

고해, 니딩, 습부압착에 의한 HwBKP, SwBKP, OCC 수초지의 건조 거동 및 물성 변화

이진호¹ · 박종문^{2†}

(2011년 11월 28일 접수, 2011년 12월 22일 채택)

Changes of HwBKP, SwBKP, OCC Handsheets' Drying Behavior and Physical Properties by Refining, Kneading and Wet Pressing

Jin-Ho Lee¹ and Jong-Moon Park^{2†}

(Received November 28, 2011; Accepted December 22, 2011)

ABSTRACT

Drying behavior and physical properties of HwBKP, SwBKP, and OCC handsheets depending on kneading, refining and wet pressing were analyzed. The maximum drying shrinkage velocity was newly adopted to verify the effect of mechanical treatment of pulps by evaluating drying behavior according to varying the kneading, refining and wet pressing treatments. Those various treatments were changed to evaluate the relationship between the maximum drying shrinkage velocity and handsheets properties. When the drying shrinkage and the maximum drying velocity increased by refining and wet-pressing, handsheets strength was increased. The maximum drying shrinkage velocity showed higher correlation with physical properties of paper than WRV at different refining loads at SwBKP and mixed pulp. At high wet-web dryness, drying shrinkage, the maximum drying shrinkage velocity and strength properties of handsheet were increased. It meant that drying shrinkage behavior was highly affected by not only fibers' shrinkage but also fiber bonding. Kneading pre-treatment for KOCC and SwBKP effectively modified fiber properties and increasing paper strength and drying shrinkage. The effect of kneading pre-treatment was also confirmed by the maximum drying shrinkage velocity. Strength properties of mixed pulp handsheets were not increased by the kneading pre-treatment, although the maximum drying shrinkage velocity and WRV was increased. It meant that fibers network bonding of HwBKP was limited because of ves-

1. 한국화학연구원 산업바이오화학연구센터(Korea Research Institute of Chemical Technology, Chemical Biotechnology Research Center, 141 Gaejeongro, Yuseong, Daejeon, 305-600, South Korea)

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

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

sels and ray cells' interference for bonding. Therefore in order to improve paper strengths containing HwBKP by mechanical treatments, interference of vessels and ray cells for fiber bondings should be carefully controlled.

Keywords: strength, drying, shrinkage, WRV, refining, kneading, wet pressing, HwBKP, SwBKP, OCC

1. 서론

종이를 구성하는 섬유는 고해 처리에 의해 물리적으로 개질되어 유연성 및 섬유간 결합력이 증가하며, 고해 정도에 따라 종이의 물성이 변화하게 된다.¹⁻³⁾ 고해에 대한 연구의 중점은 고해에 의해 섬유가 어떠한 형태로 개질되는가에 대한 것과 섬유의 개질 형태에 따라 종이의 물성에 어떻게 영향을 끼칠 것인가에 있다. 외부 피브릴화는 강한 고해 작용에 따른 splitting 효과에 의해 섬유의 비표면적 상승, 단섬유화 및 미세분이 발생되어 이에 따른 섬유간 결합력 증가가 주요 작용이라고 할 수 있다. 이에 반해, 내부 피브릴화(delamination)는 약한 고해작용에 따른 bruising 효과에 의해 섬유 세포벽의 층간 분리가 발생하며, 섬유의 유연성 향상에 따른 섬유간 결합력 증가가 주요 목적이라고 할 수 있다.⁴⁻⁶⁾ 이와 같이, 고해에 따른 섬유 세포벽의 구조 변화 및 섬유특성의 변화는 섬유의 습윤 팽윤성, 건조 수축성 및 종이 물성에 영향을 끼치게 된다. 고해 이외에 섬유의 유연성을 향상시키는 물리적 방법으로 니딩과 같은 처리 방법이 재생 펄프에 사용되는데, 니딩은 고농도의 지료를 니더의 스크류에 통과시켜 스크류의 전단력에 의해 점착성 물질을 미세 입자화시키는 역할⁷⁻⁹⁾도 하지만 니더의 전단력에 의해 발생하는 내부 피브릴화에 의해 섬유의 유연성을 증가시켜 종이의 강도적 특성을 향상¹⁰⁾시킬 수 있다.

종이의 제조는 저농도의 지료 상태에서 지층 형성을 위해 과량의 물을 제거하는 공정으로 지층형성 구간, 진공탈수 구간, 습부압착 구간 및 건조부의 건조 구간으로 나뉘며,¹¹⁾ 지층 내 수분의 제거는 섬유의 종류, 고해 정도, 미세분의 함량, 지합 및 첨가 약품의 종류 및 보류제의 응집 형태에 의해 영향을 받게 된다.¹²⁻¹⁶⁾ 이중 습부 압착은 건조부 이전에 지필내 수분을 물리적인 힘에 의해 제거하는 공정으로 탈수 이외에 물리적인 압착

에 의해 섬유를 압착하여 세포 내강과 팽윤된 세포벽을 찌그러뜨려 소성 변형 및 팽윤성의 영구적 손실을 가져 오게 된다. 습부 압착에 의한 섬유간 수분 제거는 섬유간 표면 장력을 발생시켜 건조 공정에서의 섬유간 결합이 유도될 수 있는 거리까지 섬유를 당기는 역할 (Campbell effect)을 하게 되어 습지의 강도 부여 및 이후 건조과정에서 섬유간 수소 결합을 증대시켜 건조 지필의 강도를 증가시키게 된다.¹⁷⁾ 습부 압착에 의한 섬유의 찌그러짐과 같은 섬유의 물리적 변화와 표면 장력에 의한 섬유간 인접은 압착에 의한 지필의 압밀화와 강도 증가의 주요 원인이 된다.¹⁸⁻²⁰⁾

