

# 침엽수 화학펄프섬유의 컬화

이재훈 · 한창석 · 원종명

강원대학교 산림과학대학 제지공학과

## 1. 서론

제지공정에서 형성된 섬유의 컬은 기계펄프와 같은 고수율 펄프의 경우 Latency라고 알려진 특성 때문에 가역적인 특성이 있으며 공정 상에서 어느 정도의 제어가 가능하다고 알려져 있으나, 화학펄프에 형성된 컬은 불가역적인 특성 때문에 공정 상에서 제거가 쉽지 않다<sup>(1)</sup>. 섬유의 컬 특성 때문에 각 공정에 사용되는 장치의 선택은 섬유 변화에 크게 영향을 줄 것이며 또한 이러한 펄프섬유의 변화에 의하여 최종제품의 품질도 영향을 받게 될 것이다. 특히 오래 동안 섬유의 컬과 결합이 종이의 성질에 중요한 영향을 준다고 알려져 왔지만 이러한 섬유의 컬과 결합들이 종이의 성질에 미치는 영향에 대하여선 많은 논의가 이루어지지 않았으며 현재까지도 많은 지식이 축적되어 않고 다만 화장지 제조공정에서 Bulk를 제공하기 위하여 섬유의 컬을 일부 이용하는 것으로 알려져 있다.<sup>(2)</sup> 따라서 실험에서는 펄프섬유의 고농도 믹싱처리 시 섬유컬을 비롯한 Fiber deformation에 대한 기본 지식을 쌓고자 행하여 졌다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

펄프는 국내 D사에서 사용하는 침엽수 표백 크라프트 펄프를 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 섬유의 컬화

Sw-BKP를 3%농도로 해리 하여 섬유결합에 영향을 줄 수 있는 미세분을 제거 후 지료 농도를 5, 15, 30, 45%의 조건으로 Kitchen mixer로 알려진 HOBART MIXER로 믹싱처리 하였다. 처리후 각 농도의 지료를 회석하여, 'Curling' 시료는 해리 확인 후 바로 수초 하였으며 'Diluting' 시료는 회석 후 12시간동안 교반하여 수초 하였다. 각 과정의 표준으로 사용되는 'Control'시료는 해리하여 미세분을 제거 후 믹싱처리를 하지 않고 동일한 시간동안 교반 후 수초하였다.

#### 2.2.2 섬유의 특성

Image Analysis system을 이용하여 식(1) 및 Fig. 1과 같은 방법으로 종이내의 Fiber Curl Index를 측정하였으며, 상기 처리된 펄프의 여수도 및 WRV를 측정하였다.

$$\text{Fiber curl index} = \left(\frac{L}{l}\right) - 1 \quad -(1)$$

L : Fiber length.

l : The distance between the fiber end.

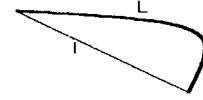


Fig. 1

또한 현탁액상의 섬유의 Curl Index, Kink Index, Kink Angle을 측정하기 위하여 Op Test Equipment Inc.에서 제작한 FQA를 사용하였으며 Kink Index는 식(2)으로 계산되어 나온다.

$$\text{Kink Index} = \{2N_{(21-45)} + 3N_{(46-95)} + 4N_{(91-180)}\} / L_{\text{Total}} \quad -(2)$$

$N_x$  : "X" kink 각 범위 이내의 Kink값의 가중치별 숫자의 합계.

cf.> FQA에서는 Kibblewhite's Kink Index로부터 10~20 °수준은 생략하였다.

### 2.2.3 수초지 제조

각 조건별로 TAPPI standard T205 om-88에 의거하여 초지하였으며 초지 전에 지료의 여수도와 WRV(TAPPI UM-256)를 측정하였다. 수초지의 목표평량을 60g/m<sup>2</sup>로 하여 열풍 건조기에서 105℃로 건조하였다.

### 2.2.4 수초지의 물성측정

제조된 수초지는 TAPPI standard T402 om-83에 따라 온도 23±1℃, 관계습도 50±2%로 조절되는 항온·항습실에서 조습처리를 실시한 후 인장강도(T494 om-88), 인열강도(T414 om-88), Dry zero-span tensile(T231 cm-96), Wet zero-span tensile(T273 pm-95), 내부결합강도(TAPPI UM-256) 및 겉보기밀도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 섬유의 쉐화와 섬유변화

Fig. 2, 3, 4는 믹싱처리 시 처리농도별로 섬유의 형상을 현미경과 화상분석기를 이용하여 관찰한 것이다. 처리농도가 고농도로 될수록 섬유의 비틀어짐, 꼬임, 접힘 현상이 많이 관찰되었다.

