

# 섬유의 특성이 종이의 bulk 특성에 미치는 영향

이진호 · 박종문

충북대학교 산림과학부 임산공학전공

## 1. 서론

Bulk는 종이의 평량과 두께의 비율이며 종이의 기본적인 거시구조 특성으로 열단장, 탄성계수, 산란계수와 같은 물성을 예측하는데 사용될 수 있는데, 이 같은 bulk 특성은 사용되는 섬유, 충전제, 고해도, 습부 압착 그리고 칼랜더링과 같은 원료 및 공정 조건에 의해 달라진다. 종이를 구성하는 주요 성분인 섬유의 관점에서 섬유의 강직성이 종이의 bulk에 영향을 미치는가에 대한 평가를 하기 위해 실험을 실시하였다.

섬유의 강직성을 측정하는 방법으로 와이어에 섬유를 걸쳐 섬유의 휘어진 길이를 측정하는 방법(WFF)이나, 섬유의 길이와 세포벽의 두께비(L/T)를 상대 섬유 유연성 지수로 평가하는 방법 또는 WRV를 이용하여 평가하기도 한다. WRV는 섬유가 가지고 있는 결합수의 양을 측정하는 것으로 섬유의 피브릴화 정도에 따라 WRV는 영향을 받게 되기 때문에 섬유의 유연성(flexibility)에 대한 간접적인 지수로 이용되기도 한다. 하지만 WRV는 단순히 섬유가 가지고 있는 결합수의 양을 측정하는 방식이며, 미세분의 양이나 외부 피브릴화등과 같은 간접인자에 의해 영향을 많이 받기 때문에 WRV 값 자체로 섬유의 유연성이나 강직성을 평가하기에는 적절하지 않다고 할 수 있다. 섬유의 재생시 각질화(honification)가 발생하여 섬유의 팽윤성을 상실하게 되는데, 본 실험에서는 고해한 섬유의 재생에 따른 WRV 변화 경향을 통해 섬유의 강직성을 간접적으로 평가 하고, 수초지의 bulk 변화와의 비교를 통해 섬유의 강직성이 종이의 bulk 변화에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

## 2. 공시재료

SW-BKP, HW-BKP, BCTMP 세 종류의 백상지용 펄프를 실험실용 valley beater를 이용하여 400±10ml CSF로 고해한 후, 200# 와이어에 장착한 간이분급기로 지료를 세척하여 미세분을 제거한 후 장섬유만을 실험에 이용하였다.

### 3. 실험 방법

#### 3-1. 백상지용 펄프 섬유간 비교

미세분을 제거한 섬유만을 이용하여 WRV를 측정 후, 재생에 따른 WRV 변화와 수초지의 bulk 변화 및 물성 변화를 측정하였다. 재생은 미세분을 제거한 섬유를 105℃ 건조기에서 24시간 건조 후 다시 24시간 물에 침지 하는 방법으로 3회 까지 반복 실행 하였다.

#### 3-2. BCMTP의 개질 처리

무처리한 BCTMP를 400ml CSF 로 고해한 펄프와, 일차 미세분을 제거한 후 400ml CSF로 고해한 펄프 그리고 xylanase를 50-60℃, 8-8.5pH 조건에서 0.1, 0.3 0.5% (g/dry pulp g)로 30 분간 반응 시킨 후, NaOH 2.5 %(g/dry pulp g)으로 50-60℃, 12-12.5 pH 조건에 30분간 개질 처리한 펄프를 실험실용 고해기를 이용하여 400 ml CSF 로 고해하여 섬유 개질 처리하여 실험 하였다. 고해한 펄프는 미세분을 제거하여 섬유만을 실험에 사용하였다.

### 4. 결과 및 고찰

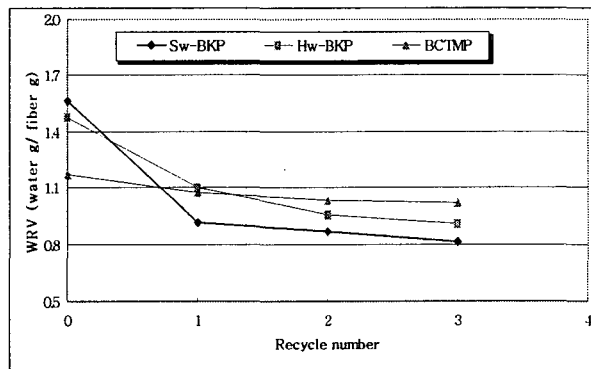


Fig. 1. Changes of WRV depending on fiber recycling and pulps.

