

골판지 고지섬유의 단섬유분의 물리화학적 처리에 관한 연구

- 골판지 고지의 물리화학적 처리에 의한 강도향상 제4보 -

이 중 훈* · 서 영 범[†] · 최 찬 호 · 전 양

(2001년 8월 30일 접수; 2001년 12월 10일 채택)

Influence of Chemical and Mechanical Treatments of the Screened Short Fibers from OCC on Paper Properties

- Strength Property Improvement of OCC-based Paper by Chemical and
Mechanical Treatment (IV) -

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

(Received on August 30, 2001; Accepted on December 10, 2001)

ABSTRACT

Recycled fibers usually give slow drainage in the paper forming process, which limits the application of more refining to the recycled fibers for improving paper strength and formation. To use recycled fibers more effectively, especially OCC, developing very efficient handling technique of short fibers and fines is inevitable. We tried to make hard flocs of fractionated short fibers and fines, which were the main cause of slow drainage, by adding excessive amount of retention aid selectively on them. This technique was proved to increase drainage considerably, but to decrease strength properties, compared to the conventional technique of adding the same amount of polymers to the whole furnish in the lab test. The bonding capability of short fibers and fines in Korean OCC was very poor. Various chemical treatment on the short fibers and fines of the Korean OCC did not improve their bonding and optical properties. One of the reasons of no improvement in their properties was their high amount of ashes.

Keywords: recycled fibers, OCC, drainage, fines, short fibers, hard floc, strength properties, chemical treatment

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

* 삼화제지

[†] 주저자(Corresponding author): e-mail: ybseo@enu.ac.kr

1. 서론

고지사용량이 매우 높은 국내 현실을 고려할 때, 고지의 적절한 이용에 관한 연구는 필수적이다. 화학펄프 고지의 경우 종이 제조공정에서나 최종 소비자들이 이용하는 과정에서 섬유의 각질화(hornification) 현상이 일어남으로써 종이의 강도적 성질을 저하시키고, 미세섬유분들을 많이 발생시킴으로써 초지시 탈수성질의 저하를 가져오게 된다.¹⁻⁶⁾ 본 연구의 저자들은 물리적 전처리를 통해 OCC 섬유의 개질을 피함으로써 물리적 성질 및 강도적 성질을 향상시켰던 연구들을 실시한 바 있으며,⁷⁻⁹⁾ 이제는 OCC의 탈수적 성질을 개선함으로써 OCC 사용효율의 극대화를 추구하고자 본 연구를 실시하였다. 본 연구에서는 골판지 고지에서 단섬유분과 장섬유분을 분급한 후,¹⁰⁾ 개별적으로 단섬유분에 단독적으로 화학처리를 실시하여 백색도 및 강도적인 성질을 향상시키고,¹¹⁾ 단섬유분에만 단독적으로 양이온성 고분자화합물을 과량 사용하여 와류에 강한 floc을 제조함으로써 OCC 전체의 탈수성을 향상시키고자 하였다.

분급된 OCC의 단섬유분은 많은 불순물들을 포함하고 있으며, 특히 광물성 물질들을 많이 함유하고 있는 것이 특징이다. 이러한 광물성 물질들은 폐골판지 박스들의 분리수거가 이상적이지 못할 때 생기는 현상들로 추정되며, 반복적인 고지회수 및 재사용이 증가할수록 포함되는 광물성 물질들의 양이 증가한다. 분급된 단섬유분들만으로 강한 와류하에서도 견디어 내는 floc들만 만들 경우 탈수성의 증대가 기대된다. 하지만 종이 표면색의 불균일성과 강도적 성질의 변화가 예상된다. 만일 종이 표면색과 강도적 성질의 변화가 허용할 수 있는 한계 내이며, 탈수성의 증대가 현저히 크다면, 본 공정을 적절히 활용함으로써 생산성의 증가 및 건조 에너지의 절감효과를 기대할 수 있게 될 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서 사용된 공시펄프는 동일제지에서 공급

한 KOCC(Korea Old Corrugated Container)를 사용하였으며, 본 연구에서 사용된 양이온성 고분자 화합물은 Cationic PAM(Polyacrylamide)으로써, 일반적으로 보류향상제, 탈수촉진제, 응집제 등으로 널리 쓰이는 물질이다. 그 특성은 Table 1과 같다. 분자량이 2백만~4백만인 PAM과 천만인 PAM을 미리 사용해 보았으나, 분자량 6백만~8백만의 PAM에 비해 지료를 응집시키는 능력이 떨어졌다. 따라서 다른 PAM들은 본 실험에서 제외시켰다.