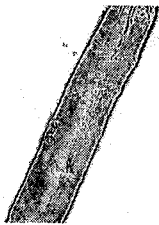


Fig.2 Micrograph of fiber.(curling, 5%)

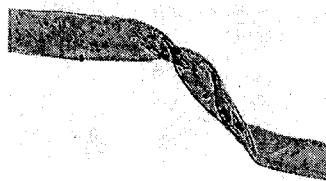


Fig. 3 Micrograph of fiber (curling, 30%)

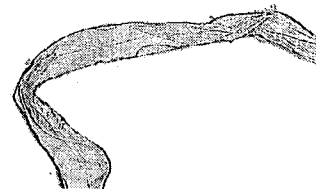


Fig. 4 Micrograph of fiber (curling, 45%)

Fig. 5에서 Sheet 내에서의 섬유컬은 지료의 처리 농도가 5%일 때 감소하다가 농도가 증가할수록 섬유의 컬도 증가하는 경향을 보인다. 이는 PFI mill로 고해 시 고해 초기에 섬유가 Straightening되는 현상과 유사하다. Fig. 6에서 보듯이 현탁액 상에서 섬유컬은 믹싱 처리를 하지 않은 섬유와 5%로 처리한 섬유가 거의 유사한 값을 나타내지만 15%농도부터는 컬정도가 유사하거나 약간 증가하는 경향을 나타낸다.

Sheet 내에서의 Fiber Curl Index와 FQA로 측정된 현탁액 상에서의 Fiber Curl Index값이 서로 다르게 나오는 이유는 고농도에서 펄프를 믹싱처리하였을 경우 섬유의 탈층 등과 같은 내부피브릴화에 의하여 섬유가 유연해져서 저농도의 현탁액상으로 측정되는 FQA에서 측정시 유속에 의하여 섬유가 약간씩 퍼져서 일거라 사료된다. FQA로 측정된 kink index와 curl index는 유사한 결과를 보여주고 있으며 지료가 중농도(15%)로 처리되면 kink index와 angle이 급격히 증가하다가 고농도에서는 커다란 변화를 나타내지 않는다. 이는 고농도 믹싱처리시 섬유들이 뭉쳐서 거동하는 것과 관련이 있을 거라 생각된다

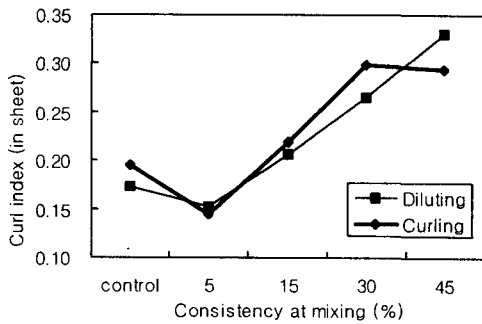


Fig. 5 Effects of mixing consistency on fiber curl index in sheet.

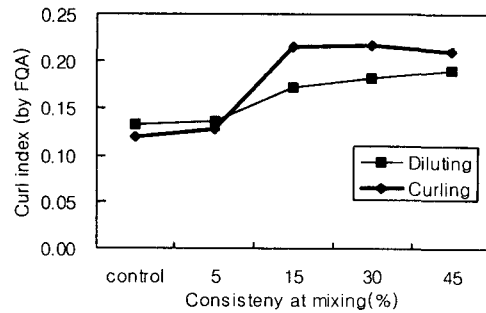


Fig. 6 Effects of mixing consistency on fiber curl index in suspension.

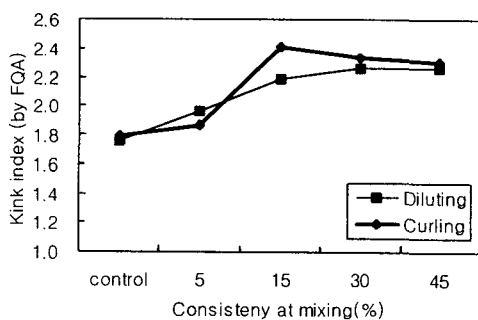


Fig. 7 Effects of mixing consistency on fiber kink index.

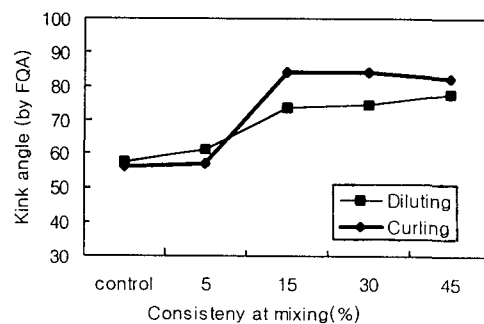


Fig. 8 Effects of mixing consistency on fiber kink angle.

