

골판지 고지의 물리화학적 처리에 의한 강도향상 (제1보)

이 종 훈 · 서 영 범[†] · 전 양

Strength Property Improvement of OCC-based Paper by Chemical and Mechanical Treatments (I)

Jong Hoon Lee, Yung B. Seo[†], and Yang Jeon

ABSTRACT

To improve the physical properties of OCC (Old Corrugated Container) fibers, we used the mechanical pre-treatment on the fibers before refining. The mechanical action in the Hobart mixer induced high shear and compression on the fibers, which resulted in changes of fiber internal structure, and microcompressions on the surface of the fibers. We evaluated the amount of mechanical treatment on the fibers by fiber curl index for convenience. Four different refining techniques were applied to the pre-treated fibers (Valley beater, Kady mill, PFI mill, and Impact refining) to find the best combination of the pre-treatment and the refining methods. Conclusions were summarized as followed.

1. Mechanical pre-treatment in Hobart mixer for more than 1 hour caused the increase of curl index of OCC fibers, and increased breaking length, burst index, and tear index of the handsheets more than 10% in this experiment.
2. Kady mill and PFI mill refining were effective in keeping fiber length from shortening. Kady mill and Valley beater refining straightened out the fiber curls, and reduced the curl index.
3. Valley beating reduced fiber length very fast and generated fines more than other refining methods.
4. To increase breaking length and burst strength while keeping tear strength, combination of mechanical pre-treatment and Valley beating were most effective.

1. 서론

경제규모가 커짐에 따라 종이의 소비량은 지속

적으로 증가하고 있으나, 국내외로 환경보전에 대한 관심이 증대되고, 종이의 원료인 삼림자원은 한정되어 있어 폐기물로만 생각하여 왔던 고지를

• 충남대학교 농과대학 임산공학과(Dept. of Forest Product Technology, College of Agriculture, Chungnam National University, Teajeon 305-764, Korea).

† 주저자(Corresponding author)

재생하여 사용하는 것이 점점 더 중요해지고 있다.¹⁻²⁾ 고지로부터 얻은 고지섬유는 초기 섬유장보다 섬유장이 짧고, 섬유의 각질화로^{1,3-5)}로 인하여 천연펄프의 섬유보다 제반 물성이 저하되며, 이물질을 많이 포함하고 있는 문제점이 있다. 국산 골판지 고지는 재활용률이 90% 가까운 상황이며 반복적인 재활용으로 인하여 강도저하 현상이 커서 적절한 물성을 얻기가 어려운 단점을 지니고 있다. 이러한 고지섬유를 물리적, 화학적 처리에 의해 섬유의 특성을 개선 또는 개질하는 일은 매우 중요하며 이에 대한 연구는 전세계적으로 많이 진행되어 왔다. 하지만 현재까지의 모든 연구결과는 섬유자체의 특성 개선보다는 제지공정을 변화시키거나 (restraint drying, press drying), 강도 향상제의 투입, 혹은 섬유분급처리(fiber fractionation)에 의해 종이의 물성을 개선하는 부분적인 성과를 얻고 있는 데 불과한 형편이다.^{6,7)} 섬유자체를 변화시켜 각질화를 역전시키려는 생물학적, 화학적 노력 (알칼리 처리와 오존, 과산화수소, 산소를 이용한 처리, 효소)은 사실상 큰 효과를 보고 있지 못한 형편이다.⁶⁾