2.2 실험방법

골판지 고지섬유를 Valley beater에서 부하를 걸지 않은 상태에서 동일시간 해리한 후, 다시 Valley beater를 이용하여 0, 10, 20분 간 고해를 실시하였다. 고해되어진 골판지 고지섬유는 40 mesh screen을 이용하여 세척법으로 분급하였다. 일반적으로 미세섬유를 분리하는 150 mesh나 200 mesh screen을 사용하지 않은 이유는 실제 공장에서 빠른 속도로 150 mesh 이하의 미세분들을 분리하기 어렵기 때문이다. 따라서 실제 공장에서 채용 가능한 굵은 mesh의 screen이 필요하며, 본 연구의 편의상 40 mesh screen을 이용하여 실험을 진행하였다. 40 mesh 이하의 단섬유들은 분리가 쉬운 반면, 탈수성에는 큰 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 본 연구에서 분급되어진 40 mesh 통과분을 단섬유분이라 하고, 40 mesh 잔존분을 장섬유분이라 칭하였으며, 저농도의 단섬유분은 장시간 정치시켜 놓은 후 상등액의 맑은 물을 제거한 후 고운 면천으로 걸러서 10~15% 정도로 농축하여 사용하였다. 위와 같은 방법으로 분급되어진 단섬유분의 함량은 Table 2와 같다.

2.2.1 단섬유분의 floc화 처리

단섬유분에 양이온성 고분자화합물인 cationic PAM을 투입하여 floc을 형성시켰다. 전건기준 0.4%에서 1%까지 수준별로 투입하여 가장 견고한 floc을 형성시키는 투입량을 조건으로 결정하였다.

Table 1. Characteristic of PAM used

Polymer	Maker	Charge Density	Molecular Weight
Cationic Polyacrylamide	Unico Co.	1.2 meq/g	4,000,000~6,000,000

Table 2. The amount of short fiber fraction of OCC

	No refining furnish	10 min. refining furnish	20 min. refining furnish
Content (%)	15.6	19.9	33.3

2.2.2 단섬유분의 화학처리

단섬유분의 성질을 개선하기 위하여 화학처리를 실시하였다. 약품은 각각 NaOH, Na₂O₂, H₂O₂를 사용하여 30℃의 항온수조에서 5% 농도의 지료에 전건지료 무게당 각각 1%, 2%로 약품을 첨가하여 30분간 처리하였다.

2.2.3 탈수성 측정

본 연구에서는 탈수성을 측정하기 위하여 DDJ (Dynamic Drainage Jar)를 이용하여 30 Second drainage test 법으로 측정하였다. 30 Second drainage test 법은 Fig. 1과 같이 농도 0.5%의 지료 500 ml가 30초간 탈수되는 양을 측정하는 것으로서 회전날의 속도는 500 rpm이다. 이러한 30 Second drainage test의 값은 탈수성이 높으면 그 값이 500 ml에 가깝게 된다. 특히 본 연구에서는 탈수성뿐만 아니라, 단섬유분의 floc이 얼마나 견고한가를 측정하기 위하여, 한 번 측정된 시료를 다른 처리를 거치지 않고 그대로 Jar에 넣어 2차, 3차에 걸쳐 측정을 하였다. 또 이들 지료들의 여수도를 Canadian Standard Freeness Tester를 이용하여 TAPPI Standard T227 om-88 방법에 의거 측정하였으며, TAPPI standard 원형수초지기를 이용하여 평량 80 g/m² 으로 수초지를 제작하였다.

