

섬유의 각질화에 따른 수초지의 평형함수율과 치수안정성의 관계

박창순¹ · 이진호² · 길정하³ · 박종문^{2*}

(2010년 12월 10일 접수: 2011년 9월 3일 채택)

Relationship between Equilibrium Moisture Contents and Dimensional Stability of Handsheet Depending on Fibers Hornification

Chang-Soon Park¹, Jin-Ho Lee², Jung-Ha Kil³, Jong-Moon Park^{2*}

(Received December 10, 2010; Accepted September 3, 2011)

ABSTRACT

The conditions to which pulp fibers are exposed during paper production, converting, storage, use, and recycling can induce various changes in fiber morphology, surface characteristics, and suitability for paper production by recycled fibers. Most of those changes can be described by hornification. Paper has highly hygroscopic properties which affect dimensional change by relative humidity variation of surrounding condition. The purpose of this study was to investigate the dimensional stability, moisture contents and dip elongation of handsheets at different relative humidity conditions of recycled kraft pulp and BCTMP. By using recycled fibers, dimensional stability was increased because hygroscopic properties of fibers decreased with repeated recycling treatment. Dip elongation of recycled pulp was higher than that of virgin pulp because of its weak fiber-to-fiber bonding. By recycling pulp, the relative bonded area was decreased because fiber could not swell more than virgin pulp. Dimensional stability largely depended on the equilibrium moisture contents of paper, the fiber-to-fiber bonding strength, and the relative bonded area.

Keywords: *dimensional stability, hornification, dip elongation, recycling, WRV*

1. 한국 알스트롬 기술연구소 (Ahlstrom Korea, 7, keum-li, Yuga-myoun, Dalsung-County, Dae-Gu, South Korea)

2. 충북대학교 농업생명환경대학 임산공학과 (Chungbuk National University, College of Agriculture, Life & Environment Science, Department of Forest Products & Engineering, Cheongju, Chungbuk, 361-763, South Korea)

3. 한국조폐공사 기술연구원, (KOMSCO, Technical Research Institute, 54 Gwahak-no Yuseong-gu, Daejeon, 305-713 South Korea)

* 교신저자 (Corresponding Author): E-mail: jmpark@cbu.ac.kr

1. 서론

목재의 섬유는 건조하면서 섬유의 구조가 변화하며 수축을 하게 된다. 건조된 섬유를 다시 물에 현탁시키면 원래 섬유가 가지고 있던 수분에 의한 팽윤성을 회복할 수 없다¹⁾. 이와 같은 섬유의 각질화 현상은 섬유의 hydration 또는 swelling에 큰 영향을 미치며 궁극적으로 종이의 물리적인 성질에도 영향을 끼치게 된다²⁾. 원래 각질화라는 용어는 Jayme³⁾에 의해 “Verhornung”로 불리면서 연구 되었으며, 그 후 “cornification”에서 “hornification”으로 바뀌었다¹⁾. Jayme은 섬유를 재사용 할수록 water retention value (WRV)가 감소함을 알아냈고, Bawden 등은 섬유를 재사용함에 따라 섬유의 폭은 변화하지 않지만 세포벽의 두께가 감소함을 현미경 분석을 통해 밝혀냈다⁴⁾. 또한 Stone 등은 섬유의 각질화 때문에 섬유의 공극이 감소함을 밝혀냈고⁵⁾, Klungness 등은 섬유의 비표면적이 감소함을 밝혀냈다⁶⁾.

상대습도와 온도의 변화에 따라 종이의 치수와 특성이 바뀌게 되고, 상대습도의 변화에 따라 종이의 물리적인 성질 또한 변하게 된다. 이는 종이의 원료인 섬유의 친수성과 섬유 네트워크를 구성해주는 수소 결합의 친수성 때문이다. 이런 종이의 변화는 대부분 대기 중의 습도변화에 의해 발생하나 오프셋 인쇄에서의 습수액의 공급과 복사기에서 가열 등에 의해서도 발생하게 된다. 습도 변화에 대한 우수한 치수 안정성은 모든 판지와 백상지에 요구되는 특성이기도 하다. 종이가 수분을 흡수하는 과정에서 치수가 변한다는 것은 잘 알려진 사실이며, 낮은 치수안정성은 최종 사용상에서 많은 문제를 야기하게 된다⁷⁾. 백상지 또는 고급용지의 제조에 사용되는 표백화펄프의 경우 재회수하여 사용하는 경우 버진펄프에 비하여 매우 열등한 제지적성을 지닌다. 즉, 섬유의 각질화 현상으로 말미암아 이로부터 제조된 종이의 강도적 성질 및 인쇄적성이 불량하며, 제지 적성을 개선하기 위하여 일반적으로 적용하고 있는 고해처리할 경우 미세분 발생 및 섬유 손상이 일어나는 문제점을 지니고 있다⁸⁾. 지금까지의 각질화에 관한 연구는 강도적 측면의 접근이고, 성상이 다른 펄프섬유의 재생에 따른 치수안정성 변화에 대한 평가는 아직 부족한 상태이다.

