycled pulp)

3.2 종이의 물성

3.2.1 결보기밀도

종이의 밀도는 종이의 가장 중요한 물리적 특성중의 하나이다. 종이의 밀도는 투기성, 물리적 강도, 광학적 성질 등을 좌우하며, 그 크기는 섬유의 펄핑 정도와 방법, 고해 정도와 유연성에 크게 의존한다고 할 수 있다. 기계적 처리에 의한 내부 소섬유화와 유연성의 증가에 의하여 켈화가 발생되었음에 불구하고 프레스 과정을 거치면서 치밀한 결합을 형성하여 결보기 밀도가 증가된 것이라고 생각된다.

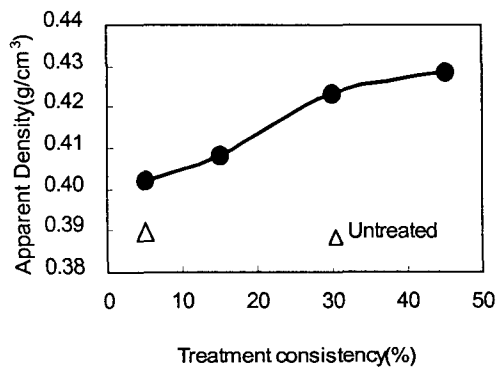


Fig. 10. Effects of treatment consistency on apparent density(virgin pulp)

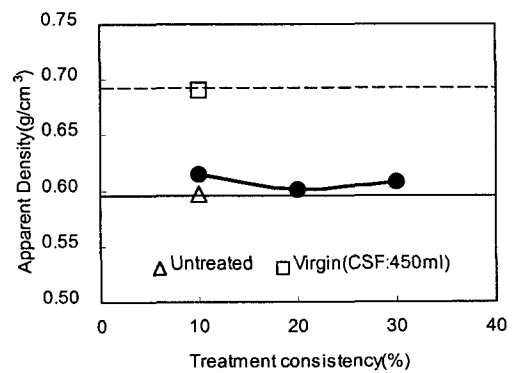


Fig. 11. Effects of treatment consistency on apparent density(recycled pulp)

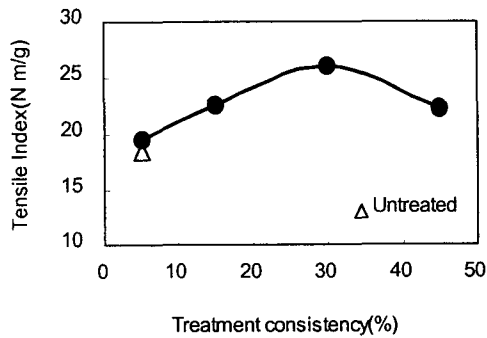


Fig. 12. Effects of treatment consistency on tensile index(virgin pulp)

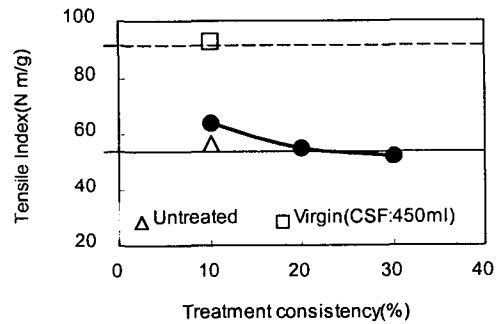


Fig. 13. Effects of treatment consistency on tensile index(recycled pulp)

3.2.2 인장강도 변화

종이의 인장강도는 가장 기본적인 물리적 특성이므로 다른 것보다 우선적으로 측정되고

있으며 섬유 자체의 길이보다는 상대결합면적에 의해 많이 좌우된다고 알려져 있다. Virgin 펄프 섬유의 인장 강도는 기계적 처리 농도를 30%로 처리했을 때까지 서서히 증가하다가 45%로 처리했을 때는 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 내부 소섬유화의 발생이 상대결합면적에 영향을 주어 강도가 향상되었을 것이라고 생각된다. 하지만 45%의 기계적 처리 시에는 고농도로 시료 제조 시 섬유간 응집이 생겨 부분적으로 전단력을 받았기 때문이라고 생각한다. 하지만 재생 섬유의 인장강도는 10%로 저농도에서 기계적 처리했을 때는 증가하는 경향을 관찰할 수 있었는데 이는 온화한 조건으로 섬유의 손상을 최소화시키면서 내부 소섬유화를 발생시켜 강도가 증가한 것이라고 생각한다. 하지만 중·고농도 기계적 처리인 20, 30%로 처리했을 때는 섬유가 각질화되고 브리틀(bristle)해지기 때문에 강도가 감소한 것이라고 생각한다.