국내의 골판지의 원료는 국내 골판지 고지와 장섬유가 많은 외국으로부터 수입 골판지 고지를 많이 사용하고 있으나 차츰 수입 골판지 고지도 수급이 어려워지고 있는 실정이다.⁸⁾ 따라서 100% 국내 저급 골판지 고지를 이용하여 강도가 높은 고지의 개발은 반드시 이루어져야 할 연구과제이다. 골판지 고지(OCC, Old Corrugated Container)의 활용에 있어서 가장 중요한 점은 이 고지들의 강도적 성질을 어떻게 개선하는가 하는 점이다. 국내 골판지 고지는 연속적으로 계속 재사용되기 때문에 골판지 고지섬유의 평균 물성치는 수입고지에 비해 매우 열악한 편이다.⁹⁻¹⁰⁾ 그 이유는 골판지 고지들이 주로 종이의 표면적 성질보다는 종이의 구조적 성질, 즉 요구 강도의 충족이 품질을 결정하기 때문이라 볼 수 있다. 본 연구에서는 골판지의 물성에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 압축강도와 파열강도를 향상시키기 위하여 섬유를 물리적으로 연화시키는 방법(섬유에 물리적인 압축과 비틀림을 반복함)을 채택하여 섬유의 유연성을 향상시키고 각질화가 충분히 진행되지 못한 경우 약한 결합을 이루고 있을 섬유 내부의 결합을 물리적으로 파괴 시킴으로써 내부 피브릴화를 촉진시키는 방법을 채택하였다. 또 4가지의 고해방식을 채택하여 골판지 고지의 고해에 가장 적합한 고해방법을 선정하

여 골판지의 물리적 전처리와 병행함으로써 섬유의 강도적 특성을 크게 개선하는 섬유개질을 연구하였다.¹¹⁾

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에 사용된 골판지고지(OCC, Old Corrugated Container)는 동일제지(주)에서 100% 국산고지로 제조한 라이너 원지를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 섬유의 전처리

본 연구에서는 효소 처리에 관한 연구나 특수 화학 약품 처리에 의한 섬유의 개질 및 물리적 성질의 변화는 다루지 않았다. 다만 Fig. 1에서와 같이 섬유에 물리적으로 압축과 전단력을 집중적으로 가하는 공정을 고해 전에 사용함으로써 물리적으로 섬유의 구조를 연화시키고 이들의 효과를 전처리를 하지 않은 섬유와 비교 검토하였다.

해리된 골판지 고지섬유는 Fig. 2에서와 같이 농도 25%로 농축한 후 각각 1시간(Comp-1), 2시간(Comp-2) 동안 Hobart Mixer를 사용하여

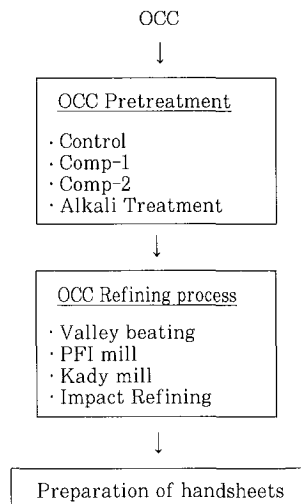


Fig. 1. The flowchart of OCC treatment process.

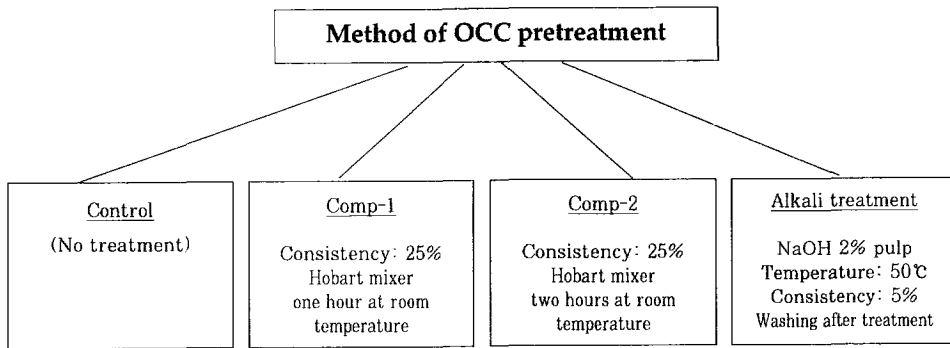


Fig. 2. Methods of OCC pretreatment.



Fig. 3. Microcompressions in commercial dried bleached sulphite pulp (× 600).