건조에 의한 지층의 형성 및 네트워크의 물리적 특성 변화는 섬유의 변화에 의해서 영향을 받게 되며, Page와 Tydeman²¹⁾은 건조 및 섬유간 결합에 의한 섬유의 기계적 특성 변화를 설명하였는데, 종이 건조 시 섬유의 길이 방향 및 횡 방향간의 수축 이방성 차이에 의한 섬유간 결합 부분의 전단 응력이 micro-compression을 발생시키며, 이와 같은 micro-compression에 의해 건조 시 종이를 구성하는 섬유의 기계적 특성과 수축성은 섬유간 결합에 영향을 끼치게 되며 최종적인 종이의 물리적 특성에 영향한다고 하였다. Jentzen²²⁾은 제한 건조된 섬유의 경우 섬유의 길이 방향 신장에 의해 섬유내 비결정성 영역의 당김 효과와 피브릴 배향각 감소에 의해 섬유의 강도가 증가한다고 하였다. 이와 같이 건조 시 섬유의 변화는 섬유의 결점을 감소시키고, 응력 전달력을 향상시켜 섬유를 탄성화시키게 된다. 건조에 의한 섬유간 결합은 결합 구간에서 섬유의 종/횡 방향의 수축력 차이에 의한 섬유 세포벽의 구조 변화와 비결합 섬유 구간의 Jentzen effect에 의한 섬유의 구조적 변화를 발생시킬 수 있다. 따라서 건조에 의한 섬유의 수축 및 섬유간 결합에 의한 섬유 성분의 물리적 특성 변화는 건조된 종이의 구조적, 물리적 특성에 영향을 끼치게 된다.

일부 지중을 제외하고 국내 백상지의 대부분은 HwBKP를 주요 원료로 사용하고 있으며, HwBKP는 SwBKP와 달리 도관과 유세포의 함량이 높아 펄프 섬유 고해 기작 및 고해에 따른 강도 발현 기작이 SwBKP와는 다르게 나타날 것으로 예상된다. 이 경우 HwBKP의 펄프 특성에 따라 고해에 의한 강도 개선 효과를 효과적으로 발현할 수 있는 적절한 고해 방식이 요구된다. 이에 본 실험에서는 고해, 니딩과 습부압착이 건조에 의한 영향을 평가하기 위해 건조수축에 기초한 새로운 건조 영향 평가 기법인 최대 건조수축 속도²³⁾를 적용하여 그들의 건조에 미치는 영향을 평가하고, 이에 따라 HwBKP의 강도 발현에 있어서 중요한 인자를 도출하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

공시 펄프는 국내 S사에서 사용하고 있는 SwBKP, HwBKP 및 D사의 골심지용 라이너지를 분양받아 실험에 사용하였다.

2.2 고해

SwBKP 단독 및 HwBKP를 3:7로 혼합한 펄프를 실험실용 표준 해리기를 이용하여 해리한 후 실험실용 Valley beater를 이용하여 1.2% 농도로, 하중 5.6 kgf 및 2.8 kgf로 각각 고해하여 피브릴화의 차이를 유도하였다. SwBKP의 경우 여수도 650-380 ml CSF까지 고해하였고, 혼합 펄프의 경우 650-310 ml CSF까지 고해하였다.

2.3 습부 압착

SwBKP와 HwBKP를 3:7로 혼합하여 실험실용 표준 해리기를 이용하여 해리한 후 실험실용 Valley beater를 이용하여 400 ml CSF로 고해하여 실험에 사용하였다. 실험실용 롤 프레스를 이용하여 압착 횟수를 2-5회로 증가시켜 압착부 건조도를 39-46%로 조절하였다.

2.4 니딩과 고해

2.4.1 KOCC의 니딩과 고해

폐지에 대한 니딩 처리 효과를 비교하기 위해 골심지용 라이너지를 24시간 침지한 후 실험실용 해리기로 해리하여 지료로 사용하였다. 니딩 전처리의 경우 해리한 펄프를 20%로 농축한 후 실험실용 Hobart mixer를 이용하여 400 및 350 ml CSF까지 니딩 처리하였다. 고해의 경우 실험실용 Valley beater를 이용하여 400 및 350 ml CSF까지 고해하였다. 니딩과 고해를 혼합한 경우는 1차로 니더를 이용하여 400 ml CSF까지 니딩 처리한 후, Valley beater를 이용하여 350 ml CSF까지 고해하였다.

2.4.2 SwBKP의 니딩과 고해

펄프에 대한 니딩 처리의 효과를 비교하기 위해 고해의 경우 SwBKP를 실험실용 해리기를 이용하여 해리한 후 Valley beater로 400 ml CSF로 고해하였고, 니딩 전처리의 경우 해리 후 20%로 농축하여 실험실용 Hobart mixer로 30분간 니딩 처리한 후 재해리한 펄프를 Valley beater를 이용하여 5.6 kgf로 400 ml CSF로 고해하였다.

2.4.3 혼합 펄프의 고해

HwBKP의 강도 발현 인자 탐색을 위해 SwBKP와 HwBKP를 3:7로 혼합한 펄프를 실험실용 Valley beater를 이용하여 5.6 및 2.8 kgf로 400 ml CSF로 고해하였고, 펄프 섬유를 해리한 후 20%로 농축하여 Hobart mixer로 30분간 kneading 전처리한 후 실험실용 Valley beater로 5.6 및 2.8 kgf로 400 ml CSF로 고해하였다.

2.5 수초지 제작

조성된 지료를 200 mm × 200 mm의 실험실용 사각 수초지기를 이용하여 평량 100 g/m²으로 초지한 후 45 ± 0.25%로 압착 탈수하여 습지를 제조하였다. 압착 탈수한 수초지를 10장씩 제조하여 5장은 건조수축 평가에 사용하였고, 물성 평가용 수초지를 동일한 방식으로 5장 제조하여 실험실용 드럼 드라이기를 이용하여 110°C, 1분의 조건으로 건조 속도를 조절하여 수초지를 제조하였다.