Stone 등⁹⁾, Lindström 등¹⁰⁾, Grignon 등¹¹⁾, Laine 등¹²⁾

은 종이 제조 시 섬유의 팽윤성이 치수변형에 미치는 영향을 전반적으로 연구하였는데, 치수의 변화는 각각의 섬유와 종이 전체의 섬유 네트워크의 영향을 받으며, 섬유가 물을 흡수하는 경우 섬유간의 수소결합이 해체되며, 그 결과 종이의 치수변화가 발생한다고 발표하였다. Nordman¹³⁾은 상대습도가 50-65%일 때 흡습팽윤이 상대습도 변화와 직선상의 관계가 있음을 발표하였고, Salmén 등¹⁴⁾은 미세분의 함량이 치수안정성에 영향을 끼친다는 것을 밝혀냈다. Uesaka 등¹⁵⁾은 일반적으로 자유건조가 된 종이 섬유간의 결합이 낮을수록 치수안정성이 높음을 밝혀냈다.

이처럼 종이의 치수 안정성은 종이의 수분 흡수에 따른 섬유간 결합 및 섬유 자체의 변화에 기인한 것으로, 본 연구는 펄프의 성상이 다른 Sw-BKP, Hw-BKP, BCTMP를 재생 반복 사용함으로써 나타나게 되는 수초지의 평형함수율과 치수안정성의 관계를 평가하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

Sw-BKP, Hw-BKP 그리고 BCTMP를 실험실용 Valley beater를 이용하여 각각 450, 400, 300 mL CSF.로 고해한 후, 각질화에 의한 장섬유 특성변화 효과를 분석하기 위하여 미세분은 200 mesh 간이분급기를 이용하여 제거하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 수초지 제작

지료를 물에 0.4%로 희석한 후 실험실용 원형수초지를 이용하여 평량 80 g/m²으로 수초하였다.

2.2.2 섬유의 각질화

섬유의 각질화는 본래의 습윤성을 상실하는 것으로 고해된 지료를 탈수한 뒤, 섬유를 105℃ 건조기에서 24시간동안 건조하고 이를 물에 soaking 및 건조하는 방식을 이용하였다.

2.2.3 WRV 측정

섬유의 WRV(water retention value) 측정은 TAPPI

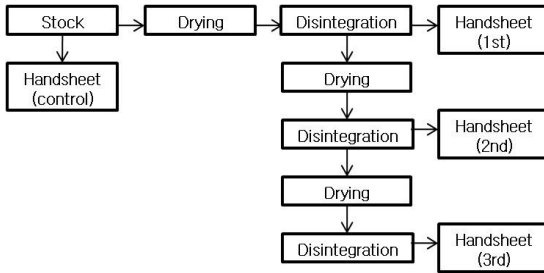


Fig. 1. Homification process.

Useful Method 256의 방식(900 g, 21±3℃, 30 min.)으로 측정하였으며, 계산식은 다음 식 (1)과 같다.

$$WRV = \frac{A - A'}{A'} \quad (1)$$

A = 원심분리 후 펄프의 무게(g)

A' = 원심분리 후 건조된 펄프의 무게(g)

2.2.4 평형함수율 측정

수초지를 항온항습기에 넣어 온도를 23℃로 고정하고, 습도는 33%, 50%, 66%로 변화를 주고, 변화하는 무게를 비교하여 평형함수율(equilibrium moisture contents, EMC)을 측정하였다.

2.2.5 치수안정성 측정

Fibro사의 DST 1250을 이용하여 수초지의 치수안정성을 평가하기 위하여 흡습팽윤성(Hygroexpansion)을 측정하였다. 시험조건은 SCAN-P 28:88의 RH 33-84% 조건을 선택하였으며, 보다 명확한 분석을 위해 RH 50%, 66%를 추가하여 33-50-66-84% 조건으로 실험하였다. 수초지를 먼저 RH 33% 이하의 조건 즉, RH 19%에서 24시간 이상 충분히 조습한 후 DST에서 33-50-66-84%의 각 단계별로 4시간동안 총 20시간을 거쳐서 조습에 따른 변화를 실험하였다.

2.2.6 침지신장성 측정

국내 S제지사의 침지신장시험기(Fenchel expansion tester)를 이용하여 수초지의 침지신장성(dip elongation)을 측정하였다. 침지신장시험법은 ISO 5635(Measurement of dimensional change after immersion in water)를 참고하였으며, 본 실험에서는 5g의 추를 이용하여 종이 시편에 하중을 주었으며, 20℃의 물에 완전히 침지시

킨 후 5, 10, 15, 30, 45초의 간격으로 변형된 길이를 측정하였다.

2.2.7 상대결합면적

상대결합면적(relative bond area, RBA)은 결합강도에 대한 광산란계수를 외삽한 뒤, 계산된 회귀식에 결합강도가 제로일 때의 광산란계수 S₀값을 구한 후 다음 식 (2)에 의하여 산출하였다.

$$RBA = 1 - \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (2)$$

RBA : 상대결합면적

S : 광산란계수 (m²/kg)

S₀ : 섬유간 결합이 zero일 때의 광산란계수 (m²/kg)

2.2.8 수초지 강도 측정

제조한 수초지를 TAPPI standard T402 om-83에 따라 온도 23±1℃, 상대습도 50±2%로 24시간 조습처리한 후 SCAN-P67/P77에 의거하여 L&W사의 tensile tester with fracture toughness를 이용하여, 수초지의 인장강도(T)를 측정하였다.