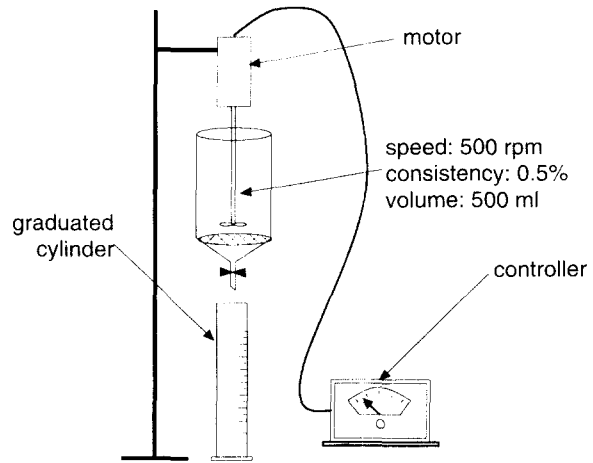


Fig. 1. Schematic diagram of Dynamic Drainage Jar.

2.2.4 수초지 물성측정

각각의 수초지는 TAPPI Standard T402 om-88에 따라 23±1℃, 상대습도 50±2%로 조절된 항온항습실에서 24시간 이상 조습처리를 실시한 후 물성을 측정하였다. 조습처리된 수초지는 인장강도(T489 om-88), ring-crush(T472 wd-76)를 측정하여 각각 열단장, 압축지수를 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단섬유분의 탈수속도 측정

단섬유분의 탈수속도를 향상시키고자 양이온성

Table 3. Drainage rate change of short fiber fraction only by PAM addition

Short fiber fraction	PAM addition (%)	1st drainage rate (ml)	2nd drainage rate (ml)	3rd drainage rate (ml)
After no refining	0	120	-	-
	0.3	355	217	175
	0.5	430	370	210
	0.7	432	440	440
After 20 min refining	0	63	-	-
	0.4	427	410	300
	0.5	415	400	275
	0.6	447	426	460

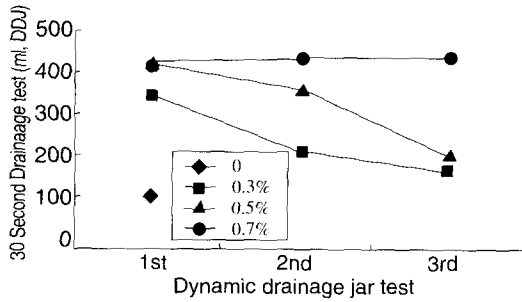


Fig. 2 Drainage rate of short fiber fraction (No refining).

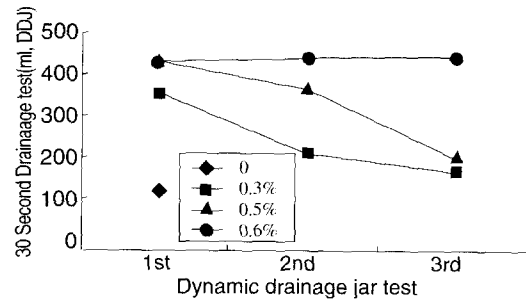


Fig.3 Drainage rate of short fiber fraction (20 min. refining).

PAM을 사용하여 flocc를 형성시켜 탈수속도를 측정하였다. 탈수속도는 Drainage Jar의 500 rpm에서 30초간 탈수되는 양(ml)으로 규정하였다. 단섬유분의 flocc의 견고함을 알아보기 위하여 단섬유분만으로 구성된 시료를 반복하여 2차, 3차에 걸쳐 측정한 결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 나타난 것과 같이 0분 고해한 시료의 단섬유분은 120 ml의 탈수속도를 나타내었으나, 단섬유분 전건대비 0.7%의 양이온성 PAM을 투입하여 flocc를 형성시킨 경우에는 1차 탈수속도가 432 ml로서 아주 높은 탈수속도를 나타내고 있으며 2차, 3차 탈수속도도 감소하지 않았다. 이것은 0.3%나 0.5%를 투입한 경우 탈수속도가 2차, 3차에서 감소한 경우와 달리 flocc가 깨지지 않고 유지되고 있음을 알 수 있다.

이러한 경향은 20분 고해한 단섬유분 경우에서도 잘 나타나고 있으며 20분 고해의 경우에는 0분 고해의 경우에서보다 양이온성 PAM을 투입하지 않은 경우 탈수속도가 63 ml로서 더 저하되었지만, 양이온성 PAM을 투입하면서 오히려 0분 고해의 단섬유분보다 적은 약품의 투입량에서 효과적으로 flocc가 형성되는 것을 볼 수 있었다. 이러한 경향을 Figs. 2~3에 나타내었다.