3.2.3. Zero-span 강도 변화

섬유의 deformation을 측정하는 적절한 방법으로 wet zero-span 강도를 들 수 있다. Virgin 펄프 섬유의 Wet zero-span 강도 변화는 기계적 처리 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 관찰할 수 있었으나 재생 섬유는 강도의 저하가 일어난 후 일정한 지점에 도달하게 되면서부터 거의 변동이 없다는 것을 관찰할 수 있었다.

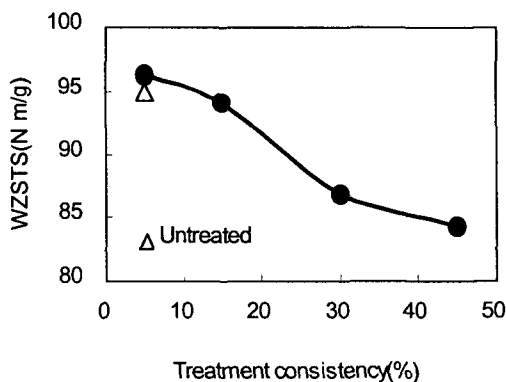


Fig. 14. Effects of treatment consistency on wet zero-span tensile strength(virgin pulp)

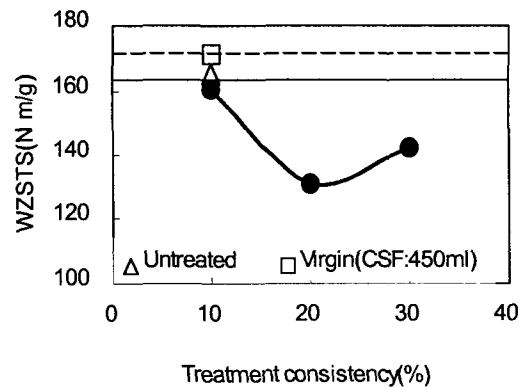


Fig. 15. Effects of treatment consistency on wet zero-span tensile strength(recycled pulp)

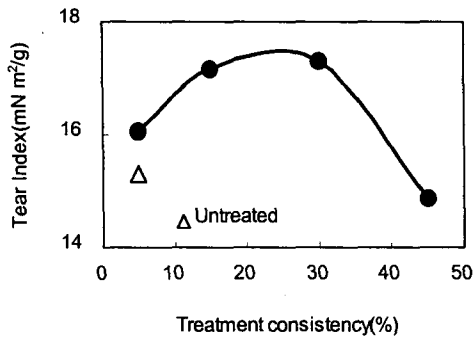


Fig. 16. Effects of treatment consistency on tear index(virgin pulp)

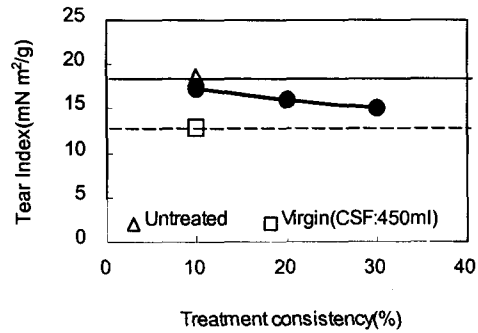


Fig. 17. Effects of treatment consistency on tear index(recycled pulp)

3.2.4. 인열강도 변화

인열강도는 주로 두 가지 이유에 의하여 나타내게 된다. 섬유간 결합이 적을 때는 섬유간 마찰에 의하여, 섬유간 결합이 충분할 때는 섬유가 끊어지면서 인열강도를 나타내게 된다. 인열강도의 변화는 저농도 기계적 처리 시에는 증가하지만 중·고농도 기계적 처리 시에는 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 재생 섬유의 경우는 거의 변화가 없는 것을 관찰할 수 있었다.