수초지의 결합강도(B)의 경우 zero-span tensile tester를 이용하여 섬유 자체강도(F)를 측정한 후 간단한 Page equation인 식 (3)을 이용하여 수초지의 결합강도(B)를 계산하였다.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{F} + \frac{1}{B} \quad (3)$$

T : Tensile strength (km)

F : Fiber strength (km)

B : Bonding strength (km)

3. 결과 및 고찰

3.1 WRV 변화

섬유가 한 번이라도 건조가 되면, 버진펄프보다 약화된 물리적 성질을 갖게 되는데, 이러한 물리적 성질의 저하는 셀룰로오스 섬유의 각질화 때문에 발생된다고 잘 알려져 있다. 각질화의 정도를 평가하기 위해 WRV를 측정하였고 그 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 버진 펄프의 경우 Sw-BKP의 WRV값이 가장 높았지만 한 번 건조된 이후로 가장 낮은 값을 유지하였다. 세 가지

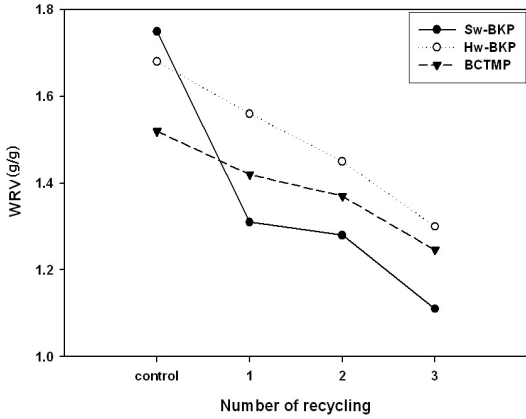


Fig. 2. WRV of recycled pulps.

의 펄프의 각질화가 진행됨에 따라 WRV가 감소하는 것은 섬유가 다시 팽윤되는 능력이 감소하는 것 즉, 피브릴화된 세포벽 표면이나 층간 분리되었던 세포벽의 결합수의 양이 감소하는 것으로 판단되며 이는 팽윤성을 상실하는 것을 의미한다. 재생에 따른 Sw-BKP의 WRV 감소율이 크다는 것은 재생 이전에 섬유 세포벽의 피브릴화가 많이 되어 있었다는 것을 의미한다.

3.2 평형함수율의 변화

Sw-BKP, Hw-BKP, BCTMP 수초지의 평형함수율을 각각 Figs. 3-5에 나타냈다. Sw-BKP와 Hw-BKP의 경우 각질화가 진행됨에 따라 평형함수율이 감소되는 현상을 보이나, 표백화하크라프트 펄프와는 달리 BCTMP는 각질화가 진행됨에 따라 일정한 경향을 보

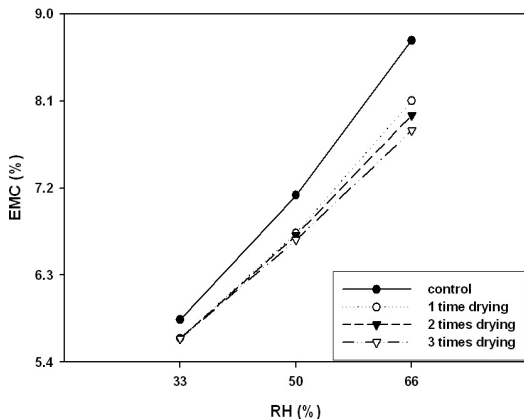


Fig. 3. EMC of recycled Sw-BKP.

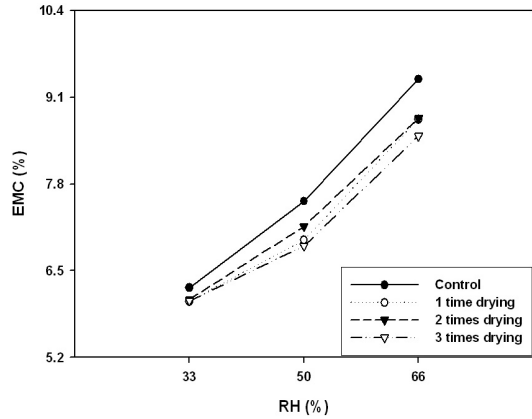


Fig. 4. EMC of recycled Hw-BKP.

이지 않았다. Fig. 2의 WRV 그래프에서 보는 바와 같이 각질화가 진행됨에 따라 섬유의 친수성과 re-swelling 능력이 감소되므로 Sw-BKP와 Hw-BKP의 평형함수율이 감소하는 것으로 판단된다. 그러나 Sw-BKP와 Hw-BKP와는 달리 BCTMP의 경우 재생횟수에 따라 평형함수율 변화추세가 뚜렷하지 않은데, 이는 상대적으로 섬유에 잔류하는 리그닌 성분이 높은 BCTMP의 섬유를 재생반복 사용함으로써 발생하는 섬유의 특성 변화와 수초지의 구조적인 특성 변화에 따른 영향이 큰 것으로 판단된다. BCTMP의 경우 펄프 섬유가 가지는 잔류 리그닌에 의해 고해에 의한 섬유의 내부 및 외부 피브릴화의 발생이 표백 크라프트 펄프에 비해 상대적으로 적고 섬유 자체가 강직한 특성을 유지하며, 강직한 섬유 특성에 따라 고해 시 섬유의 미세분 발생이 많

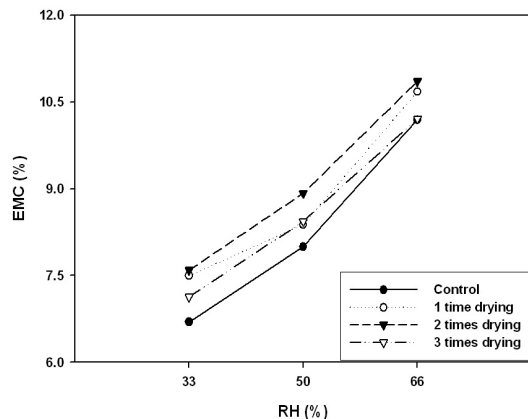


Fig. 5. EMC of recycled BCTMP.

