Journal of Korea TAPPI
Vol.36.No.2, 2004
Printed in Korea

2단고해에 의한 종이의 물성 변화

장현성 · 박종문†

(2003년 12월 15일 접수: 2004년 4월 15일 채택)

Physical Properties of Paper Depending on Two-Step Refining

Hyun-Sung Jang and Jong-Moon Park†

(Received on December 15, 2003: Accepted on April 15, 2004)

ABSTRACT

Structure and strengths of paper have been studied by analyzing fibers characteristics depending on refining methods. In those studies stock preparation aspect of softwood and hardwood fibers mixing and fibers characteristics was focused for paper quality improvement. In this study drainage of fibers were analyzed to improve the production efficiency and paper product's quality. Fiber properties by one and two-step refining processes were compared. By applying two-step refining processes(2.8 kg_f and 5.6 kg_f of refining load), refining efficiency, drainage, and strengths could be improved at specific extent of refining.

Keywords : *refining, air permeability, roughness, strength, drainage*

1. 서 론

고해는 섬유에 기계적인 힘을 가하여 섬유의 형태를 변화시켜 종이의 특성을 향상시키기 위한 필수적인 공정이므로 매우 중요한 과정이다. 고해가 진행되는 동안 섬유는 회전자와 고정자 사이를 통과하면서 가해지는 기계적인 충격에 의해 내부피브릴화, 외부피브릴화, 단섬유화, 미세분 생성 등의 변화를 갖는다. 동일한 여수도 조건이라고 하더라도 고해하중이 높으면 고해가 진행되는 동안 기계적인 충격에 의해서 섬유의 절단, 섬유의 외부피브릴화가 더 많이 일어나고, 낮은 고해하중에서는 섬유의 절단보다는 섬유의 변형, 섬유의 내부피브릴화가 더 많이 일어난다.

지금까지 고해조건에 의해 섬유의 형태가 어떻게 달라지며 또한 종이의 물성이 어떻게 달라 지는지에 대해 지속적으로 연구가 되어왔다. 기존의 고해하중에 따른 연구에서는 낮은 고해하중으로 고해한 경우 섬유의 절단과 미세섬유의 함량은 감소한다고 알려져 있다.

• 본 연구는 한국생산기술연구원의 청정생산기술사업의 지원에 의해 수행되었음.
• 본 연구는 경기도 화성시청의 용역연구(과채류 보호봉지 및 과채류 보호봉지 운반장치 개발 연구)사업의 지원에 의해 수행되었음.
• 충북대학교 농과대학 산림과학부(School of Forest Resources, College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)
† 주저자(Corresponding author): E-mail: jmpark@chungbuk.ac.kr

특히 피브릴화중 내부피브릴화를 CLSM(confocal laser scanning microscope)과 화상분석을 이용하여 섬유 세포벽의 팽윤정도를 측정함으로써 정량적으로 나타내었다. 김 등[1]과 이 등[2]은 낮은 고해하중에서는 높은 고해하중에서보다 내부피브릴화에 의한 섬유의 세포벽 팽윤정도가 증가하여 종이특성에 가장 크게 영향한다고 보고한바 있다. 본 연구에서는 고하중과 저하중의 1단 고해 방식의 단점을 보완하기위해 2단고해를 실시하였고 그에 따른 종이물성의 변화를 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

공시재료로는 시중에서 유통되고 있는 침엽수 표백 크라프트 펄프(SwBKP)를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 지료조성

실험실용 Valley beater(23 L)를 이용하여 TAPPI standard T248 hm-85에 따라 10분 동안 해리한 후 고해하중 2.8 kg_f로 600, 500, 400, 300 mL CSF가 되도록 고해하였고, 고해하중 5.6 kg_f로 600, 500, 400, 300 mL CSF가 되도록 고해하였다. 또한 2단 고해처리는 고해하중 2.8 kg_f로 500 mL CSF까지 고해한 후 고해하중을 5.6 kg_f로 교체해서 400, 300 mL CSF가 되도록 고해하였고, 고해하중 5.6 kg_f로 500 mL CSF까지 고해한 후 고해하중을 2.8 kg_f로 교체해서 400, 300 mL CSF가 되도록 고해하였다.