3.2.5. 내부결합강도 변화

내부결합강도는 sheet내의 섬유들이 박리될 때 드는 힘이라 정의할 수 있다. Virgin 펄프 섬유의 내부결합강도 변화는 섬유들의 컬화와 섬유내 비표면적의 증가로 인하여 증대되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 재생 섬유도 섬유내 비표면적의 증가와 밀도의 증가로 Virgin 펄프섬유와 비슷한 경향을 보이고 있다.

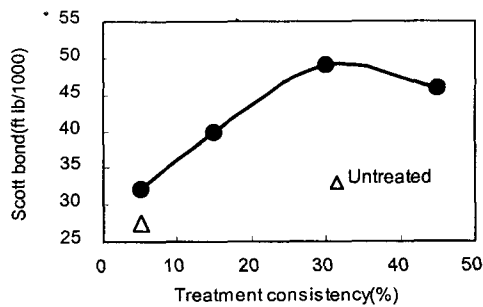


Fig. 18. Effects of treatment consistency on internal bond strength(virgin pulp)

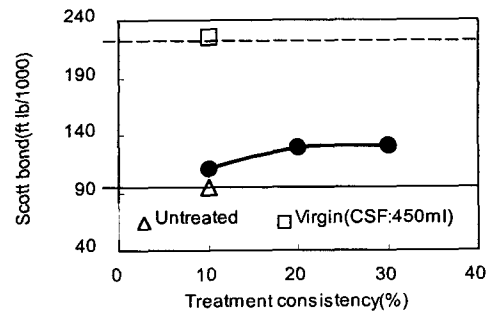


Fig. 19. Effects of treatment consistency on internal bond strength(recycled pulp)

4. 결 론

본 연구에서는 펄프 섬유의 손상을 최소화 하면서 제지적성을 개선하기 위한 일환으로 알려진 Hobart Mixer를 이용하여 중·고농도 기계적 처리를 하여 종이 물성의 변화를 관찰한 결과는 다음과 같다.

1. Virgin 펄프 섬유는 중·고농도 기계적 처리를 하였을 때 처리 농도가 높아질수록 섬유의 썩화와 내부 소섬유화 증가로 인해 인장강도와 인열강도가 증가되었다.
2. 중·고농도 기계적 처리를 함으로써 섬유를 크게 손상시키지 않으면서 내부 소섬유화의 형성이 가능한 것으로 확인되었고, 여수도와 WRV가 모두 증가되었다.
3. 중·고농도 기계적 처리를 통하여 내부결합강도가 증대되는 것을 관찰할 수 있었다.

REFERENCES

1. Seth, R. S., D. W. Francis and C. P. J. Bennington, *Appitia J* 46(1): 54-60(1993)
2. Mohlin U.B., D. Jodan, and H. Joanna, *TAPPI J* 79(6): 105-111(1996)
3. Kim, S. H., J. H. Park, and C. H. Kim, *J. of Korea Tappi*, 31(1)39-45 (1999)
4. Page, D. H., R. S. Seth, D. S. Jordan, and M. C. Barbe, *Papermaking raw materials*, Vol. 1 183-227, Mechanical Engineering Publication LTD. (1985)
5. Williams, G. J., and J. G. Drummond, *JPPS* : Vol. 20 No. 4 : 188-193 (2000)
6. Williams, G. J., and J. G. Drummond, and H. A. Cisneros, *JPPS* : Vol. 20 No. 4 : 110-114 (1994)
7. Mohlin, U.B. and C. Alfredsson, 24th EUCEPA Conference, *Pulp Technology Energy* 207-221(1990).
8. McKinney, R., *Pre-symposium of 10th ISWPC*: 9-18(1999).
9. Page, D. H. and J. H. De Grace, *TAPPI J* 50(10) : 489-495(1967)
10. Kibblewhite, R. P., *TAPPI J* 60(10) : 141-143(1977)