은 특성을 가지게 된다. 수초지의 습도 변화에 따른 수분의 흡수는 섬유 및 섬유 네트워크 공극내의 흡수로 나타나게 되는데, 강제된 섬유로 이루어진 BCTMP의 경우 섬유 자체의 흡수보다는 섬유 네트워크내 공극의 흡수가 큰 영향을 끼칠 것으로 판단되며, 강제된 펄프 섬유의 특성에 의해 bulky한 특성을 나타내는 수초지의 특성에 따라 각질화에 따른 수분 흡착거동이 뚜렷한 변화를 나타내지 못한 것으로 판단된다.

3.3 치수안정성

DST를 이용하여 수초지의 습도 변화에 따른 치수 변화 결과를 Figs. 6-8에 나타냈다. Sw-BKP와 Hw-BKP의 치수 변화는 크게 나타났지만, 이에 반해 BCTMP의 경우는 상대적으로 낮게 나타났으며, 이는 각질화에 의해 Sw-BKP와 Hw-BKP는 치수 안정성이 개선되었으나, BCTMP는 각질화에 의한 치수 안정성의 변화가 크지 않았다고 말할 수 있다.

이는 섬유의 피브릴화에 기인한 것으로 고해에 의해 내부 및 외부 피브릴화가 비교적 잘 발생하는 표백 크라프트 펄프는 재생에 의해서 섬유의 각질화가 진행되는 반면, BCTMP의 경우는 고해에 의해서 내부 및 외부 피브릴화보다는 미세분의 발생이 많으며, 이로 인해 재생 시 각질화의 영향이 적게 되는 것으로 판단된다. 수분 흡수에 의해서 변화하는 종이의 치수 변화는 종이를 구성하고 있는 섬유 및 섬유간 공극으로의 흡수와 이에 따른 섬유간 결합 계면의 해체에 의해서 나타나게 되는 것으로, 각질화에 따른 섬유의 흡수성 저하

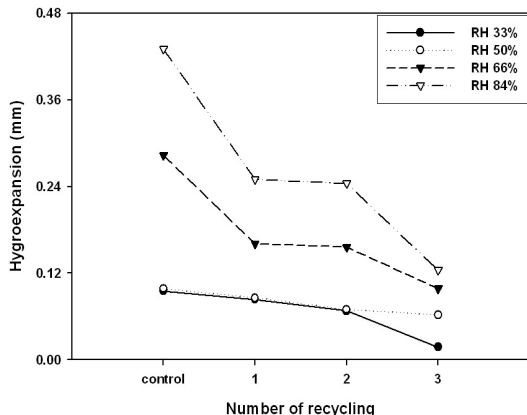


Fig. 6. The hygroexpansion of recycled Sw-BKP.

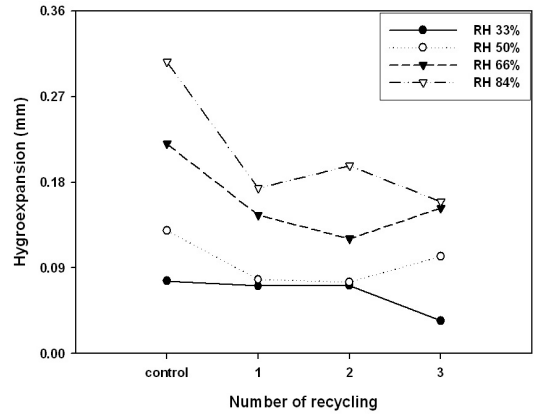


Fig. 7. The hygroexpansion of recycled Hw-BKP.

및 섬유간 결합 계면의 저하에 따라 수분 흡수에 따른 치수 변형은 적어지게 되며, 각질화에 의해 형성되는 porous한 공극 구조에 의해 공극으로 흡수되는 수분량의 변화도 치수안정성에 큰 영향을 끼치게 된다. 그에 따라 Sw-BKP와 Hw-BKP의 경우 BCTMP보다 섬유의 결합이 우수하지만 수분에 의해 쉽게 팽윤되어 치수 변형이 크게 일어났다. BCTMP의 경우 각질화 전후로 매우 높은 bulk를 나타내는 것으로 보아 공극이 표백 펄프에 비해 매우 클 것으로 예상되며, 이에 따라 고해를 진행하였지만, 강제된 섬유의 특성에 따라 섬유의 각질화 영향보다는 bulky한 구조의 영향을 더욱 많이 받은 것으로 판단된다.

섬유의 방향성이 없는 수초지에 대해 측정하였기 때문에 약간의 오차가 있는 실험값이 존재하나 전체적으

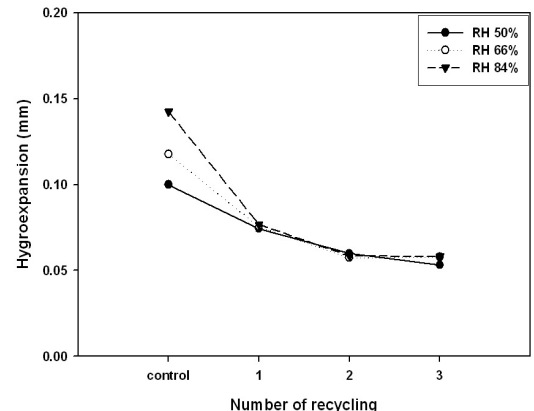


Fig. 8. The hygroexpansion of recycled BCTMP.