2.2.2 수초지

Valley beater로 고해한 펄프를 0.3%로 희석한 후 TAPPI standard T248 om-81에 따라 평량 120 g/m^2의 수초지를 제조하였다.

2.2.3 펄프섬유의 특성 분석

(가) 섬유특성분석

고해 처리한 후 MORFI LABO(LB-01)를 사용하여 펄프섬유의 섬유장, 미세섬유, 컬, 킹크를 측정하였다.

(나) WRV의 측정

펄프 섬유의 WRV 측정은 TAPPI standard UM 256에 따라 21±3℃에서 중력가속도 900 G로 30분간 원심분리하여 탈수시킨 후의 무게(W_T)와 105℃ 건조기에서 전건 시킨 후의 무게(W_O)를 측정하여 WRV를 측정하였다.

$$WRV = \frac{W_T - W_O}{W_O}$$

2.2.4 지료의 탈수성 분석

RDA를 이용하여 초지시의 탈수성을 분석하였으며, 이때 감압 탈수 처리는 주탱크와 보조탱크의 진공압력을 동일하게 200 mmHg로 유지하는 조건으로 실시하였다. 이때 백수 탱크에 채집된 백수의 탁도를 측정하여 각 초지조건에서의 보류도를 평가하였다. 감압 detector로부터 얻은 데이터를 바탕으로 탈수시간 경과에 따른 진공의 해압곡선을 작성하여 각 초지조건에서의 탈수성을 분석하였다. 그리고 해압곡선을 적분하여 탈수시간(11초) 경과 후의 총 탈수량을 수치화하여 비교하였다. 여기서 해압이란 탈수량과 공기유입량의 합이므로 간접적 정량화가 가능하였다.

$$DI = \int_0^{11} V dt$$

DI = drainage index (mmHg·sec)
V = vacuum (mmHg)
t = dewatering time (sec)
11 = total dewatering time (sec)

2.2.5 종이의 물성 측정

(가) 겉보기밀도

제조된 수초지는 TAPPI standard T402 om-83에 따라 조습 처리한 후 TAPPI standard T200 hm-83에 따라 겉보기밀도를 계산하였다.

$$Apparent\ density\,(g/cm^3) = \frac{\text{평량}\ (g/m^2)}{\text{두께}\ (mm)}$$

(나) 지합지수

지합지수는 다음 식에 따라 계산하였다.

$$Formation\ index = \frac{S.D.\ of\ gray\ level}{mean\ value\ of\ gray\ level}$$

(다) 투기도

제조된 수초지는 TAPPI standard T402 om-83에 따라 조습 처리한 후 T251 cm-85에 의거하여 투기도를 측정하였다.

(라) 표면거칠음도

제조한 수초지의 표면 거칠음도는 ISO 8791/2에 따라 Bendtsen 방법으로 측정하였다.

(마) 기계적성질

제조한 수초지는 TAPPI standard T402 om-83에 따라 조습 처리한 후 인장강도, 파열강도, 압축강도, 두께방향 인장강도를 TAPPI Standard T 494, T 403, T 826, T 441에 따라 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고해하중에 따른 섬유의 특성