단섬유들 중에서 미세분들은 1차 미세분(Primary fine)과 2차 미세분(Secondary fine)으로 구별될 수 있는데, 1차 미세분은 고해 전에 이미 존재했던 미세분이고 2차 미세분은 고해 중에 생성되는 미세분으로서, 2차 미세분은 강도적 성질을 향상시키면서 탈수속도를 늦추나, 1차 미세분은 강도적 성질을 2차 미세분보다 적게 향상시키나 탈수속도는 저해하는 경향이 있다. 이것은 1차 미세분이 2차 미세분보다 각질화가 많이 진행되어있으며, 협잡물의 상대적인 함량도 많기 때문이다. 20분 고해한 시료의 단섬유분은 적은 양의

양이온성 PAM으로서도 효과적으로 안정된 flocc를 형성시킬 수 있었다.

이렇게 양이온성 PAM을 0.6~0.7%를 투입하여 flocc화된 단섬유부분의 탈수속도는 장섬유만으로 측정한 탈수속도(460 ml)와 거의 흡사한 탈수속도를 가지는 것으로 미루어 볼 때 더 이상의 양이온성 PAM의 첨가가 단섬유분의 탈수를 향상시키지 못할 것을 짐작할 수 있다. 따라서 단섬유분의 안정된 탈수속도 증대를 위하여 단섬유분 전건중량 대비 0.6%의 PAM을 다음 단계의 실험에 사용하기로 하였다.

3.2 장섬유분과 단섬유분 혼합시료의 탈수성 측정

앞의 결과를 토대로 단섬유부분의 flocc 처리의 적정량은 0.6%로 결정하였으며, 본 실험에서는 0.4%와 0.6% 두 가지 수준에서 고해를 하지 않은 시료와 고해를 10분 간, 20분 간 실시한 시료를 분급한 후 단섬유분에 양이온성 PAM을 단독처리 후 장섬유분과 혼합하여 탈수속도를 측정한 결과와 단섬유분과 장섬유분을 혼합 후 처리하여 탈수속도를 측정한 결과를 비교하여 검토하였다. 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4에서 나타난 것과 같이 전체 시료에 PAM을 투입하여 탈수속도를 향상시키는 것보다 단섬유분을 분급한 후 PAM을 단섬유에 단독처리하여 flocc를 형성시킨 후 장섬유분과 혼합하여 탈수속도를 향상시키는 것이 효과적으로 나타났다. Fig. 4에서 나타나는 것과 같이 20분 고해한 경우 장섬유분과 단섬유분을 합친 시료에 0.2%의 PAM을 첨가할 때, Drainage는 246 ml, 여수도는 478 ml CSF를 나타냈으나, 단섬유분에만 PAM을 0.4% 처리한 경우(전체시료에

Table 4. Drainage rate by Drainage jar and Canadian freeness tester

Refining time	Short fiber contents	Furnish	30" Drainage (ml)	Freeness (ml CSF)
No refining	15.6%	Whole fiber(1)	340	476
		Long fiber fraction only	-	652
		Whole fiber*(2)	-	490
		Whole fiber* + PAM(3)	430	596
		Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-0.4(4)	450	631
		Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-0.6(5)	465	648
10 min. refining	19.9%	Whole fiber	163	307
		Long fiber fraction only	310	534
		Whole fiber*	-	390
		Whole fiber* + PAM	244	482
		Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-0.4	-	580
		Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-0.6	348	613
20 min. refining	33.3%	Whole fiber	137	202
		Long fiber fraction only	360	529
		Whole fiber*	136	285
		Whole fiber* + PAM	245	478
		Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-0.4	400	583
		Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-0.6	420	626