로 각질화가 진행됨에 따라 크라프트 펄프의 경우 치수 안정성이 증가한다는 것은 분명히 볼 수 있었다.

3.4 평형함수율과 치수안정성의 관계

일반적으로 펄프에서 헤미셀룰로오스는 수분의 흡착량을 증가시키며 리그닌은 수분 흡착량을 감소시킨다. 또한 수산기와 수분과의 결합 정도는 수분흡착에 영향을 끼치게 되며, 비결정성의 헤미셀룰로오스는 상호결합이 약하고 그 수산기는 수분에 대해 즉시 결합할 수 있지만 반대로 결정성의 셀룰로오스는 결합력이 강하며, 그리고 그 수산기와 수분과의 결합성은 헤미셀룰로오스보다 낮다. Fig. 9는 Sw-BKP와 Hw-BKP의 함수율과 습윤 팽창성의 연관성을 나타낸 것으로 함수

율 증가에 따라 치수변화가 증가하는 선형적 관계를 나타내었다.

Sw-BKP와 Hw-BKP 모두 함수율이 증가함에 따라 흡습팽윤성이 증가함을 보이고 있으며, 또한 Hw-BKP 보다는 Sw-BKP가 동일한 함수율에서 더 큰 치수변형을 가져옴을 알 수 있었다. 실험이 진행된 모든 습도 범위에서 Sw-BKP보다 Hw-BKP의 평형함수율이 더 높은 결과를 보였지만 흡습팽윤성은 반대로 Sw-BKP가 더 높은 흡습팽윤성을 나타내었다. 이는 Sw-BKP가 Hw-BKP보다 결합력이 강하기 때문에 수분에 의한 치수변형이 더 크게 나타나는 것으로 판단된다.

3.5 섬유간 결합력과 치수안정성의 관계

표백화학크라프트 펄프로 제조된 수초지의 결합강도와 흡습팽윤성의 관계를 Fig.11에 나타냈다. 먼저 Fig. 10을 보면 표백화학크라프트 펄프의 섬유는 각질화가 발생될수록 섬유간 결합강도가 낮아지지만 BCTMP의 경우 각질화에 따라 섬유간의 결합강도가 크게 변화하지 않았다. 섬유의 각질화가 진행될수록 수초지의 결합강도가 작아지는 표백화학크라프트의 경우 섬유의 각질화 정도와 치수안정성은 선형적 비례 관계가 있다고 말할 수 있지만 재생에 따라 결합강도의 변화가 작은 BCTMP의 경우, 섬유의 각질화가 섬유간 결합에 큰 영향을 끼치지 않기 때문에 BCTMP는 결합강도와 치수안정성과의 관계가 크게 없는 것으로 판단된다.

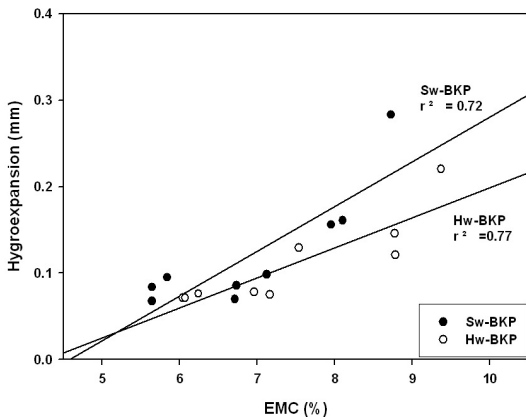


Fig. 9. Relationship between EMC and hydro-expansion of kraft pulps.

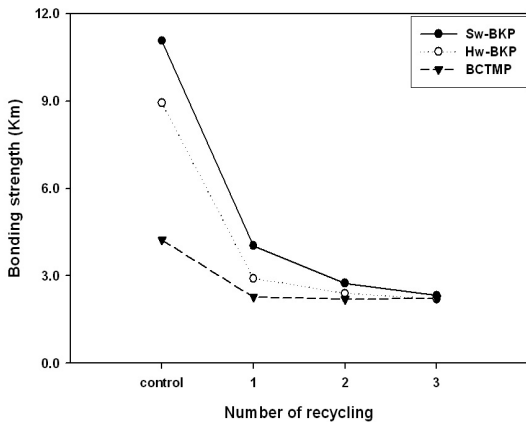


Fig. 10. Bonding strength of handsheets depending on recycling.

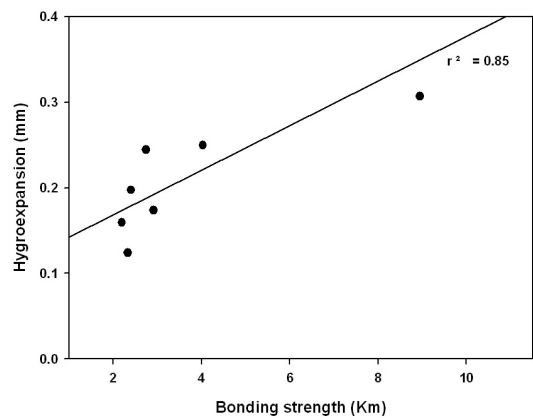


Fig. 11. Relationship between bonding strength and hydroexpansion.