3.1.1 섬유장

고해 진행에 따른 고해하중별 섬유장의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 고해가 진행될수록 섬유장은 짧아졌고, 동일 여수도 조건하에서는 고해하중 2.8 kg_f일 때의 섬유장이 고해하중 5.6 kg_f일 때보다 더 길게 나타났다. 2단 고해의 경우는 2.8 kg_f와 5.6 kg_f의 고해하중으로 1단 고해했을 때의 중간에 해당하는 섬유장을 나타내었다. 고해가 진행됨에 따른 고해하중별 섬유장의 감소율을 기울기 값으로 비교한 결과, 고해하중 2.8 kg_f와 고해하중 5.6 kg_f는 비슷한 경향을 나타냈지만, 2단고해의 경우 2.8-5.6 kg_f(고해하중 2.8kg_f로 고해한 후 5.6 kg_f으로 고해하는 경우)로 고해했을 때는 섬유장이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이는 2.8 kg_f의 고해하중으로 고해하면 섬유의 팽윤이 많이 진행되다가 5.6 kg_f의 높은 고해하중이 가해지면 팽윤되어있던 섬유가 급속히 파괴되면서 섬유장의 감소가 급격하게 이루어진 것으로 사료된다. 그에 비하여 5.6-2.8 kg_f(고해하중 5.6 kg_f로 고해한 후 2.8 kg_f로 고해하는 경우)으로 2단 고해했을 때, 5.6 kg_f의 고해하중에서 섬유가 이미 절단되었다가 낮은 고해하중이 가해지면서 섬유의 절단이 거의 일어나지 않는 것으로 사료된다.

3.1.2 미세섬유 함량

고해가 진행됨에 따른 고해하중별 미세섬유 함량의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 고해가 진행됨에 따라 미세섬유 함량은 증가하였고, 고해하중 5.6 kg_f에서는 고해하중 2.8 kg_f에 비해 높은 미세섬유의 함량을 나타냈다. 이는 섬유장의 변화와 유사한 것으로 섬유장의 감소에 따라 미세섬유의 함량이 증가하였다. 고해가 진행됨에 따른 고해하중별 미세섬유 함량의 증가율을 기울기 상수로 비교한 결

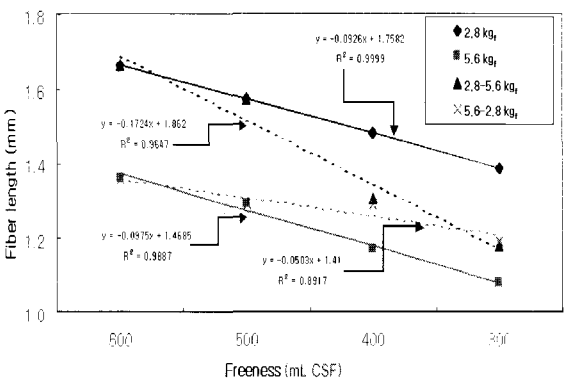

Fig. 1. Fiber length of SwBKP depending on refining load.

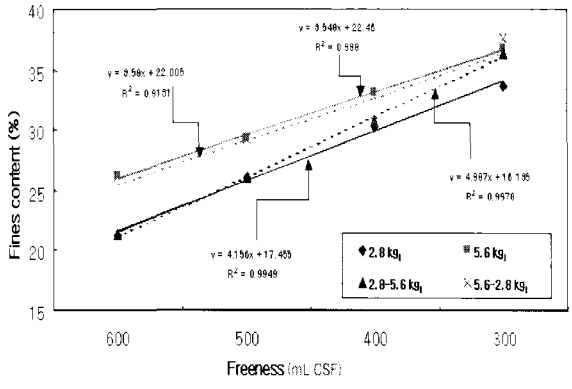

Fig. 2. Fines content of SwBKP depending on refining load.

과 고해하중 2.8 kg_f가 고해하중 5.6 kg_f에 비해 높은 경향을 나타낸 것은 고해시간의 영향 때문인 것으로 사료된다. 2단고해의 경우 고해하중 2.8-5.6 kg_f는 미세섬유의 증가율이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이는 섬유장의 변화와는 반대로 고해하중 2.8 kg_f에서는 섬유의 팽윤이 주를 이루다가 높은 고해하중이 가해지면서 팽윤되어있던 섬유가 급속히 파괴되면서 미세섬유의 함량이 급격하게 증가하는 것으로 사료된다.