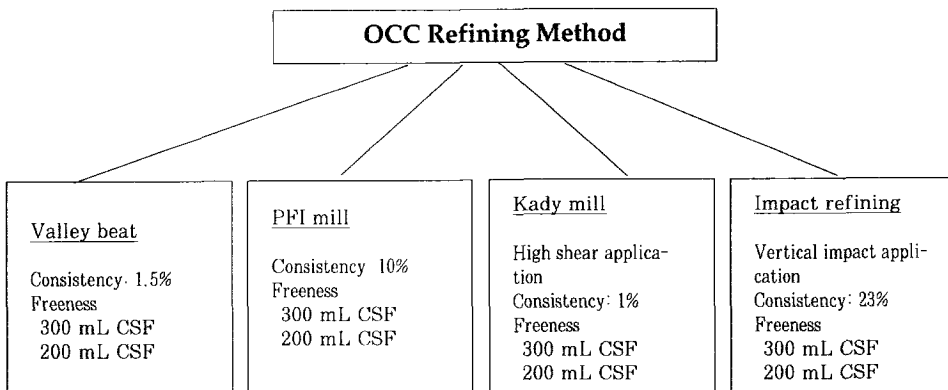


Fig. 4. OCC refining methods in the experiment.

섬유에 강한 압축과 전단력을 가하여 섬유 내부의 결합을 파괴시키며 섬유표면에 microcompression을 형성하였다. microcompression은 매끈한 섬유표면에 압축과 전단력에 의해 아코티언처럼 주름이 잡힌 형태를 말한다(Fig. 3).

2.1.2 섬유의 화학적 처리

섬유에 알칼리 처리를 실시하였다. 알칼리의 약품은 NaOH를 사용하여 지료의 농도 5%, 온도 50℃, 처리량 2%/O.D. pulp, 처리시간 30분간 처리한 후 세척을 실시하였다.

세척은 80 mesh 스크린으로 실시하였으며 사실상 30%의 고해 전의 미세섬유가 빠져 나갔다고 볼 수 있다. 따라서 알칼리 처리는 알칼리 처리와 불순물 제거공정의 결합으로 볼 수 있다.

2.2 섬유의 고해방법

각각의 방법으로 전처리된 시료와 전처리되지 않은 시료(Control)를 Fig. 4에서와 같이 4가지의 방법으로 고해를 실시하여 각각의 고해방법에 따른 섬유에 미치는 효과를 비교 검토하였다.

2.2.1 섬유의 고해

Valley beater의 경우 섬유장의 손실이 많이 일어날 것으로 예상되며, 1.5%에서 여수도가 각각 300 mL CSF, 200 mL CSF로 고해를 실시하였다. Kady mill을 원래 제지 실험실에서 코팅 안료를 분산시키기 위해 주로 사용되나 본 실험에서는 고해방식으로 채택되었다.

Kady mill 고해는 저농도에서 섬유에 강한 전단력을 가함으로써 고해되는 원리를 이용하는데 농도 1%에서 여수도가 각각 300 mL CSF, 200 mL CSF로 고해를 실시하였다. 섬유장을 잘 보호할 수 있는 고해방법으로 채택하였다.

고농도로 고해를 실시하여 섬유끼리의 마찰 전단력으로 고해되는 원리를 이용한 PFI mill을 사용하여 농도 10%에서 여수도가 각각 300 mL CSF, 200 mL CSF로 고해를 실시하였다. PFI mill은 Valley beater에 비해 내부 피브릴화가 더 많이 형성될 것으로 예상되며, 섬유장을 Valley beater보다는 적게 손실을 줄 것으로 판

단하여 채택하였다.

마지막으로 네 번째 고해방식은 Impact refining인데 이러한 고해는 한지 제조시 사용되는 고해 원리를 이용한 고해방법으로써 농도 25%에서 수직 반복 하중을 가하여 각각 여수도가 300 mL CSF, 200 mL CSF로 고해를 실시하였다. 본 고해방식은 천연화학펄프에 적용시 섬유장의 손실이 거의 없는 방식으로 확인되었다.

2.3 섬유장 분석

전처리 후 고해처리한 각각의 시료를 섬유장, 미세분의 함량, 컬지수(curl index)의 변화를 Fiber Quality Analyzer(FQA, Optest Equipment사, Canada)를 이용하여 분석하였다.