3.6 상대결합면적과 흡습팽윤성의 관계

각질화가 진행된 각 펄프의 상대결합면적을 Fig. 12에 나타냈고, 흡습팽윤성과 상대결합면적의 관계를 Fig. 13에 나타냈다. 상대결합면적의 경우 각질화가 진행될수록 표백화학크라프트 펄프는 급격히 감소하는 반면 BCTMP의 경우 다소 완만하였다. 또한 Fig. 13을 보면 상대결합면적이 증가할수록 흡습팽윤성도 증가하는 경향을 보였다.

3.7 침지신장성 (dip elongation)

Hygro-expansion은 외기 조건변화에 따른 종이의 흡습팽윤성을 평가하는 것이고, 침지신장성은 종이 가 물에 완전히 적셔진 후 외부하중을 주어 변화하는 길이를 측정하는 것이다. 다시 말해 흡습팽윤성은 수분 흡

작에 따른 치수변형량과 관계가 있으며, 섬유간 결합이 강할수록 치수변형이 크고, 각질화 될수록 치수변형이 작지만, 그와 반대로 침지신장성은 물에 완전히 침지한 후의 외부 하중에 따른 신장량을 나타낸 것으로, 섬유간 결합이 강하면 외부 당김에 의해 더 저항할 수 있기 때문에 신장량이 적고, 결합이 적으면 신장량이 커질 수 있다. 외부 당김으로 종이를 파괴시키는 방법이 아니라 작은 하중으로 물에 침지한 종이를 당기는 것이기 때문에 외부 하중에 견딜만한 섬유간 결합이 발생된 상태 조건하에서 결합이 약할수록 신장량이 증가하게 된다. 그 결과 섬유의 각질화가 진행될수록 침지신장률이 커지는 것이다. 백상지나 아트지의 경우 인쇄시 잉크에 포함되어있는 습수액이 종이를 적시고 동시에 열을 받음으로써 종이의 변형을 일으키고, 간혹 기계적인 오류를 가져오게 된다. 이러한 수분에 의한 영향이 섬유의 각질화 정도에 따라 어떠한 변화를 보이는지를 알아보기 위해 침지신장률을 측정하였다.

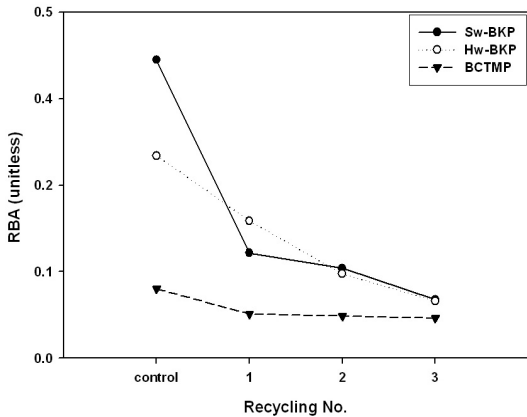


Fig. 12. RBA depending on hornification.

Figs. 14-16에 Sw-BKP, Hw-BKP, BCTMP의 침지신장성을 각각 나타냈다. Sw-BKP와 Hw-BKP는 섬유의 각질화가 진행될수록 침지신장성이 증가함을 볼 수 있다. 이는 섬유가 각질화가 진행될수록 섬유간의 결합력이 감소하며 그에 따라 물에 완전히 적셔졌을 때 외부 응력에 저항하는 섬유 네트워크의 견디는 힘이 감소하여 점차 신장률이 증가하는 것이다. BCTMP의 경우 각질화가 진행되어도 침지신장성의 큰 변화는 볼 수 없었고, 평균섬유장이 짧고 리그닌함량이 높기 때문에 섬유간 결합력이 약하여 Sw-BKP와 Hw-BKP보다 상

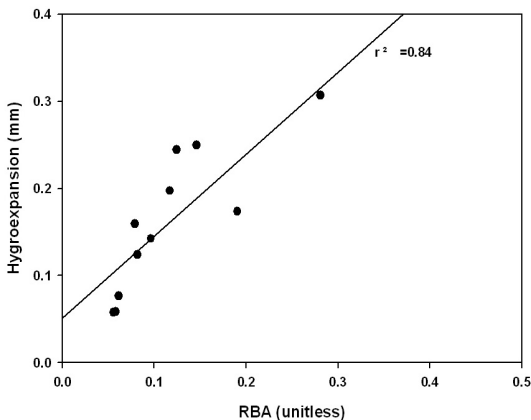


Fig. 13. Relationship between RBA and hydro-expansion.

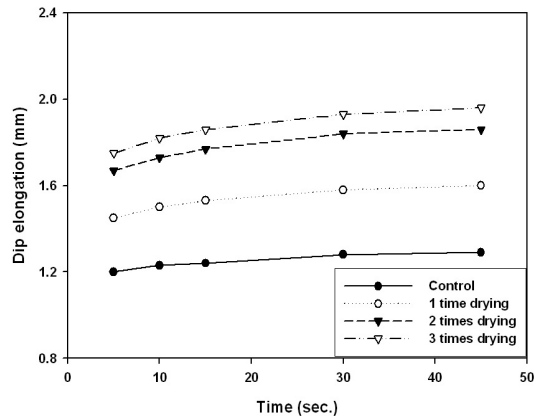


Fig. 14. The dip elongation of recycled Hw-BKP.