그림 1은 재생에 따른 섬유의 WRV 변화를 나타낸 것으로 재생에 따라 섬유의 WRV 값이 감소하는 경향을 나타내었고, 그 경향은 Sw-BKP>Hw-BKP>BCTMP 순으로 나타났다. 재생에 따른 WRV의 감소는 세포벽의 각질화(hormification)에 기인한 것으로,

고해에 의해 피브릴화 되어진 세포벽 표면이나 층간 분리된 세포벽이 각질화에 의해 다시 붙어 팽윤성을 상실하는 것을 의미한다. 재생에 따른 WRV 감소율이 크다는 것은 섬유의 세포벽의 피브릴화가 많이 되어 있다는 것을 의미하고, 많이 피브릴화 되어 있을수록 섬유는 유연한 특성을 가지고 있다고 설명 할 수 있다. 때문에 재생에 따른 WRV 변화량 그래프 회귀식의 기울기를 섬유의 상대 유연성 또는 상대 강직성 (relative flexibility or rigidity)로 가정할 수 있다.

	Regress equation	R square value
Sw-BKP	$y = -0.2290x + 1.3823$	$R^2 = 0.7102$
Hw-BKP	$y = -0.1855x + 1.3889$	$R^2 = 0.8622$
BCTMP	$y = -0.0494x + 1.1477$	$R^2 = 0.8646$

회귀식의 기울기 비교시 Sw-BKP가 가장 유연한 섬유의 특성을 가지며 BCTMP의 경우 가장 강직한 섬유의 특성을 가진다고 할 수 있다. Hw-BKP 역시 BCTMP에 비해서는 유연하지만 Sw-BKP 섬유의 유연성은 따라가지 못하는 것으로 평가할 수 있다.

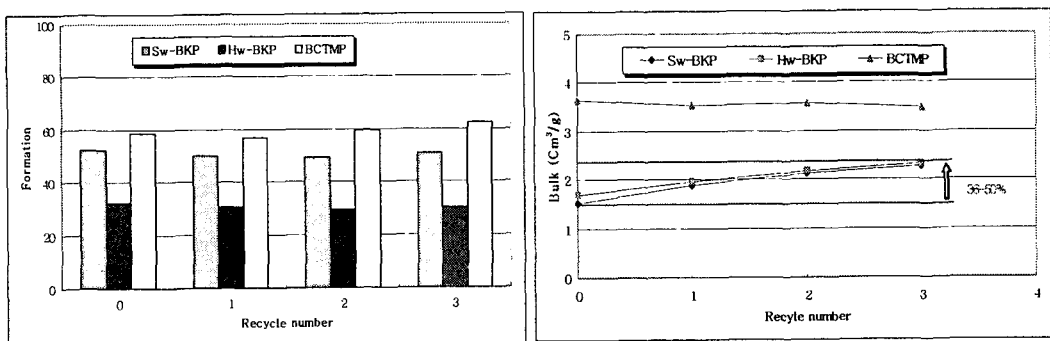


Fig. 2. Structural properties of handsheets depending on recycling and pulp.

그림 2는 수초지의 재생에 따른 지합 및 bulk 변화를 나타낸 것으로 지합의 경우 섬유장에 따른 지합의 차이는 나타나지만 재생에 따른 변화는 나타나지 않았다. Bulk의 경우 BCTMP를 제외하고 섬유의 재생 횟수가 증가함에 따라 수초지의 bulk가 증가하는 경향을 나타내었다. 종이의 bulk를 섬유의 측면에서 보았을 때 초지 과정에서 압착 탈수에 의한 섬유 자체의 찌그러짐 및 건조시 건조 수축에 의한 섬유층간의 공극 감소에 의해 종이의 bulk가 결정된다고 할 수 있다. 재생에 따라 종이의 bulk가 증가하는 것은 재생에 따른 각질화로 섬유의 강직성이 증가함에 따라 압착 탈수에 저항하는 섬유