3.1.3 컬(curl)과 킹크(kink)

고해하중을 낮게 하면 바와 바 사이에서 충격보다는 고농도 고해와 유사한 문지름(bruising)현상이 발생한다. 고해하중을 높게 하면 바와 바 사이에 섬유가 통과할 때 섬유가 받는 전단력이 커지므로 섬유의 변형보다는 섬유의 절단이 많이 발생한다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 고해가 진행될수록 섬유장이 짧아지기 때문에 섬유의 컬은 감소하는 경향을 나타내었다. 고해하중 2.8 kg_f에서는 고해하중 5.6 kg_f에 비해 컬이 많이 발생하였다. 이는 고해하중 2.8 kg_f에서는 고해하중 5.6 kg_f에 비해 문지름 현상이 많이 발생하여 섬유의 절단 보다는 변형하는 빈도가 높은 것으로 나타났다. 2단 고해는 고해하중 2.8 kg_f와 고해하중 5.6 kg_f의 중간적인 결과로 나타났다. 고해가 진행됨에 따른 섬유 컬의 감소율을 기울기 상수로 비교할 결과 고해하중 2.8 kg_f는 고해하중 5.6 kg_f에 비해 고해가 진행됨에 따른 섬유의 컬 발생 정도가 크게 나타났으며, 2단고해인 고해하중 2.8-5.6 kg_f는 고해가 진행됨에 따른 섬유

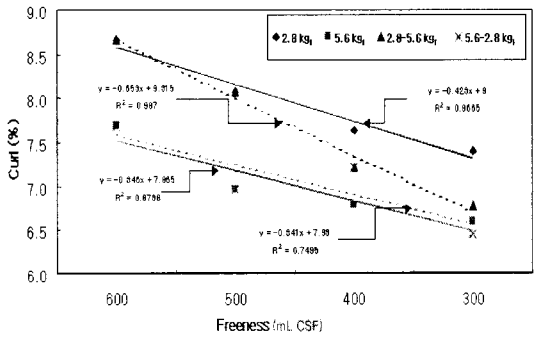

Fig. 3. Curl content of SwBKP depending on refining load.

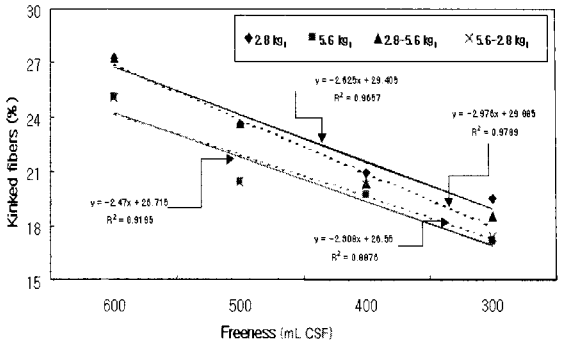

Fig. 4. Kinked fibers content of SwBKP depending on refining load.

의 컬 감소율이 가장 크게 나타났다. 이는 섬유장과 미세섬유 함량의 경우와 유사하게 고해하중 2.8 kg_f에서 팽윤된 섬유가 높은 고해하중으로 인해 섬유의 변형보다는 섬유의 절단이 급속히 이루어 진 것으로 사료된다. 섬유의 변형 상태를 나타내는 킹크는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 컬과 유사한 경향을 나타내어 섬유의 컬과 킹크는 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

3.1.4 WRV

고해의 효과 중 섬유의 피브릴화를 측정하는 방법인 WRV(Water Retention Value)는 종이의 강도에 큰 영향을 주는 피브릴화와 팽윤도를 예상할 수 있는 고해특성을 나타낸다.[3] WRV의 증가는 섬유의 비표면적(specific surface area)의 증가와 팽윤성의 증가로 인한 수소결합의 가능성이 많아짐을 의미한다. Fig. 5는 고해하중 변화에 따른 WRV를 나타낸 것이다. 고해가 진행됨에 따라 WRV는 증가하였다. 이는 고해가 진행되면서 섬유가 피브릴화되어 섬유의 비표면적이 증가하였기 때문이다. 고해하중 2.8 kg_f의 경우, 고해하중 5.6 kg_f에 비해 미세섬유가 적음에도 불구하고 WRV가 큰 것은 피브릴화와 팽윤이 많이 일어났기 때문이라 사료된다. 2단 고해의 경우 고해하중 5.6-2.8 kg_f는 고해하중 5.6 kg_f와 유사한 WRV를 가졌지만, 2.8-5.6 kg_f는 5.6 kg_f에 비해 WRV가 다소 낮아졌다. 이는 낮은 고해하중에서 섬유가 팽윤된 상태로 있다가 높은 고해하중을 가하면 팽윤된 섬유가 쉽게 유리상 고해의 형태가 되기 때문이라 사료된다. 고해가 진