2.6 WRV 및 섬유특성 분석

고해 방식을 달리한 각각의 펄프를 여수도별로

TAPPI standard UM 256에 의거하여 filtering crucible 을 이용하여 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 중력가속도 900 G로 30분간 원심 분리하여 탈수시킨 후 105°C 건조기에서 전건 시킨 후의 무게를 측정하여 WRV를 측정하였다. 펄프의 종류별 니딩 및 고해에 따른 섬유율의 변화를 평가하기 위해 한국화학연구원 의 섬유장 분석 장비(Morfi Labo, Techpap)를 이용하여 섬유장, 섬유폭, 쉘, 킹크, 미세분을 분석하였다.

2.7 건조 거동 평가

제조한 습지를 해부용 메스를 이용하여 60 mm × 200 mm로 재단한 후 사용하였다. 종이의 치수안정성을 측정하기 위해 개발된 장비로, 열에 의한 종이의 수축량을 측정하는 장비로 설계된 heat shrinkage analyzer (HSA, Emtec Electronic GmbH)²³⁾를 이용하였다. HSA는 종이를 클램프에 고정시킨 후 온도조절이 가능한 니켈과 테프론으로 코팅된 구리 열판에 접촉시켜 종이의 열건조에 따른 수축거리를 시간경과에 따라 측정하는 원리를 이용한 설비이다. HSA를 이용하여 110°C 에서 2분간의 건조수축을 측정하였으며, 건조 시 열판과 접촉한 습지 위에 열판 크기로 제작한 9 g의 16 메쉬의 스테인레스 와이어를 올려 습지의 cockling 현상을 최소화하였다. 습지의 건조에 따른 시간-건조수축 그래프의 최대 기울기를 직선의 회귀식을 통하여 최대 건조수축 속도 (maximum drying shrinkage velocity, MDSV)를 계산한 후 지료 조성 및 압착 조건에 의한 건조의 영향을 평가하였다.

$$MDSV = (d\epsilon/dt)_{max} \tag{1}$$

여기서,

$(d\epsilon/dt)_{max}$: Maximum slope of time-shrinkage graph

$d\epsilon$: Drying shrinkage of linear part in time-shrinkage graph

dt : Drying time of linear part in time-shrinkage graph

2.8 수초지의 물리적 특성 평가

수초지를 실험실용 인장 강도 시험기(Hounsfield test equipment)를 이용하여 열단장, 신장률, E-modulus를 측정하였고, tensile stiffness index(TSI)는 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$TSI (MN\ m/kg) = E/\rho \tag{2}$$

여기서,

E : Elastic modulus, MN/m^2 , (MN : mega Newton)

ρ : Apparent density of paper, kg/m^3

3. 결과 및 고찰

3.1 고해에 따른 건조 거동

고해 하중을 달리한 SwBKP와 혼합 펄프로 초지한 수초지의 최대 건조수축 속도 및 지료의 WRV와 수초지의 물성간의 상관관계를 Fig. 1에 나타내었다. 최대 건조수축 속도와 열단장과는 결정계수가 0.90, 벌크와

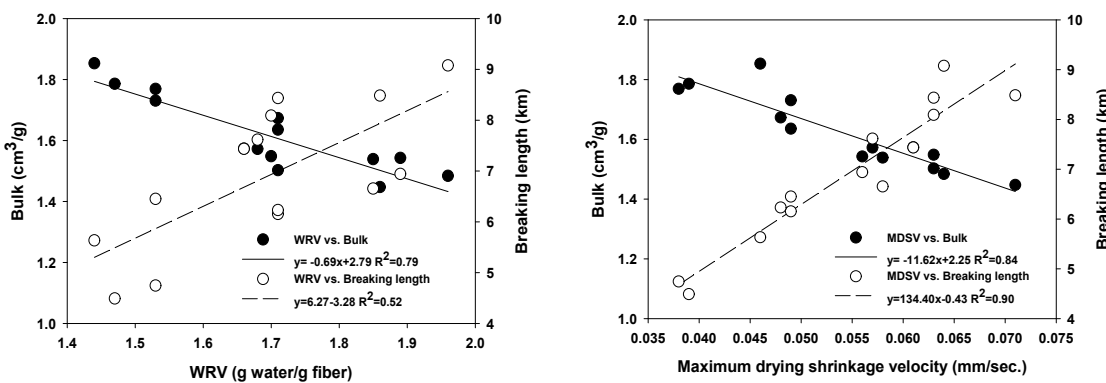


Fig. 1. Comparison of correlation coefficient between MDSV, WRV and physical properties of handsheets.

는 0.84로 높은 상관관계를 나타내었다. 이에 반해 펄프의 고해 효과에 대한 간접 지수인 WRV와 열단장은 0.52, 벌크와는 0.84로 수초지의 물성과 상대적으로 낮은 상관관계를 나타내었다. WRV는 펄프가 가지는 결합수의 양을 측정하는 방법으로 일반적으로 고해 증가에 따른 피브릴화 및 미세분의 증가에 따라 증가하여, 섬유질의 친수성 증가에 따라 종이 물성과의 연관성이 있지만, 서로 다른 펄프 종류 및 펄프 배합비가 다른 경우의 WRV와 종이 물성간의 연관성이 떨어지는 것으로 보아 종이 물성 발현에 대한 펄프 평가의 절대 지표로 사용하기에는 단점이 있는 것으로 판단되었다. 이에 반해 최대 건조수축 속도는 습지의 건조 수축성을 이용한 값으로 지필의 수축은 섬유의 수축과 섬유간 결합에 의한 네트워크의 수축으로 나눌 수 있다. 섬유의 수축이 증가하기 위해서는 습윤 상태에서의 팽윤성이 높아야 하고, 네트워크의 수축이 증가하기 위해서는 섬유간 결합이 많아야 한다. 이 두 가지 경우 모두 섬유간 결합이 증가되는 조건이기 때문에 최대 건조수축 속도의 증가는 종이의 물성과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났으며, 이를 이용한 수초지의 건조 거동 평가 및 치료의 개질 효과 평가가 가능할 것으로 판단되었다.