- (1) Whole fiber : 분급되기 전 지료
- (2) Whole fiber* : 분급 후 다시 단섬유분과 장섬유분을 혼합한 지료
- (3) Whole fiber* + PAM : 단섬유분에만 PAM 0.6%를 첨가한 것과 같은 양의 PAM을 전체지료에 첨가
- (4) Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-0.4 : 단섬유분에만 PAM을 0.4% 처리하여 floc을 형성시킨 후 나중에 장섬유분을 첨가
- (5) Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-0.6 : 단섬유분에만 PAM을 0.6% 처리하여 floc을 형성시킨 후 나중에 장섬유분을 첨가

0.13% 해당), 여수도가 583 ml CSF, 0.6% 처리한 경우(전체지료에 0.2%에 해당), 여수도 626 ml CSF를 나타내는 것으로 보였다. 물론 PAM을 쓰지 않은 경우에는 여수도 285 ml의 매우 낮은 값을 나타내었다. 이런 결과로 미루어 볼 때 분급한 후 단섬유분에 PAM을 처리하여 탈수성을 향상시키는 공정은 고해처리기가 많이 진행되어도 미세분에 의하여 탈수속도가 저하되는 것을 막을 수 있었다.

3.3 단섬유분의 floc 처리시 수초지의 물성변화

미세분은 종이의 강도적 성질에 아주 큰 영향을 미친다. 특히 2차 미세분(리파이닝시 생성되는 미세분)은 자체의 비 표면적이 매우 크며 결합능력이 탁월하

여 강도를 증대시킨다. 이러한 단섬유분이 floc화되어 거동하였을 때 수초지의 강도적 성질에 미치는 영향을 Table 5에 나타내었다. Fig. 5는 밀도의 변화를 나타낸 그래프로서 밀도는 섬유간의 결합정도를 나타내며 밀도가 높아질수록 종이의 강도적 성질은 상승한다고 볼 수 있다. 단섬유분에 floc처리를 하였을 때 밀도는 전체적으로 약간 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 밀도의 감소 경향은 열단장(Fig. 5)과 압축지수(Fig. 6)에서도 잘 나타나며, 이와 같이 floc 처리를 하였을 때 밀도와 열단장 그리고 압축지수가 감소하는 이유는 미세분이 섬유간 결합에 큰 영향을 미치지만, 이 미세분들이 floc화 처리를 거치면서 장섬유분과 비슷한 형태의 거동을 하게 되어 결합능력이 상대적으로 저하하게 만드는 것으로 판단된다. 즉 미세분들이 섬유결합부위에 밀집되어 종이와 응력을 받을 때, 응력집중현상을 분산을 시켜 주는 효과가 있는 점을 고려할 때, 미세분

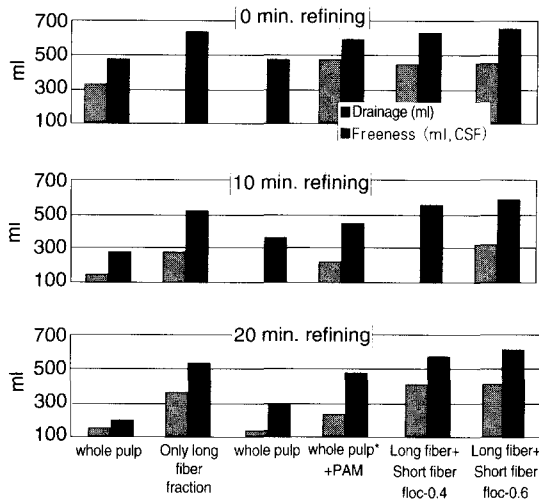


Fig. 4. Drainage property changes by floc treatment.

들만의 응집은 종이의 강도에 도움이 되지 않을 수 있다는 것을 짐작하게 된다. 또한 양이온성 PAM으로 floc을 형성시켰을 때 너무 큰 floc이 형성하게 되면 지합이 나빠지게 되는데, 이러한 이유들 때문에 강도적 성질이 저하하게 될 수도 있다. 이러한 점은 고분자의 적절한 선택과 처리기술에 의하여 작고 견고한 floc을 형성시켰을 때 개선될 수 있다고 생각된다. 강도적 성질에 큰 영향을 미치지 못하는 1차 미세분을 미리 분리하여 floc화시키고, 나머지를 고해하여 2차 미세분을 생성시켜 강도적 성질을 증진시키는 방법을 통하여 탈수성과 강도적 성질을 함께 개선할 수 있는 방법도 차후에 고려해 볼 수 있다.