자체의 강직성 증가와 건조시 발생하는 섬유층간 건조 수축력이 세포벽의 각질화에 의해 저해되기 때문에 판단된다. BCTMP의 경우 재생에 따른 bulk 변화를 나타내지 않는 원인으로 고해시 섬유의 피브릴화가 진행되어 있지 않기 때문에 판단된다. 표 1은 재생에 따른 수초지의 물성을 나타낸 것이다. 종이의 물리적 성질은 섬유가 network를 형성해가는 과정에서 섬유간 수소 결합에 의해 발생하는 것으로, 섬유의 강

Table. 1. Physical properties of handsheets depending on recycling and pulp.

Recycle number	Sw-BKP				Hw-BKP				BCTMP			
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Breaking length (Km)	5.63	2.38	1.68	0.98	5.47	2.66	1.67	1.05	1.60	1.43	1.39	1.18
Elongation (%)	2.92	1.83	1.65	1.09	2.43	1.66	1.17	0.69	0.84	0.8	0.91	0.8
TEAI (mJ/g)	1150	315.89	200.31	73.01	929.06	314.6	134.54	46.61	81.76	73.37	80.65	58.78
TSI (KNm/g)	6.88	3.9	2.94	1.91	6.91	4.44	3.25	2.56	2.93	2.81	2.57	2.33
Fiber strength (km)	12.37	10.55	10.27	9.69	14.64	12.59	11.96	11.26	8.80	9.28	8.82	9.05
Bonding strength (km)	10.33	3.07	2.01	1.09	8.73	3.37	1.94	1.16	1.96	1.69	1.65	1.36
ISO opacity (%)	67.58	75.50	75.73	76.80	78.60	81.79	81.54	82.08	79.18	81.06	81.34	82.27
Scattering coeff. (m <sup>2</sup> /kg)	24.15	34.93	36.79	37.74	37.44	44.43	47.38	48.39	30.98	31.89	31.93	32.37

직성이 커질수록 섬유간 결합 면적이 감소됨에 따라 물리적 성질이 저하된다. 물리적 성질에서도 재생에 따른 bulk 변화가 나타나는 표백 화학 펄프의 경우 물성 저하가 뚜렷이 나타나지만, 재생에 따른 bulk 변화가 나타나지 않는 BCTMP의 경우 물성 저하가 뚜렷이 나타나지 않는다.

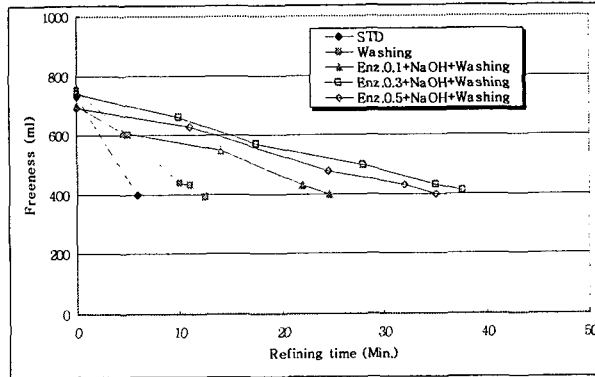


Fig. 3. Change of refining time depending on physical treatment.

Table 2. Physical treated fiber properties

Treatment	Non	STD	T-1	T-2	T-3	T-4
<b>Freeness (ml CSF)</b>		<b>700</b>			<b>400</b>	
<b>Length weighted in length (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	1149.69	975.00	691.99	682.16	688.21	726.94
<b>Average width (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	29.51	27.15	29.23	30.83	30.45	30.48
<b>Coarseness (mg/m)</b>	0.34	0.29	0.27	0.35	0.32	0.33
<b>Average Angle (<math>^{\circ}</math>)</b>	135.47	135.17	131.97	133.68	131.79	131.97
<b>Kinked fibers (%)</b>	10.70	3.74	3.67	5.87	4.23	4.50
<b>Average Curl (%)</b>	5.20	3.50	3.94	4.61	4.20	4.18