Fig. 2는 SwBKP의 고해 하중 및 여수도에 따른 건조수축 거동을 나타낸 것으로 고해가 진행함에 따라 5.6 및 2.8 kgf 고해 하중조건에서 모두 건조 수축량이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 고해가 진행함에 따른 섬유의 피브릴화에 의한 것으로 피브릴화에 따른 세포내벽의 층간분리 즉 내부 피브릴화, 외부 피브릴 및 미세분 발생 등이 일어났고, 이에 따라 섬유의 습윤 팽윤

성, 건조 수축성 및 섬유간 결합력 증가가 발생하여 건조 시 지필의 수축성이 증가한 것을 알 수 있었다. 고해 하중 변화 시 고해에 따른 건조수축의 경향 즉 시간경과에 따라 건조수축 길이가 서로 다르게 나타나는 것은 고해 하중에 따라 섬유에 발생하는 피브릴화의 형태가 다르게 나타나기 때문이며, 고해에 따른 섬유의 피브릴화 형태가 습지필의 건조수축의 거동에 영향을 끼침을 알 수 있었다.

SwBKP 및 혼합 펄프의 고해 하중 및 여수도에 따른 최대 건조수축 속도의 차이를 Fig. 3에 나타내었다. 고해 하중에 따른 SwBKP 및 혼합 펄프의 최대 건조수축 속도가 다른 경향을 나타내었다. 고해가 진행됨에 따라 최대 건조수축 속도가 증가하는 경향은 두 펄프 모두 같으나, SwBKP의 경우 고해 하중에 따라 최대 건조수축 속도 증가 경향에서 차이를 나타낸 반면 혼합 펄프의 경우 고해 하중에 따라 최대 건조수축 속도 증가 경향에서 차이를 나타내지 않았다. SwBKP의 경우 낮은 고해 하중으로 고해할 때, 고해 초기에 급격한 최대 건조수축 속도의 증가를 나타낸 이후 최대 건조수축 속도가 크게 증가하지 않는 반면, 높은 고해 하중으로 고해할 때, 점진적으로 최대 건조수축 속도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 SwBKP의 경우 고해 하중에 따른 펄프 섬유의 피브릴화 경향이 다르게 나타나기 때문으로, 낮은 고해 하중의 경우 초기 여수도 구간에서 섬유의 팽윤이 충분히 발생하기 때문에 이후 고해 구간에서의 최대 건조수축 속도의 증가가 크지 않은 것으로 판단된다. 이에 반해 HwBKP가 다량 포함된 혼합 펄프의 경우 고해 하중에 따른 최대 건조수축 속도 증가 경향에 차이가 나

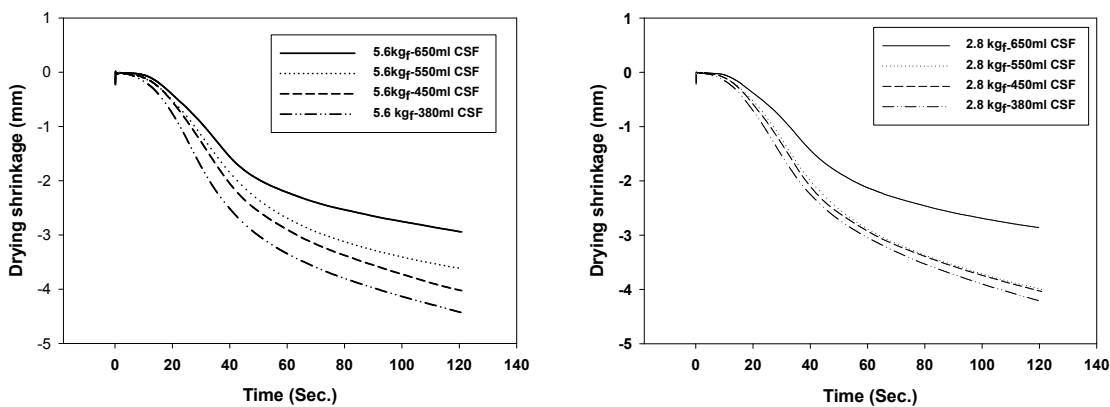


Fig. 2. Drying shrinkage behavior depending on refining load and freeness at SwBKP handsheets.

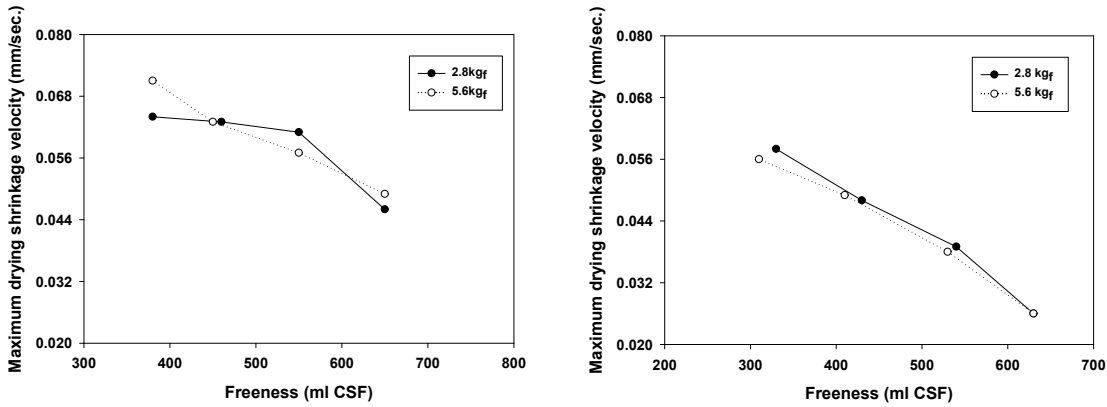


Fig. 3. Comparison of MDSV between SwBKP and mixed pulp depending on refining load and freeness (Left: SwBKP, Right: mixed pulp).