### 3.2 여수도와 WRV변화

섬유의 순용성과 유연성을 무시한다면 curl 과 kink를 함유한 섬유는 여수도 측정시 bulky mat를 형성하여 물 빠짐이 쉬워질 것이고 그 결과 여수도가 증가할 것이다. 하지만 본 실험에서는 여수도는 주목할 만한 변화는 일어나지 않았지만 전반적으로 믹싱처리 후 즉시 여수도를 측정한 경우(Curling)에 약간의 상승이 관찰되었다, (Fig. 9). WRV(Water retention value)는 Curling시료의 경우 큰 변화가 일어나지 않았지만 Fig. 10에서 볼 수 있듯이 12시간 교반(Diluting) 후 측정하였을 경우 고농도로 처리한 시료의 WRV가 약간 상승하였는데 이는 섬유내부의 구조적 변화에 의하여 섬유 자체가 물을 함유할 수 있는 능력이 증가하였기 때문이라 사료된다.

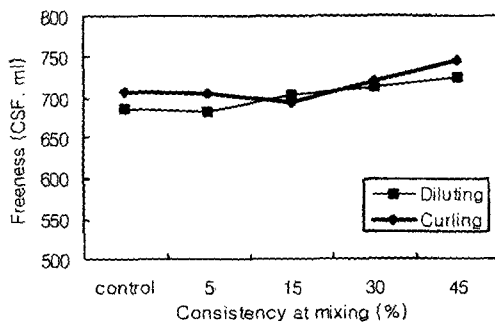


Fig. 9 Effects of mixing consistency on fiber freeness value.

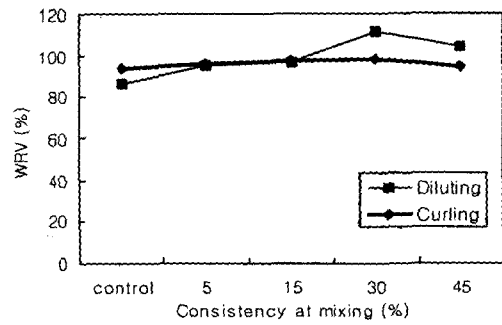


Fig. 10 Effects of mixing consistency on WRV(water retention value).

### 3.3 종이의 물성

#### 3.3.1 Apparent Density

섬유의 겉만을 고려한다면 밀도와 투기도 저항은 감소할 것이다. 하지만 기계적 믹싱에 의하여 섬유내 구조의 변화에 의한 섬유벽의 탈층과 유연성증가와 같은 요인들에 의하여 일부분헌에서의 결과처럼 Fig. 11에서 보듯이 "Diluting"과 "Curling"의 차이가 크게 일어나지 않았다<sup>(3)</sup>. 또한 위 섬유의 사진에서 볼 수 있듯이 기계적 믹싱처리에 의하여 섬유내의 물질들이 용출되어 제거됨에 기인하여 섬유자체가 얇아졌을 것이라 사료된다.

#### 3.3.2 인장특성

종이의 인장지수는 지료의 믹싱처리 농도가 증가할수록 증가하다가 45%농도에서 다시 감소하는 경향을 보이고 있다, Fig. 12. 이는 과도한 기계적 처리에 의한 sheet network내의 섬유들이 힘을 전달하는 능력이 감소한것에 기인하여 강도가 감소하는 것이라 사료된다. 반

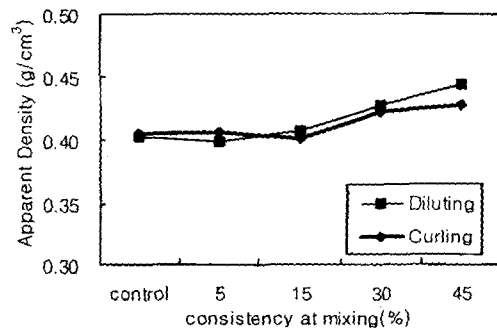


Fig. 11 Effects of mixing consistency on apparent density.

면에 신장성은 Curling은 5%, Diluting은 15%에서 가장 높게 나왔다.

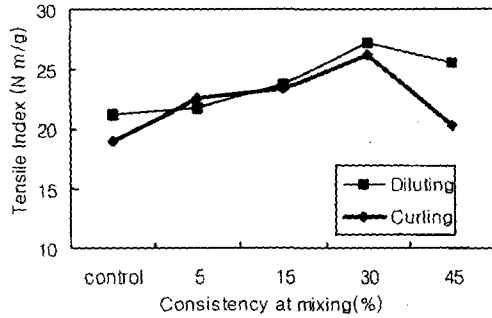


Fig. 12 Effects of mixing consistency on tensile index.