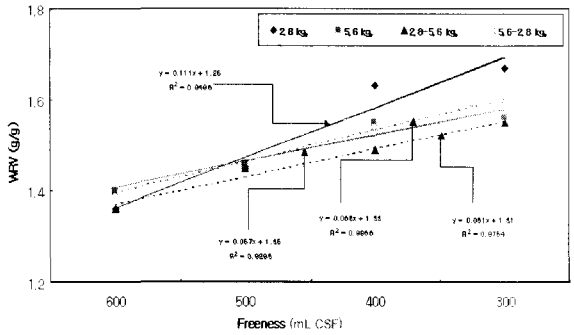

Fig. 5. WRV of SwBKP depending on refining load.

행됨에 따른 WRV의 증가율을 기울기 상수로 비교한 결과 고해하중 2.8 kg_f의 경우 WRV의 증가율이 높았다. 이는 낮은 고해하중의 경우에 높은 고해하중 보다 고해가 진행되면서 섬유가 피브릴화되어 섬유의 비표면적을 증가시키는 정도가 더 크기 때문인 것으로 사료된다. 유사한 결과로 이[2]는 낮은 고해하중에서는 높은 고해하중에 비해 섬유의 내부 피브릴화가 일어나는 정도가 크기 때문에 낮은 고해하중에서 높은 WRV를 나타낸다고 하였다.

3.2 고해하중에 따른 종이의 특성

3.2.1 겉보기밀도

단위 용적 내에 존재하는 섬유의 중량을 나타내는 겉보기밀도는 종이의 물리적, 광학적 특성을 좌우하는 중요한 요소이다. 고해가 진행됨에 따라 섬유의 피브릴화와 미세섬유의 증가로 인해 종이의 겉보기 밀도는 증가한다.[3] Fig. 6은 고해가 진행됨에 따른 고해하중별 겉보기밀도를 나타낸 것이다. 고해가 진행될수록 섬유의 피브릴화, 단섬유의 증가, 미세섬유의 증가로 인해 겉보기 밀도가 증가하였다. 동일 여수도에서는 고해하중 2.8 kg_f가 고해하중 5.6 kg_f에 비해 겉보기 밀도가 높았다. 이는 고해하중 2.8 kg_f에서는 섬유의 유연성이 증가하여 고해하중 5.6 kg_f에서의 단섬유와 미세섬유의 증가로 인한 겉보기밀도의 증가보다 큰 것으로 나타났다. 2단고해의 경우는 5.6 kg_f 고해하중으로 고해한 후 제조한 종이의 겉보기밀도와 유사한 것으로 나타났다.

3.2.2 지합

지합은 종이의 균일성을 나타내는 수단으로 매우 중요한 특성 중 하나이다. 지합 지수는 섬유의 불균일한 정도로서 기존의 지합 지수는 평량 중심의 지합 지수인데 본 실험에서는 광량을 이용한 지합 지수를 계산하였다. 조[1]는 gray level을 이용하여 지합 지수를 계산한 후 종이의 특성과의 산관관계를 분석하였는데 지합 지수와 종이의 특성을 비교한 결과 상관이 0.9 이상으로 매우 높은 관계가 있음을 보였다. Gray level을 이용한 지합의 측정은 초지시 첨가되는 안료나 염료에 의해서 영향을 받는다는 단점은 있으나, 동일한 지종을 동일한 방법으로 생산할 경우 이러한 단점을 극복할 수 있고, 빠른 시간 내에 간단한 방법으로 측정할 수 있다는 장점을 가진다. Fig. 7은 gray level을 이용한 지합 측정 결과이다. 고해가 진행될수록 자합자수값이 감소하였다. 이는 고해가 진행될수록 종이 내의 섬