그림 3과 표 2는 BCTMP의 고해에 따른 고해 시간 및 섬유장 변화를 나타낸 것이다. 열기계 펄프의 고해시 빠른 여수도 감소가 나타나는데, 이는 일반 화학 펄프와 같이 섬유의 피브릴화에 의한 여수도 감소가 아닌 기계 펄프내 잔존 일차 미세분과 세포벽 성분이 빠르게 분리되어 여수가 감소가 일어난 것을 알 수 있다. 또한 펄핑시 제거되지 않은 리그닌이 세포벽내에 존재하기 때문에 섬유의 피브릴화를 저해하게 된다. 이에 고해시 섬유의 피브릴화를 저해 할 수 있는 리그닌 성분을 효소 처리와 NaOH 처리를

통해 제거하여 고해시 고해 시간이 증가된 것으로 보아 고해에 따른 세포벽의 피브릴화가 일어났을 것으로 판단된다.

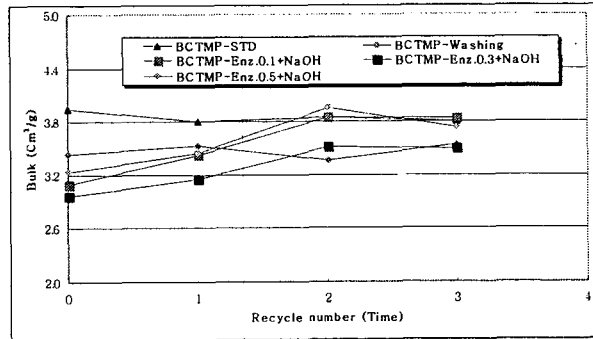


Fig. 4. Change of bulk depending on treatment condition.

그림 4는 개질 처리한 BCTMP 펄프의 bulk 특성을 나타낸 것으로, 무처리나 세척만을 한 경우 재생에 따른 bulk 변화를 나타내지 않으나, 효소 및 NaOH 처리를 한 경우 재생에 따른 bulk 변화를 나타낼 수 있다. 이는 BCTMP의 개질 처리에 따라 고해시 세포벽의 피브릴화가 유도되었기 때문이며, 재생에 의해 세포벽의 수축·팽윤성이 저해됨에 따른 종이의 bulk 변화가 나타남을 확인 할 수 있다.

## 5. 결론

종이는 습윤 상태의 섬유가 건조 과정을 거치면서 구성되는 섬유간 결합체로서, 구조적 특징 중 하나인 bulk는 구성 섬유가 가지는 수축 팽윤성에 큰 영향을 받게 된다. 섬유 자체의 수축 팽윤성이 클수록 건조시 세포벽의 찌그러짐 및 섬유간 결합이 커지게 되고 이에 따라 종이의 구조는 보다 dense해 지게 된다. 종이의 bulk 특성은 섬유장이나 조도와 같은 섬유의 고유한 성질 보다는 고해 후 피브릴화에 따른 섬유의 수축 팽윤성에 의해 영향을 더 크게 받게 된다.

## 6. 참고문헌

1. Nurmi, M., Westerholm, M. and Eklund, D., "Factors Influencing Flocculation of Dissolved and Colloidal Substances in a Thermomechanical Pulp Water", JPPS,

Vol. 30. NO. 2, 2004.

2. Modgi, S. B., Trigylidas, D., Thorburn, I. and Englezos, P., "Retention of Calcium Carbonate in Mechanical Pulps with PEO/Cofactor/Coagulant and the Role of Hydrogen Bonding Interactions" , JPPS. Vol. 30. NO. 11, 2004
3. Paice, M, Zang, X., "Enzymes, Find Their Niche" , Pulp and Paper Canada, 106:6, 17-20, 2005.
4. Li, Z., Court, R., Belliveau, M., Crowell, R., Murphy, A., Gibson, M., Wajer, B., Branch, B., Ni, Y., "Using Magnesium Hydroxide as the Alkali Source in Peroxide Bleaching at Irving Paper" , Pulp and Paper Canada, 106:6, 24-28, 2005.