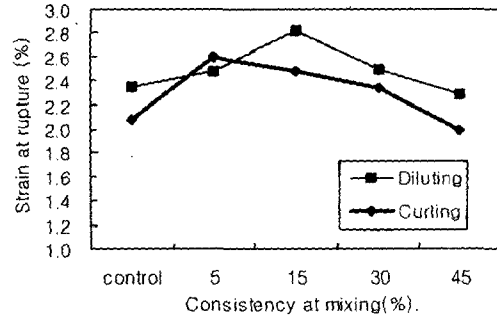


Fig. 14. Effects of mixing consistency on strain at rupture.

Sheet은 일반적으로 인장강도가 증가하면 신장성이 감소하고 신장성이 증가하면 인장강도가 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 Fig. 14의 Curling시료의 경우 15%농도에서 TEA(인장에너지 흡수)가 가장 높게 나타나는 원인을 설명하는 것이다. 인장강도측정시 종이의 탄성영역의 특성중의 하나인 Young' modulus는 인장지수와 유사한 경향을 보이고 있다.

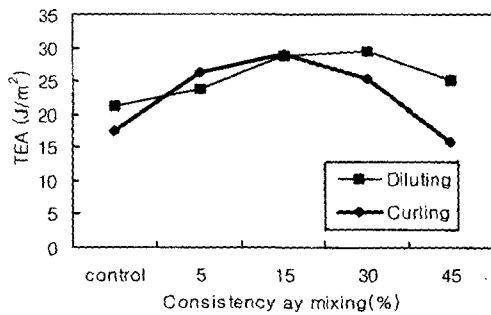


Fig. 14 Effects of mixing consistency on TEA.

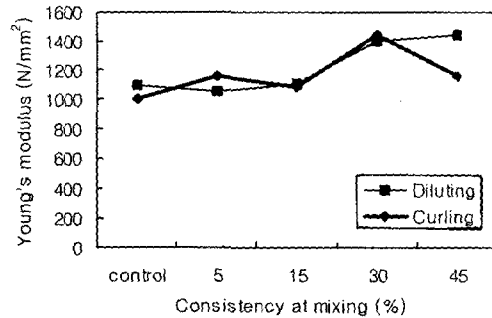


Fig. 15 Effects of mixing consistency on young's modulus.

### 3.3.3 Zero-span

이전에 연구에서 Fiber deformation을 측정하는 적절한 방법은 Wet zero-span 강도를 측정하는 것이라 제안하였다.<sup>(4)</sup> 본 실험에서 Dry zero-span강도는 커다란 변화는 없지만 "Curling"시 인장지수와 같이 45%농도에서 급격하게 떨어지는 경향을 나타냈다. 반면에 Rewetted sheet은 Curl index가 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 제로 스펠 측정 시 컬화된 섬유들이 힘(Load)을 전달하지 못하였기 때문이라 사료된다.

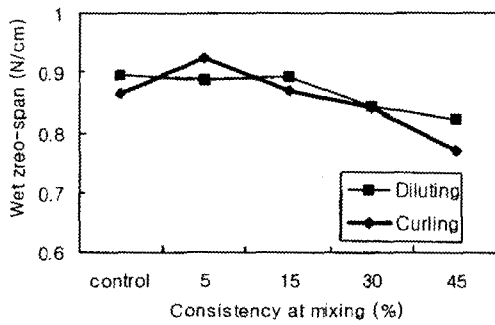


Fig. 16 Effects of mixing consistency on zero-span(rewetted).

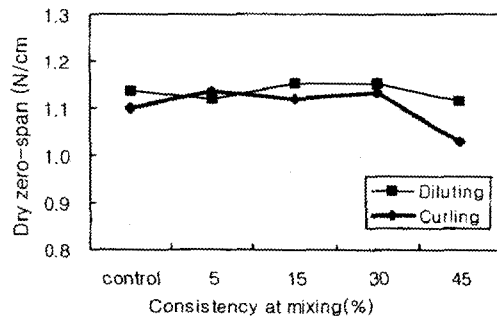


Fig. 17 Effects of mixing consistency on zero-span(dry).

Fig.18은 Curl index와 Wet zero-span의 상관관계를 그래프로 그린 것으로써 믹싱처리에 의한 섬유의 컬화가 증가될수록 섬유자체의 강도를 평가하는 좋은 지표인 Wet zero-span은 감소하는 경향을 보여주고 있다.