3.4 단섬유분의 화학처리를 통한 개질

단섬유분의 화학적 처리를 통하여 단섬유분을 개질하여 단섬유분의 결합능력을 높이고 백색도를 높이고자 화학적 처리를 실시하였다. IPST의 Waterhouse⁴⁾는 단섬유분의 화학처리를 통하여 강도적 성질 및 광학적 성질을 개선할 수 있다고 하였으나 본 실험에서 사용된 골판지 고지(OCC)는 그러한 경향을 나타내지 않았다. Table 6에서는 단섬유분의 화학처리를 통한 수초지의 물성변화를 간단히 나타내고 있다.

단섬유분의 화학처리가 수초지의 물리적 성질에 큰 영향을 미치지 못한 이유는 0분 고해 지료의 경우 단섬유분의 함량이 약 17%로 너무 작은 양이 처리되었

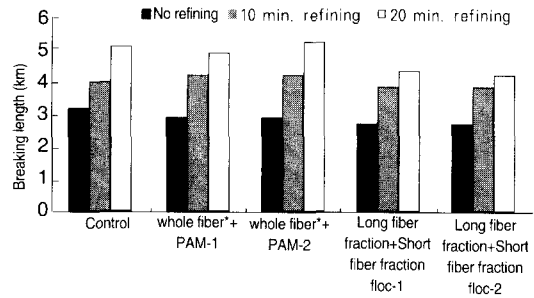


Fig. 5. Breaking length change by floc treatment.

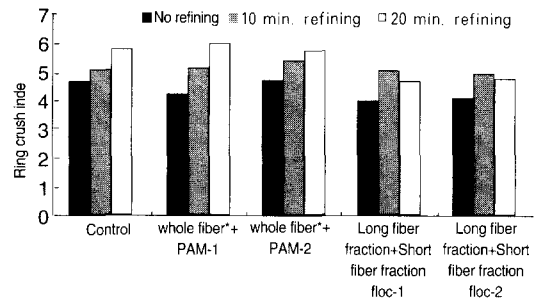


Fig. 6. Ring crush change by floc treatment.

을 가능성이 있으며, 단섬유분의 회분함량이 너무 높아 화학적으로 반응성이 떨어진 것으로 생각된다. 각 섬유별 회분함량은 Table 7에 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 골판지 고지섬유의 탈수성을 증대하기 위하여 섬유를 분급처리 후 단섬유분에 양이온성 고분자를 이용하여 floc을 형성시켰으며, 각질화가 많이 진행된 단섬유분을 개질하고자 화학처리를 실시하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 골판지고지섬유의 탈수성 및 여수도는 양이온성 보류항상제를 사용한 단섬유부분만의 제한적인 floc 형성으로 개선될 수 있었다. 단섬유만의 floc 형성은 과량의 양이온성 PAM을 사용하여 제조하였으며, 형성된 단섬유분 floc은 반복된 와류조건하에서도 안정된 형태를 취하였다. 단섬유분에만 PAM을 처리한 지료는 전체지료에 같은 양의 PAM을 처리한 지료보다 탈수성이나 여수도에 상당한 개선을 보였다.

Table 5. Mechanical property changes by floc treatment

		Control	(1) Whole fiber* + PAM-1	(2) Whole fiber* + PAM-2	(3) Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-1	(4) Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-2
No refining (Short fiber fraction content : 15.6%)	Density (g/cc)	0.549	0.538	0.537	0.513	0.522
	Breaking length (km)	3.205	2.936	2.909	2.730	2.706
	Compression index (Nm ² /g)	4.71	4.31	4.73	4.09	4.14
10 min refining (Short fiber fraction content : 19.9%)	Density	0.566	0.593	0.581	0.571	0.576
	Breaking length	4.047	4.224	4.239	3.925	3.841
	Compression index	5.10	5.16	5.43	5.09	5.01
20 min refining (Short fiber fraction content : 33.3%)	Density	0.593	0.605	0.597	0.593	0.609
	Breaking length	5.074	4.938	5.233	4.388	4.21
	Compression index	5.91	6.01	5.70	4.79	4.81