2.4 물성 측정

수초지 제작은 전처리를 실시한 시료와 무처리 시료를 같은 조건으로 Valley beater에서 고해 처리하여 각각의 지료를 원형수초지기를 이용하여 평량 120 g/m²로 초지하였다. 각각의 수초지는 TAPPI Standard T402 om-88에 따라 23±1℃, 상대습도 50±2%로 조절된 항온항습실에서 24시간 이상 조습처리를 실시한 후 수초지의 인장강도(T489 om-88), 인열강도(T414 om-88), 파열강도(T403-85), Ring-crush(T472 wd-76)를 측정하여 각각 열단장, 인열지수, 파열지수, 압축지수를 산출하였다.¹³⁾

2.5 다중회귀분석 모델에 의한 분석

Fig. 1에서와 같이 처리된 섬유로 제작한 수초지의 물성측정 결과와 섬유장 및 컬지수는 다중회귀 분석법에 의하여 분석되었다.

다중회귀분석 모델(multiple-regression model)

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + a_7X_7 + a_8X_8 + a_9X_9 + a_{10}X_{10} + a_{11}X_{11} + a_{12}X_{12}$$

Y : 종이의 물성치

X₁ = Comp-1 전처리시 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0

- x_2 = Comp-2 전처리시 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_3 = Alkali 전처리시 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_4 = Valley beater로 300 mL CSF까지 고해한 경우 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_5 = Valley beater로 200 mL CSF까지 고해한 경우 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_6 = PFI mill로 300 mL CSF까지 고해한 경우 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_7 = PFI mill로 200 mL CSF까지 고해한 경우 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_8 = Kady mill로 300 mL CSF까지 고해한 경우 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_9 = Kady mill로 200 mL CSF까지 고해한 경우 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_{10} = Impact refining으로 300 mL CSF까지 고해한 경우 1.0, 그 외의 경우 모두 0.0
- x_{11} = 섬유의 길이(Weight Weighted)
- x_{12} = 컬지수
- a_0 = 전처리를 하지 않고(무처리), 고해를 하지 않은 섬유로 만든 수초지의 물성치.
- a_1 = Comp-1 전처리를 한 경우와 하지 않은 경우와의 평균물성치 차이.
- a_2 = Comp-2 전처리를 한 경우와 하지 않은 경우와의 평균물성치 차이.
- a_3 = Alkali 전처리를 한 경우와 하지 않은 경우와의 평균물성치 차이.
- a_4 = Valley beater로 300 mL CSF까지 고해한 경우와 고해하지 않은 경우와의 평균물성치 차이.
- a_5 = Valley beater로 200 mL CSF까지 고해한 경우와 고해하지 않은 경우와의 평균물성치 차이.
- a_6 = PFI mill로 300 mL CSF까지 고해한 경우와 고해하지 않은 경우와의 평균물성치 차이.

- a_7 = PFI mill로 200 mL CSF까지 고해한 경우와 고해하지 않은 경우와의 평균물성치 차이.
- a_8 = Kady mill로 300 mL CSF까지 고해한 경우와 고해하지 않은 경우와의 평균물성치 차이.
- a_9 = Kady mill로 200 mL CSF까지 고해한 경우와 고해하지 않은 경우와 평균물성치 차이.
- a_{10} = Impact refining으로 300 mL CSF까지 고해한 경우와 고해하지 않은 경우와 평균물성치 차이.
- a_{11} = 섬유길이 1 mm 늘어날 때의 평균물성치 효과.
- a_{12} = 컬지수 1.0이 늘어날 때의 평균물성치 효과.

3. 결과 및 고찰

3.1 OCC 전처리 방법 및 고해방법과 섬유의 형태와의 관계

OCC의 전처리, 즉 압축과 전단력을 준 Comp-1, Comp-2와 알칼리 처리와 네 가지의 고해방식에 따른 섬유 형태의 변화, 특히 컬의 형성에 대한 통계처리가 Table 1에 제시되어 있다. 컬은 컬지수로 나타내는데 그 정의는 실제 섬유의 길이를 컬이 형성된 후의 최장거리로 빼 준 후 그 값을 다시 실제 섬유의 길이로 나누어 준 것이다. 따라서 그 숫자가 커질수록 컬의 정도는 커진다. 회귀계수가 크면 그만큼 더 컬이 많이 형성된다고 볼 수 있으며, 회귀계수가 음수이면 컬이 퍼지는 현상을 예상할 수 있다. 컬지수에 대한 다중회귀