지 않는 것은, 혼합 펄프 중에 포함된 HwBKP의 고해 하중에 따른 섬유 피브릴화 기작이 SwBKP와 다르거나, HwBKP에 포함된 결합성이 낮은 도관이나 유세포에 의해 섬유간 결합이 제한을 받았기 때문으로 판단되었다. 지필의 건조 시 수축은 섬유 자체의 수축과 섬유간 결합에 의한 네트워크의 수축으로 나눌 수 있으며, 섬유간 결합이 도관이나 유세포와 같은 결합성이 낮은 펄프 성분에 의해 저해되는 경우 지필의 건조수축 또한 저해되어 건조수축이 적게 일어날 수 있을 것으로 판단되었다. 혼합 펄프의 고해 하중에 따른 최대 건조수축 속도에 차이가 나지 않음으로 보아, HwBKP가 다량으로 포함된 펄프의 경우 고해 하중 조절만으로는 효과적인 펄프 개질이 어려울 것으로 판단되었다.

3.2 습부 압착에 따른 건조 거동

Figs. 4와 5는 습부 압착에 따른 혼합 펄프의 건조 거동 및 수초지의 물성과의 관계를 나타낸 것으로 습부의 건조도가 증가함에 따라 습지의 건조 수축량이 증가하며, 이에 따라 최대 건조수축 속도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 습부 압착에 의해 습지의 건조도가 증가하게 되고, 이에 따라 섬유간 거리가 좁혀져서, 섬유간 표면 장력이 증가한다. 한편 지필의 건조 시 섬유의 수축에 의하여 섬유 세포벽의 찌그러짐이 증가하고 섬유간 결합이 증가함에 따라 지필의 수축이 유도되기 때문인 것으로 판단되었다.

또한 습부 건조도 증가에 따라 최대 건조수축 속도가 증가함으로 보아 습부 압착에 의해 건조 시 지필이 받는

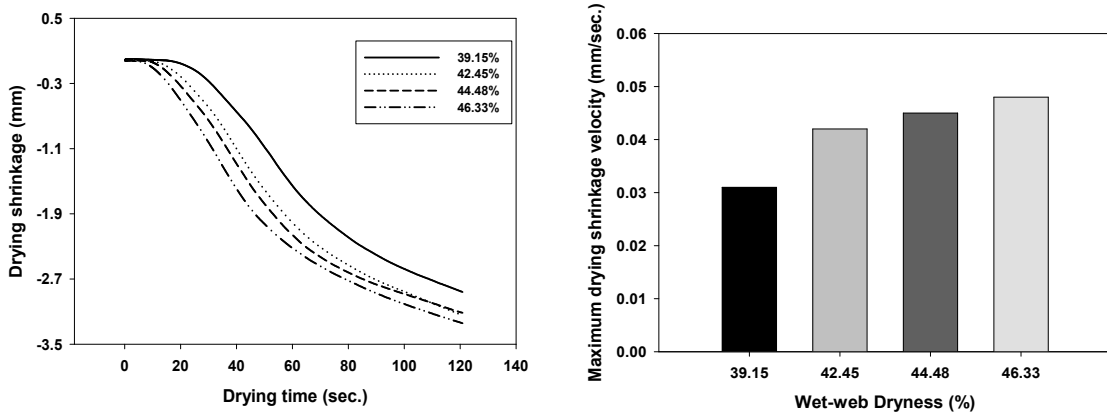


Fig. 4. Influence of wet-pressing on drying shrinkage and MDSV of handsheets.

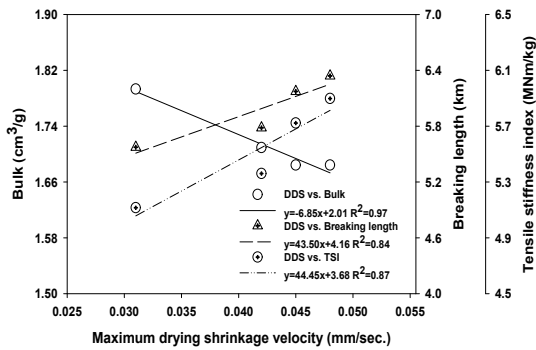


Fig. 5. Relationship between MDSV and physical properties of handsheets.

건조 영향이 커짐을 예상할 수 있다. 이는 표면 장력 효과에 의해 섬유간 인접성이 증가하여 건조 시 섬유간 결합이 증가한다는 Campbell effect에 따른 영향을 건조 수축성의 평가로 확인할 수 있음을 의미하며, 수초지의 물성과 최대 건조수축 속도와의 결정계수가 높게 나타남을 보아 건조 수축성은 섬유간 결합의 영향을 반영함

을 알 수 있었다.

3.3 HwBKP를 위한 고해 방식의 탐색

Table 1은 KOCC 펄프의 물리적 처리에 따른 섬유 분석 결과로 고해 처리에 비해 니딩 처리 시 섬유장의 손실은 적은 반면, curl과 kink와 같은 섬유의 휘어짐이나 비틀림이 증가한 것을 알 수 있으며, 미세분의 발생도 거의 증가하지 않음을 알 수 있었다. 이는 고해 처리에 비해 니딩 처리의 경우 고농도 지료에 대한 스크류의 사출 방식에 따른 전단력에 기인한 것으로 판단되었다.