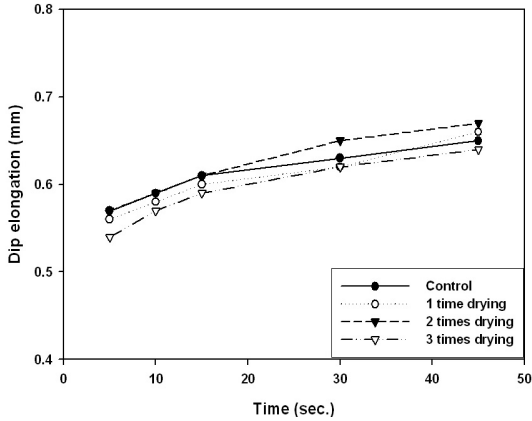


Fig. 15. The dip elongation of recycled BCTMP.

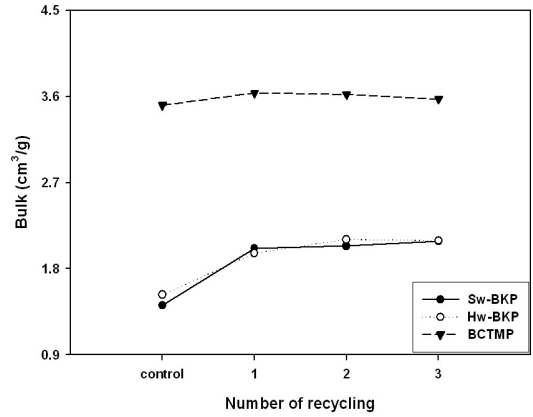


Fig. 17. Bulk of handsheets depending on recycling.

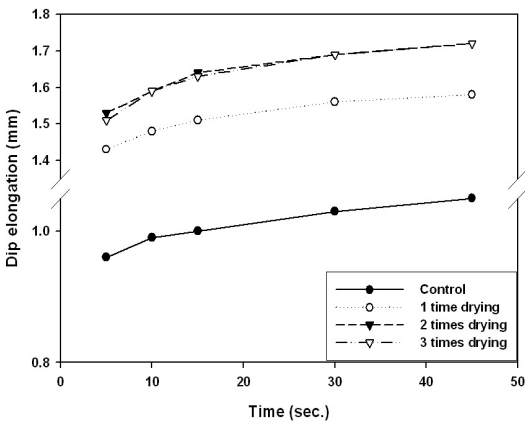


Fig. 16. The dip elongation of recycled Sw-BKP.

당히 낮은 침지신장성을 보였다.

3.8 수초지의 물리적 성질

Figs. 17-19에 각각 수초지의 벌크, 열단장, 결합강도, 광산란계수를 나타냈다. 각질화가 진행됨에 따라 벌크는 증가하였고, 열단장과 결합강도는 감소하였다. Bulk의 경우 BCTMP를 제외하고 섬유 재생 횟수가 증가함에 따라 수초지의 bulk가 증가하는 경향을 나타냈다. 종이의 bulk를 섬유의 측면에서 보았을 때 초지 과정에서 압착 탈수에 의한 섬유 자체의 찌그러짐 및 건조 수축에 의한 섬유층간의 공극감소에 의해 종이의 bulk가 결정되어 진다고 할 수 있다. 재생에 따라 중

이의 bulk가 증가하는 것은 재생에 따른 각질화로 섬유 강직성이 증가함에 따라 압착 탈수에 저항하는 섬유 자체의 강직성 증가와 건조 시 발생하는 섬유층간 건조 수축력이 세포벽의 각질화에 의해 저해되기 때문으로 판단된다. BCTMP의 경우 재생에 따른 bulk의 변화가 작게 나타나는 원인으로 고해시 섬유의 피브릴화가 진행되어 있지 않기 때문으로 판단된다. 종이의 물리적인 성질은 섬유가 network를 형성해가는 과정에서 섬유간 결합에 의해 발생하는 것으로 섬유의 강직성이 커질수록 섬유간 결합면적이 감소됨에 따라 물리적 성질이 저하된다. 물리적 성질에서도 재생에 따른 bulk의 변화가 나타나는 Sw-BKP, Hw-BKP의 경우 물성 저하가 뚜렷이 나타나지만, 재생에 따른 bulk 변화가 나타

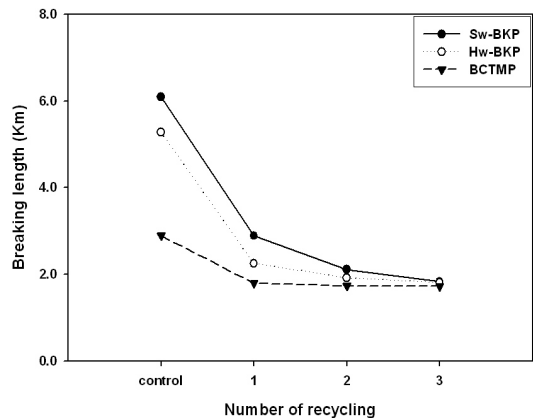


Fig. 18. Breaking length of handsheets depending on recycling.