Table 1. The result of multiregression coefficient analysis about curl index of fiber according to fiber pretreatment and refining types

Variables	Regression coefficient	Student T Value	Probability
Pre-treatment (comp-1)	0.0187	3.008	0.005
Pre-treatment (comp-2)	0.0913	4.704	0.000
Alkali Pre-treatment	*	-1.009	0.321
Valley-300CSF	-0.0375	-4.282	0.000
Valley-200CSF	-0.04	-4.568	0.000
PFI-300CSF	*	0.114	0.910
PFI-200CSF	*	-0.999	0.325
Kady-300CSF	-0.0193	-2.198	0.036
Kady-200CSF	-0.0257	-2.941	0.006
Impact-300CSF	*	0.714	0.481

Multiregression intercept: 0.0856, Multiregression coefficient: 0.907

* : Regression coefficient is insignificant and considered as zero because its probability is over 5%.

분석결과를 Table 1에서 보이고 있다.

Table 1에서 보면 전처리 Comp-1(regression coefficient = 0.0187)과 Comp-2 (regression coefficient = 0.0913)는 OCC에 많은 썬을 형성시키며, 이러한 썬은 고해 도중에도 상당히 유지되는 경향이 있다. 고해방법 중에서 PFI mill과 Impact refining은 썬을 유지하며 고해되는 경향을 볼 수 있다(회귀계수가 유의성이 없으며 제로로 볼 수 있다). 반면에 Valley beater와 Kady mill은 썬을 펴 주는 역할을 하고 있었다(회귀계수가 음수).

Fig. 5에서 보면 Valley beater 고해와 Impact 고해는 섬유장의 손실이 매우 큼을 볼 수 있다. 반면에 PFI mill과 Kady mill은 섬유장의 변화를 최소화한다. Table 1의 결과와 결합해 보면 Valley 고해는 썬을 펴 주며, 섬유장을 짧

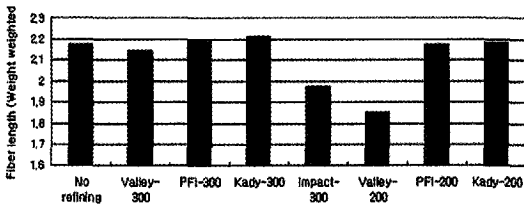


Fig. 5. Change of fiber length according to refining types. (200 and 300 are Canadian Standard Freeness values, respectively.)

게 하고, 미세섬유를 많이 발생시키는 방식이지만, PFI mill 고해는 섬유장을 유지하며 썬의 변화를 최소화하는 고해방식임을 알 수 있다. 반면에 Kady mill에 의한 방식은 썬을 펴 주는 방식이지만 섬유장의 변화를 최소화하는 고해임을 알 수 있다.

3.2 열단장의 분석

열단장의 다중회귀분석 결과를 Table 2에서 보이고 있다.

알칼리 처리와 Valley beater 고해는 수초지의 열단장을 현저히 증가시켰다. PFI mill과 Kady mill, Impact 고해는 열단장을 서서히 늘리고 있었다. Valley beater 고해는 섬유를 펴고(Table 1) 섬유장을 줄이며(Fig. 6), 미세 섬유분을 증대시킴으로써 열단장을 늘리고 있었다. Comp-1과 Comp-2의 전처리의 경우 모든 리파이닝 방법을 적용하여도 항상 열단장의 증대에 기여하고 있었다(regression coefficient 각각 0.232와 0.330). Impact 고해는 섬유장의 손실이 매우 큰 데 비해 열단장의 증가가 두드러지지 않았다.

3.3 인열강도 분석

Table 2. The result of multiregression coefficient analysis about breaking length of handsheets according to fiber pretreatment and refining types

Variables	Regression coefficient	Student T Value	Probability
Pre-treatment (comp-1)	0.232	2.401	0.020
Pre-treatment (comp-2)	0.330	2.523	0.041
Alkali Pre-treatment	0.911	9.730	0.000
Valley-300CSF	1.311	10.187	0.000
Valley-200CSF	2.100	10.718	0.000
PFI-300CSF	*	0.351	0.727
PFI-200CSF	0.530	3.309	0.002
Kady-300CSF	0.578	4.344	0.000
Kady-200CSF	0.992	6.195	0.000
Impact-300CSF	0.645	4.706	0.000

Multiregression intercept: 1.842, Multiregression coefficient: 0.940

* : Regression coefficient is insignificant and considered as zero because its probability is over 5%.