- (1) Whole fiber* + PAM-1 : 분급 후 다시 단섬유분과 장섬유분을 혼합한 지료에 단섬유분에만 PAM 0.4% 첨가한 것과 같은 양을 첨가
- (2) Whole fiber* + PAM-2 : 분급 후 다시 단섬유분과 장섬유분을 혼합한 지료에 단섬유분에만 PAM 0.6% 첨가한 것과 같은 양을 첨가
- (3) Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-1 : 단섬유분에만 PAM을 0.4% 처리하여 floc을 형성시킨 후 나중에 장섬유분을 첨가
- (4) Long fiber fraction + Short fiber fraction floc-2 : 단섬유분에만 PAM을 0.6% 처리하여 floc을 형성시킨 후 나중에 장섬유분을 첨가

2. 골판지 고지 단섬유분만의 floc 형성은 수초지의 강도적 성질을 저하시켰다. 이것은 이차 미세분들이 단섬유분들의 floc화에 참여함으로써, 장섬유간의 결합에 보조적인 역할을 제대로 할 수 없었기 때문으로 판단된다.

3. 골판지고지 단섬유분의 화학처리에 의한 개질은 효과적이지 못하였다. KOCC 의 단섬유분의 회분 함량이 20-35% 에 이르는 사실을 염두에 둘 때, 어떠한 화학처리도 큰 효과가 없을 것으로 판단된다.

Table 6. Physical property changes by chemical treatment of short fiber fraction

Chemical treatment dosage on short fiber (O.D. basis)	Density (g/cc)	Breaking length (km)	Brightness (%)
Control	0.565	2.889	26.2
Na ₂ O ₂ , 1%	0.575	2.698	26.98
Na ₂ O ₂ , 2%	0.579	2.549	27.04
NaOH, 1%	0.576	2.717	26.74
NaOH, 2%	0.572	2.614	26.91
H ₂ O ₂ , 1%	0.575	2.801	26.71
H ₂ O ₂ , 2%	0.586	3.106	26.38

Table 7. Ash content of OCC furnish

Furnish (content)		Ash content (%)
No refining	Long fiber fraction (84.4%)	4.1
	Short fiber fraction (15.6%)	31.0
10 min. refining	Long fiber fraction (80.1%)	2.9
	Short fiber fraction (19.9%)	33.8
20 min. refining	Long fiber fraction (76.7%)	1.1
	Short fiber fraction (33.3%)	22.5
Whole pulp		10.9

인 용 문 헌

- Howard, R. C., Journal of Pulp and Paper Science, Vol. 16(5):143 (1990).
- Bhat, G. R., Heitmann, J. A., and Joyce, T.W., Tappi J. Vol. 74(9):151 (1991).
- Mancebo, R., and Krokoska P., Papir a Celluloza Vol. 36(11):b75 (1985).
- Waterhouse, J. F., and Keiichi Omori., Product of Papermaking (Baker, C.F., Ed), Pira International, Leather head, Vol.2, p. 1261-1292 (1993).
- Springer, E., L., Klungness, J., H., Spangenberg, R., J., Minor, J. L., Tan F., 1993 Recycling Symposium, TAPPI Press, p. 163-171 (1993).
- Ellis, R. L., and Sedlachek, K.M., Secondary Fiber Recycling, Tappi Press (1993).
- Lee, J. H., Seo, Y. B., and Jeon, Y., J. of Korea TAPPI, Vol. 32(1):10-18 (2000).
- Lee, J. H., Seo, Y. B., Jeon, Y., Lee, H.L., and Shin, J.H., J. of Korea TAPPI, Vol. 32(2):1-7 (2000).
- Lee, J. H., Seo, Y.B., Jeon, Y., Lee, H.L., and Shin, J. H., J. of Korea TAPPI, Vol. 32(2):8-15 (2000).
- Howland, P., Pulp, Paper and Board, pp. 108-115, (1987).
- Putz, H. J., and Gottsching, L., Pulp, Paper and Board, pp. 86-92 (1987).
- Nanko, H. and Ohsawa, J., in Fundamentals of Papermaking (Baker, C.F., and Punton, V. W., Eds) Mech. Eng Publ., London, Vol. 1, pp. 86-830 (1989).