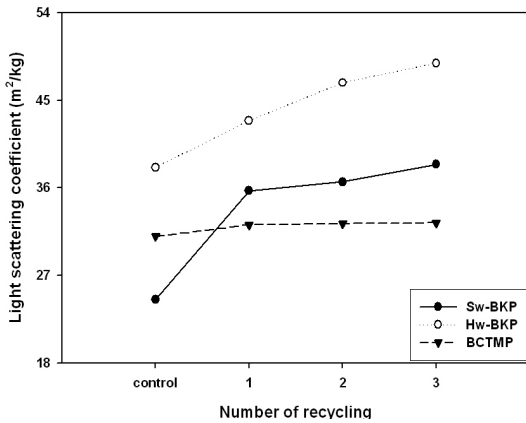


Fig. 19. Light scattering coefficient of handsheets depending on recycling.

나지 않는 BCTMP의 경우 물성 저하가 뚜렷이 나타나지 않았다.

4. 결론

외기조건 중 습도변화에 따른 종이의 치수안정성은 섬유의 형태와 섬유와 섬유의 결합의 정도에 따라 달라지는 것으로, 치수안정성 평가결과 섬유의 각질화가 발생할수록 섬유간의 결합이 감소하여 치수안정성이 증가하는 것으로 판단된다. 그리고 상대적으로 섬유간 결합력이 높은 Sw-BKP의 경우가 가장 낮은 치수안정성을 보였으며, 섬유간 결합력이 약한 BCTMP가 가장 높은 치수안정성을 나타냈다. 또한 Sw-BKP와 Hw-BKP의 경우 각질화가 진행될수록 평형함수율은 감소하는데, 이는 각질화에 따라 섬유내 수소결합할 수 있는 부분의 감소로 인한 수분의 흡착량 감소 때문이다. 다시 말하면 종이의 평형함수율이 낮다는 것은 외기의 수분과 결합할 수 있는 양이 적다는 것을 의미하며, 이것은 치수안정성의 향상을 가져온다고 말할 수 있다. 그리고 상대적으로 섬유간 결합력이 강한 Sw-BKP의 침지신장률이 크며, 단섬유와 리그닌을 함유하고 있어 섬유간 결합력이 약한 BCTMP는 상당히 낮은 침지신장률을 보였다. 결과적으로 섬유간 결합이 증가할 수 있는 섬유의 특성을 가질수록 종이의 평형함수율은 증가하며, 그에 따라 흡습팽윤성도 증가함을 본 연구에서 알 수 있었다. 또한 수초지의 흡습팽윤성

과 치수안정성은 수초지의 평형함수율, 섬유간 결합력, 상대결합면적과 매우 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있었다. 백상지에서는 물리적인 강도 보다는 외기조건 하에서 변화가 적은, 즉 치수안정성과 같은 구조적인 특성이 보다 중요한 인자로 요구되고 있으며, 구조적인 특성을 향상시키는 깊이 있는 연구가 필요하다고 판단되었다.

인용문헌

1. Minor, J. L., Hornification-its origin and meaning, Progr. Pap. Recycling 3:93-95 (1994).
2. Howard, R. C., The effect of recycling on paper quality, J. Pulp Pap. Sci. 16:J143-149 (1990).
3. Jayme, G., Mikro-Quellundsmessungen und Zellstoffen, Wochenbl Papierfabr 6:187-194 (1944).
4. Bawden, A.D. and Kibblewhite, R.P., Effects of multiple drying treatments on kraft fibre wall, Third research forum on recycling, CPPA, Vancouver, pp. 171-177 (1995).
5. Stone, J.E. and Scallan, A.M., Influence of drying on the pore structures of the cell wall: Bolam F.(ed), Consolidation of the paper web, BPBMA, London, pp. 145-174 (1966).
6. Klungness, J.H. and Caufield, D.F., Mechanisms affecting fiber bonding during drying and aging of pulps, Tappi J. 65:94-97 (1982).
7. 이진호, 민경은, 박종문, ESP(Electron Speckle Photography) system을 이용한 종이의 치수 안정성 평가, 한국펄프·종이공학회 2006년 추계학술논문 발표집 pp. 273-282 (2006).
8. 원종명, 내부소섬유화가 종이물성에 미치는 영향, Journal of Korea TAPPI 35(1):1-6 (2003).
9. Stone, J.E. and Scallan, A.M., Effect of component removal upon the porous structure of the cell walls of wood II, Swelling in water and the fiber saturation point, Tappi J. 50(10):496-501 (1967).
10. Lindström, T., and Carlsson G., The effect of chemical environment on fiber swelling, In: Pap.-Eucepta symp., pp 32-52 (1978).
11. Grignon, J. and Scallan A.M., Effect of pH and neutral salts upon the swelling of cellulose gels, J. Appl.

- Polym. Sci. 25:2829-2843 (1980).
12. Laine, J., Lindström, T., Bremberg, C. and Glad-Nordmark, G., Studies on topochemical modification of cellulosic fibers, part 5, Comparison of the effects of surface and bulk chemical modification and beating of pulp on paper properties, *Nordic Pulp Paper Res. J.* 18:325-332 (2003).
 13. Nordman, L., Laboratory investigations into the dimensional stability of paper, *Tappi J.* (41):23-30 (1958).
 14. Salmén, L. and Boman R., Fellers C., Htun, M., The implications of fiber and sheet structure for the hygroexpansivity of paper, *Nordic Pulp Paper Res. J.* 2:127-131 (1987).
 15. Uesaka, T. and Qi, D., Hygroexpansivity of paper-effects of fiber-to-fiber bonding, *J. Pulp Paper Sci.* 20:175-179 (1994).