Table 3. The result of multiregression coefficient analysis about tear index of handsheet according to fiber pretreatment and refining types

Variables	Regression coefficient	Student T Value	Probability
Pre-treatment (comp-1)	0.078	4.188	0.000
Pre-treatment (comp-2)	0.072	3.899	0.000
Alkali Pre-treatment	0.0149	8.377	0.000
Valley-300CSF	*	-0.197	0.845
Valley-200CSF	-0.080	-2.599	0.012
PFI-300CSF	0.055	2.289	0.026
PFI-200CSF	0.125	4.054	0.000
Kady-300CSF	*	0.768	0.446
Kady-200CSF	*	0.757	0.452
Impact-300CSF	*	1.474	0.146

Multiregression intercept: 0.753, Multiregression coefficient: 0.851

* : Regression coefficient is insignificant and considered as zero because its probability is over 5%.

인열강도에 대한 다중회귀 분석결과를 Table 3에서 보이고 있다. Comp-1, Comp-2, 알칼리 처리는 인열강도 증대에 중요한 역할을 하였으며, 특별히 알칼리 처리는 열단장과 인열강도를 동시에 증대시키는 효과를 내고 있었다. 하지만 알칼리 처리는 알칼리 처리 단독효과와 약성 미세분들을 상당히 제거한 효과(10% 이상)의 결합으로 볼 수 있으므로 순수한 알칼리 효과로 보기는 어렵다. PFI 고해는 열단장의 증대에 큰 역할을 보이

고 있지 못했었으나 인열강도 증가에는 매우 효과적이었다. Valley beater 고해와 Kady mill 고해는 인열강도에 도움이 되지 못했다. 이들이 열단장의 증대에 큰 역할을 함을 볼 때 인열강도의 증대가 없는 것은 당연한 결과로 볼 수 있다. 특별히 Valley beater 고해는 하면 할수록 인열강도의 손실이 있었다.

Table 4. The result of multiregression coefficient analysis about burst index of handsheets according to fiber pretreatment and refining types

Variables	Regression coefficient	Student T Value	Probability
Pre-treatment (comp-1)	0.00284	3.900	0.000
Pre-treatment (comp-2)	0.0050	3.385	0.001
Alkali Pre-treatment	0.00762	10.83	0.000
Valley-300CSF	0.00946	9.782	0.000
Valley-200CSF	0.0148	10.066	0.000
PFI-300CSF	*	1507	0.138
PFI-200CSF	0.00557	4.630	0.000
Kady-300CSF	0.00418	4.404	0.000
Kady-200CSF	0.00750	6.227	0.000
Impact-300CSF	0.00445	4.318	0.000
OCC Fine 20%	*	1.848	0.070

Multiregression intercept: 0.00561, Multiregression coefficient: 0.935

* : Regression coefficient is insignificant and considered as zero because its probability is over 5%.

3.4 파열강도 분석

파열강도에 대한 다중회귀분석 결과를 Table 4에서 요약하고 있다.

Comp-1, Comp-2의 전처리는 파열강도를 증가시키는 경향이 있으며, 알칼리 전처리와 Valley beater 고해는 파열강도의 증가에 매우 유효하다. 그러나 PFI mill이나 Kady mill 고해는 크게 파열강도를 증가시키지 않았다.

3.5 압축강도의 변화

Fig. 6은 각각의 전처리 효과에 대한 네 가지 고해방식(Valley beater, PFI, Kady mill, Impact)에 의한 수초지의 물성치를 평균한 것이다.