니딩 처리에 따른 KOCC 펄프의 개질 효과 및 수초지 물성 향상 효과를 Fig. 6에 나타내었다. 고해 처리에 대비하여 니딩 처리에 의해 KOCC 펄프의 WRV 및 MDSV가 증가하므로 보아 펄프의 개질이 효과적으로 일어난 것을 알 수 있었다. 수초지의 강도적 특성 또한 고해 처리 단독 대비 니딩 처리 및 니딩 처리 후 고해 처리하는 경우가 높은 강도를 나타냄으로 보아 각질화된 KOCC에 개질 처리로 니딩과 같은 고농도 내부 피브릴화 처리가 강도 발현에 있어서 고해 처리에 대비하여 효

Table 1. Fibers' morphological properties depending on mechanical treatments of KOCC (R: refining, K: kneading, Number: ml CSF)

	Control ^{*1}	R-400	R-350	K-400	K-350	K+R-350
Fiber length (mm)	1.00	0.90	0.90	1.03	1.02	0.96
Width (μm)	18.30	18.11	18.52	18.24	17.82	17.73
Curl (%)	6.19	6.41	5.28	7.96	8.50	7.19
Kinked angle (°)	133.87	130.98	134.94	131.03	129.43	131.20
Kinked fibers (%)	17.83	17.18	15.76	26.40	30.08	26.22
Fines (%)	61.90	64.83	64.39	62.01	61.14	61.14

Control^{*1}: 고해 및 니딩 처리하기 전의 KOCC.

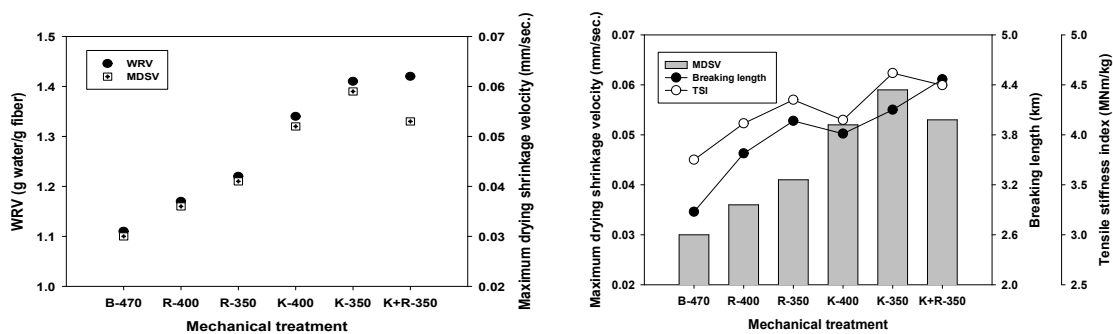


Fig. 6. Effect of kneading on pulp and paper properties of KOCC pulp.

(B-470: Control^{*1} at Table 1, 470 ml CSF)

Table 2. Fibers' morphological properties depending on mechanical treatments of SwBKP (R: refining, K: kneading, Number: ml CSF)

	R-400	K+R-400
Length weighted in length (mm)	1.21	1.19
Width (μm)	22.83	22.60
Curl (%)	6.48	6.63
Kinked angle ($^{\circ}$)	131.61	133.55
Kinked fibers (%)	13.25	15.30
Fines (%)	57.01	59.72

과적인 방법임을 알 수 있었다.

Table 2는 SwBKP의 니딩 전처리에 따른 섬유장 분석 결과를 나타낸 것으로, 섬유의 길이나 폭의 변화는 없으며 비틀린 섬유가 15% 증가하는 것으로 나타났다. 니딩 처리 시 지료는 고농도 상태에서 전단력을 받기 때문에 내부 피브릴이 유도될 수 있으나, 전단력에 의해 섬유의 꼬임이나 비틀림이 많아지게 되는 것으로 판단되었다. 꼬임이나 비틀림 이외에 SwBKP의 니딩 전처리에 따른 지료의 조성 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 7은 SwBKP에 대한 니딩의 영향을 나타낸 것으로 고해만을 진행한 경우에 대비하여 30분간 니딩 전처리 후 고해 처리한 경우가 높은 WRV 및 MDSV를 나타냈다. 이는 니딩 전처리 후 고해한 경우의 SwBKP에서 효과적으로 펄프의 개질이 이루어졌음을 알 수 있으며, 이에 따라 수초지의 물성 또한 니딩 전처리한 경우가 고해만을 처리한 경우보다 높은 열단장, TSI 및 낮은 벌크를 나타냈다. 니딩 처리의 경우 고농도 지료에 대한 전

단력에 의해 섬유 내벽의 분리를 유도하여 내부 피브릴을 발생시키며, 이에 따라 섬유간 결합을 증가시킬 수 있는 장점이 있는 반면, 섬유의 꼬임이나 휘어짐과 같은 섬유 형태 변형에 의해 섬유간 결합이 저해될 수도 있다. KOCC 및 SwBKP의 실험 결과 니딩 전처리에 의한 섬유 내벽의 개질은 형태 변화에 의한 결합의 간섭보다는 결합 증대 효과가 더욱 큼을 알 수 있으며, 이는 니딩 처리에 의해 섬유의 내부 피브릴화가 유도되었기 때문으로 판단되었다.