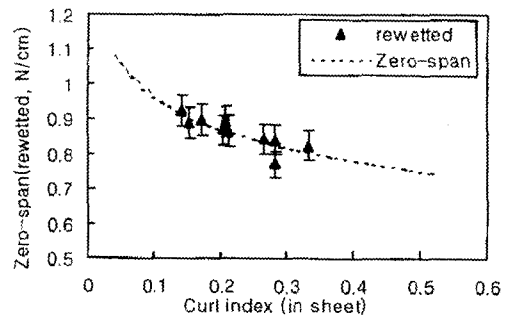


Fig. 18 Correlation between curl index & zero-span(rewetted).

### 3.2.4 인열강도

Fig.18은 인열지수의 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 종이의 인장강도가 증가할수록 인열강도는 감소하나 Diluting시료의 경우 인장강도의 증가와 함께 인열강도의 증가를 관찰할 수 있었다.

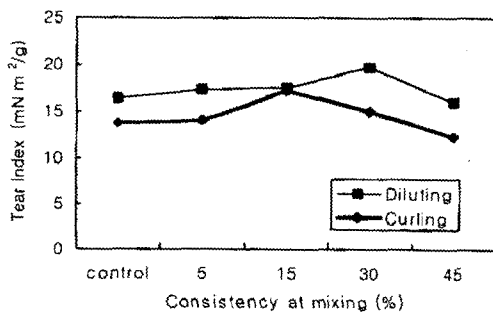


Fig. 19 Effects of mixing consistency on tear index.

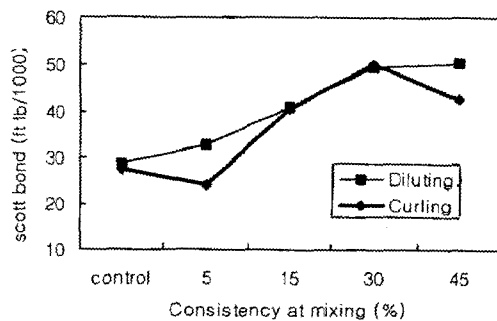


Fig. 20 Effects of mixing consistency on scott internal bond.

### 3.2.5 내부 결합강도

Fig.20은 처리조건에 따른 종이의 내부결합강도를 측정한 것이다. 내부결합강도는 sheet 내의 섬유들을 박리될 때 드는 힘이라 정의 할 수 있다. 따라서 컬의 증가에 따라 박리 시 섬유들간의 엉킴이 풀리는 것이 내부결합강도의 증가요인 중의 하나라 사료된다.

## 4. 결론

본 실험에서는 펄프섬유의 외부피브릴화를 일으키지 않고 컬을 형성한다고 알려진 Hobart Mixer를 이용하여 펄프섬유의 믹싱처리를 하였을 때 섬유의 형상변화 즉 섬유의 컬화와 종이의 특성에 미치는 영향에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 펄프를 믹싱 처리할 때 시료의 농도가 높아질수록 섬유의 curl, kink, folding과 같은 Fiber deformation은 증가하며 고농도의 경우 지료의 여수도는 약간 증가하였다.
2. 처리농도의 증가에 따라 인장강도와 내부결합강도는 증가하였고 고농도로 처리 시 강도가 다시 감소하는 경향을 보였다.
3. Fiber deformation이 증가와 함께 Wet zero-span 강도는 감소하였다.

## REFERENCES

1. Fineran, W.G. Jr., 1997 Recycling symposium: 291-295(1997).
2. McKinney, R., Pre-symposium of 10th ISWPC: 9-18(1999).
3. Ingunn, O., TAPPI International Paper Physics Conference : 499-515(1999).
4. Mohlin, U.B. and C. Alfredsson, 24th EUCEPA Conference, Pulp Technology Energy: 207-221(1990).
5. Beghell, L. and D. Eklund, Nord. Pulp Pap. Res. J. 12(2): 119-123(1997).
6. Hartler, N., Nord., Pulp Pap. Res. J. 10(1): 4-7(1995).
7. Nguyen, N. and B. Jordan, J. Pulp Pap. Sci. 20(8): 226-230(1994).
8. Seth, R.S., D.W. Francis and C.P.J. Bennington, International Paper Physics Conference, Book 2: 525-534(1991).
9. Ruud, A., O. Bottegaard, International Paper Physics Conference: 463-472(1991).
10. Abitz, P.R., International Paper Physics Conference, Book 1: 358(1991).

### 감사의 글

본 실험에 필요한 실험기자재 사용에 도움을 주신 화학연구소 관계자님들에게 감사드립니다.