Fig. 6에서 보듯이 Comp-1, Comp-2 처리는 물성의 증대효과를 나타내었으며, 열단장, 압축지수, 인열지수, 파열지수는 평균 약 10% 증대하였다. 이는 단지 전처리 효과에 의해 나타난 물성 증대치이며 섬유의 세척이나 선별, 혹은 불순물 제거에 의한 효과가 철저히 배제된 상황에서 얻어진 결론으로 볼 수 있다. 또 Comp-1과 Comp-2는 섬유의 길이가 control과 차이가 거의 없으므로 처리과정 중 미세섬유 혹은 불순물의 손실이 없었다고 볼 수 있다.

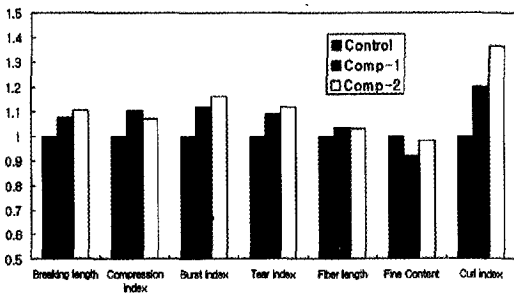


Fig. 6. Effect of pre-treatment on OCC-fiber.

4. 결론

본 연구는 골판지 고지의 가장 중요한 물리적 성질인 강도적 성질을 증대시키기 위하여 섬유의

전처리 방법으로서 Hobart mixer를 사용하여 섬유에 강한 압축과 전단력을 부여함으로써 섬유의 개질을 시도하였으며, 4가지 방법의 고해방법 (Valley beater, Kady mill, PFI mill, Impact refining)을 채택하여 골판지 고지의 최적 고해방법을 찾는 데 그 목적을 두고 이 연구를 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. Hobart mixer로 전처리를 1시간 이상 실시한 골판지 고지섬유들은 무처리 섬유와 같은 조건으로 고해처리를 실시할 경우 열단장, 파열강도, 인열강도, 압축강도가 모두 약 10% 이상 증대하였다. 전처리는 섬유장의 감소를 전혀 일으키지 아니하였다.
2. Kady mill과 PFI mill 고해는 섬유장의 감소를 방지하는 경향이 있었고, Kady mill과 Valley beater 고해는 섬유의 결을 띄우는 방향으로 고해가 진행되었다.
3. Valley beater 고해와 Impact 고해는 섬유장의 감소가 급격하였으며, 미세섬유 발생이 매우 많았다. 골판지 고지 섬유는 충격(Impact)에 매우 약하여 쉽게 섬유구조가 부서지는 경향을 보였다.
4. 파열강도는 Comp-1, Comp-2의 전처리 방법과 Valley beater 고해로 증대할 수 있었다.
5. 열단장과 파열강도를 인열강도를 유지한 채로 가장 높이는 방법은 섬유 전처리 방식인 Comp-1이나 Comp-2를 사용하여 전처리한 후 Valley beater를 이용하는 방법으로 판단되었다.

인용문헌

1. Mckinney, R. W. J., Technology of paper recycling, Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall (1995).
2. De Ruvo, A., Htun, M., and Ehrnrooth, E., EuCePa Symposium Proceedings, Paris (1978).
3. Scallen, A. M., and tigerstrom A. C., JPPS, 18(5):188 (1992).
4. Wyk, W. van and Gerischer, G., Paperi Ja Puu, 64(9): 526 (1982).
5. Howard R. C., Pulp and Paper Science J. 16(5):143 (1990).
6. Edward, L. S., 1993 TAPPI Recycling

- Symposium, TAPPI Press, Atlanta, pp. 163-171.
7. Minor, J. L., Scott, C. T., and Atalla, R. H., 1993 TAPPI Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, pp. 379-385.
 8. Veverka, A. C., Pulp and paper science J. 64(9):97 (1990).
 9. Waterhouse, J. F., and Keiichi O., Product of Papermaking, vol 2. pp. 1261-1292 (1993).
 10. Koning, J. W., and Godshall W. D., Tappi J. 58(9):149 (1975).
 11. 신동소 외 6명, 제지과학, pp. 71-143, 광일문화사 (1996).
 12. Page, D. H. , Seth R. S., Jordan, B. D., and Barbe, M. C., Papermaking Raw Materials, Vol.1, Engineering Publications Ltd., London, p. 183 (1985).
 13. Scott, W. E., Properties of Paper: An Introduction, TAPPI Press, Atlanta (1989).