Fig. 8은 혼합 펄프의 고해 방식에 따른 WRV와 최대 건조수축 속도를 나타낸 것으로, 고해 단독 처리에 비해 니딩 전처리 후 고해 처리한 경우의 WRV 및 최대 건조수축 속도가 높아지는 것으로 나타났으며, 고해 하중에 의한 차이는 크게 나타나지 않았다. 이는 니딩 전처리에 의해 섬유의 내부 피브릴화가 유도되어 섬유의 습윤 팽윤성 및 건조 수축성이 증가한 것으로 판단되며, 혼합 펄프의 개질 처리에 있어서 니딩 전처리의 효과가 있음을 알 수 있었다. 니딩 후 고해 처리를 한 경우 높은 고해 하중이 낮은 고해 하중에 비해 높은 WRV 및 최대 건조수축 속도를 나타내는데, 이는 니딩에 의한 섬유의 내부 피브릴화가 유도된 이후 강한 고해 처리에 의해 섬유의 외부 피브릴화가 효과적으로 발생하였기 때문으로 판단되었다. 강도의 경우 니딩 전처리 시, 최대 건조수축 속도 및 WRV가 증가하였음에도 불구하고 열단장은 거의 증가하지 않았으며 TSI는 감소하는 경향을 나타내었다. 니딩 후 고해 처리의 WRV 및 최대 건조수축 속도가 고해 단독 처리보다 높음으로 보아 니딩 후 고해 처리가 섬유의 내부 피브릴화를 보다 효과적으로 유도한 것으로 판단되지만, 강도적 향상이 나타나지 않

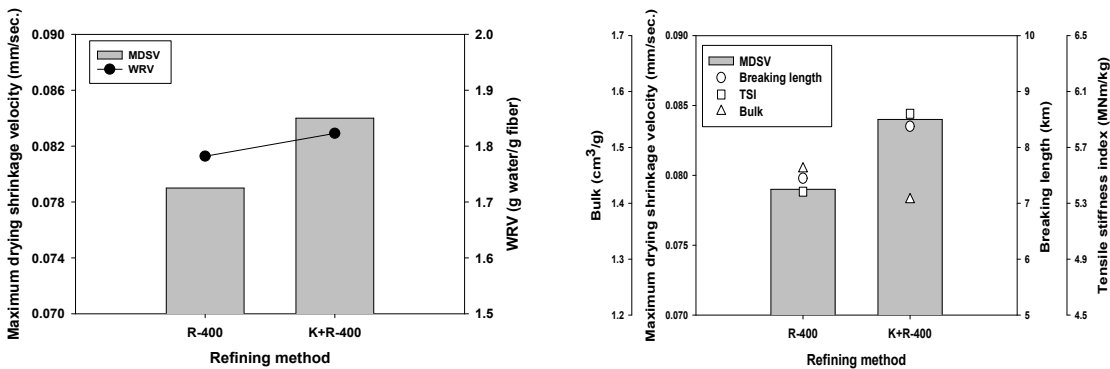


Fig. 7. Effect of kneading on pulp and paper properties of SwBKP.

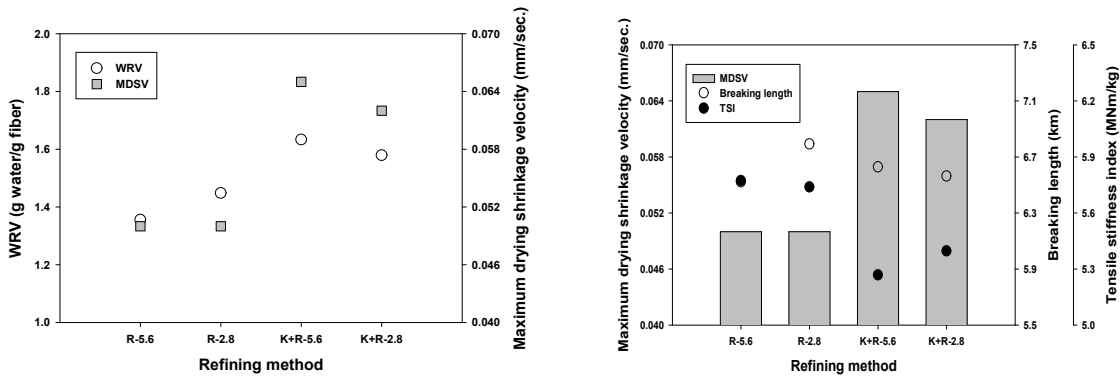


Fig. 8. Influence of kneading pre-treatment of mixed pulp on WRV, the maximum drying stress and tensile stiffness index.

은 것은 HwBKP에 포함된 도관이나 유세포와 같은 미세성분에 의해 섬유간 결합이 간섭을 받아 섬유 자체의 팽윤성 및 건조 수축성이 증가할지라도 미세성분의 결합 계면 간섭에 의해 강도가 증가하지 못하는 것으로 판단되었다. 이는 섬유간 실제적인 결합에 영향을 받는 탄성 인자인 강직성이 최대 건조수축 속도가 증가함에도 불구하고 떨어지는 것으로 보아 섬유간 결합이 미세성분에 의해 제한 받고 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

최대 건조수축 속도는 섬유 및 섬유 네트워크의 건조 수축성에 영향을 받는 특성으로 최대 건조수축 속도의 증가는 섬유 및 섬유 네트워크의 수축성 증가를 의미한다. 섬유의 수축성 증가는 섬유의 습윤 팽윤성 및 유연성(wet-fiber flexibility)의 증가에 의해 발현될 수 있으며, 섬유 네트워크의 수축성 증가는 섬유간 결합의 증가에 의해서 발현될 수 있다. 섬유 및 네트워크의 수축성에 영향을 주는 고해와 압착에 따른 건조수축과 최대 건조수축 속도를 평가한 결과는 다음과 같았다.

섬유 자체의 건조 수축성 및 섬유간 결합을 향상시킬 수 있는 고해 및 습부 압착 처리시 고해도 및 습부 건조도 증가에 따라 건조 수축성 및 최대 건조수축 속도의 증가를 나타내었으며, 구조 및 강도적 특성과 최대 건조수축 속도는 매우 높은 상관관계를 나타내었다.

HwBKP의 경우 내부 피브릴화를 유도하는 물리적 전처리에 의해 건조 수축성 및 최대 건조수축 속도는 증

가하여도, 종이의 강도적 특성의 향상은 나타나지 않았다. 이는 HwBKP가 가진 계면 결합 저해 인자에 의해 섬유간 결합이 제한을 받아 섬유의 개질 효과가 발현되지 않기 때문으로 판단되었다.

효과적인 HwBKP의 개질 및 개질에 따른 강도 발현에 있어서 도관과 같은 결합성이 약한 펄프 성분의 처리가 강도 향상을 위한 HwBKP의 개질에 중요한 인자인 것으로 판단되었다.

최대 건조수축 속도를 이용한 강도 발현의 해석 시 최대 건조수축 속도와 강도간의 관계를 통해 강도 발현에 대한 보다 명확한 해석이 가능할 것으로 판단되며, 건조 수축성을 조절 할 수 있는 여러 인자를 이용하여 보다 효과적인 종이 강도 향상 방안이나 구조 형성 변화 방안을 도출 할 수 있을 것으로 판단되었다.

사 사

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(This work was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (No. 2011-0026734)).

인용문헌

1. Clark, J. d'A., Pulp Technology and Treatment for

- Paper, Second Ed., Miller Freeman Publications Inc., San Francisco, pp. 100-118 (1985).
2. Page, D. H., and DeGrace, J. H., The delamination of fibre walls by beating and refining, *Tappi J.* 50(10): 489-495 (1967).
 3. Stone, J. E., and Scallan, A. M., The effect of component removal upon the porous structure of the cell wall of wood II, Swelling in water and the fibre saturation point, *Tappi J.* 50(10):496-501 (1967).
 4. Emerton, H. W., The theory of the development in pulps of papermaking characteristics by mechanical treatment, In *Fundamentals of the Beating Process*, Tech. Soc. B. P. & B. I. R. Kenley, UK, pp. 133-144 (1957).
 5. Sinkey, J. D., Fundamental concepts of refining, International symposium, IPC, Appleton, Wisconsin, pp. 16-18 (1980).
 6. Abitz, P., and Luner, P., The effect of refining on wet fiber flexibility and its relationship to sheet properties, In *Fundamentals of Papermaking*, Baker, C. F., and Punton, V. (ed.), Vol. 1, Mech. Eng. Pub., London, pp. 67-86 (1989).
 7. Cropper, M. A., Advances in deinking and its use in improving quality of newsprint, 1976 Papermakers Conference Proceeding, TAPPI Press, Atlanta, pp. 93-96.
 8. Ortner, H., and Fisher, S., The application of dispersion for quality improvement of deinked pulps, *Progress in Paper Recycling* 1(1):46-53 (1991).
 9. Johansson, O., and Steffner, S., Field experience gained in the new deinking plant at Hylte Bruks AB, EUCEPA Symposium, Ljbljana, pp. 23-27 (1989).
 10. 서형일, 류정용, 신종호, 송봉근, 오세균, 고지재생연구(제3보)-부유부상 및 니딩 처리에 의한 라이너지의 강도 및 광학적 성질 개선, *Journal of Korea TAPPI* 31(1): 17-22 (1999).
 11. Britt, K. W., and Unbehend, J. E., Water removal during sheet formation, *Tappi J.* 63(4):67-70 (1980).
 12. Springer, A., Nabors, L. A., and Bhatia, O., The influence of fiber, sheet structural properties and chemical additives on wet pressing, *Tappi J.* 74(4): 221-228 (1991).
 13. Caulfield, D. F., Young, T. L., and Wegner, T. H., The role of web properties in water removal by wet pressing, Characterization of dewatering time constant, *Tappi J.* 65(2):65-69 (1982).
 14. Wegner, T. H., Young, T. L., and Caulfield, D. F., Role of fiber geometry in water removal by wet pressing, *Tappi, J.* 66(4):85-88 (1983).
 15. Young, T. L., Caulfield, D. F., and Wegner, T. H., Role of web properties in water removal by wet pressing; Influence of basis weight and forming method, *Tappi J.* 66(10):100-102 (1983).
 16. Stratton, R. A., Use of polymers in wet pressing, 1982 Papermakers Conference Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, pp. 179-182.
 17. Campbell, W. R., The Cellulose-water relationship in papermaking, *Bull. For. Ser.* 84, Canada Dept. Interior, Printer to the King's most excellent Majesty, p.52 (1933).
 18. Paulapuro, H., Wet pressing-present understanding and future challenges, In *The Science of Papermaking*, Baker C. F.(ed.), Vol. 1, The Pulp and Paper Fundamental Research Society, UK, pp. 639-678 (2001).
 19. Szikla, Z., and Paulapuro, H., Z-direction distribution of fines and filler material in the paper web under wet pressing conditions, *Paperi Ja Puu*, 68(9):654-664 (1986).
 20. Szikla, Z., and Paulapuro, H., Changes in z-direction density distribution of paper in wet pressing, *J. Pulp and Paper Science* 15(1):J11-J17 (1989).
 21. Page, D. H. and Tydeman, P. A., A new theory of the shrinkage, structure and properties of paper, In *Formation and Structure of Paper*, Balam, F. (ed.), Vol. 1, BPBMA, London, pp. 397-425 (1962).
 22. Jentzen, C. A., The effect of stress applied during drying on some of the properties of individual pulp fibers, *Tappi J.* 47(7):412-418 (1964).
 23. 이진호, 건조수축 해석을 통한 종이의 건조 스트레스 평가와 벌크 및 강직성 향상 기작 규명, 2011년 농학 박사학위논문, 충북대학교(2011).