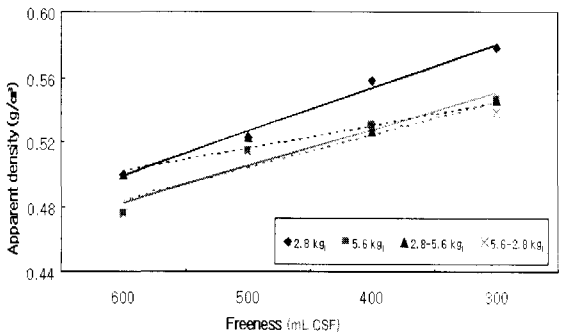

Fig. 6. Apparent density of SwBKP handsheet depending on refining load.

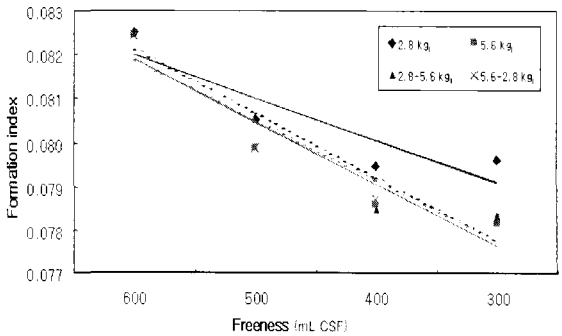

Fig. 7. Formation index of SwBKP handsheet depending on refining load.

유 분포가 균일해짐을 의미한다. Jokinen[5], Kerekes[6,7], Dodson[8], Caulfield[9]는 섬유장이 증가할수록 섬유간 엉킴(flocculation)의 균일성이 저해되기 때문에 지합이 저하된다고 하였다. 고해가 진행될수록 섬유장이 짧아지기 때문에 지합에 중요한 섬유장의 영향으로 지합은 향상되었다. 고해하중에 따른 지합은 점상고해 형태인 고해하중 2.8 kg_f의 경우 섬유장이 5.6 kg_f에 비해 섬유의 절단이 덜 일어나고 섬유의 변형이 많이 일어났기 때문에, 즉 섬유장의 감소가 덜 일어났기 때문에 지합은 좋지 않았다. 즉 고해하중 5.6 kg_f의 경우 섬유의 길이가 짧고 응집성이 적어지고 미세섬유가 증가하기 때문에 지합이 좋았다. 2단고해의 경우는 고해하중 5.6 kg_f와 비슷한 formation index값을 나타내어 지합이 우수하였다. 이는 겉보기밀도와 유사한 결과로서 2단고해의 경우는 고해하중 5.6 kg_f와 유사한 구조적 특성을 나타냈다.

3.2.3 투기도

Fig. 8은 고해가 진행됨에 따른 고해하중별 종이의 투기도를 나타낸 것이다. 고해가 진행될수록 섬유의 피브릴화, 단섬유의 증가, 미세섬유의 증가로 인해 투기도가 감소하였다. 동일 여수도에서는 고해하중 2.8 kg_f가 고해하중 5.6 kg_f에 비해 투기도가 낮았다. 고해가 진행됨에 따라 종이의 구조는 치밀해지고 고해하중별로는 고해하중 2.8 kg_f가 고해하중 5.6 kg_f에 비해 더욱 치밀한 구조를 만드는 것으로 나타났다. 2단고해의 경우 여수도 400 mL CSF에서는 고해하중 5.6 kg_f와 유사한 경향을 나타냈다. 이는 겉보기밀도, 지합과 유사한 결과로서 2단고해의 경우 종이의 구조는 고해하중 5.6 kg_f와 유사한 것으로 사료된다.

3.2.4 거칠음도

평활도는 종이 표면의 윤곽상태를 나타내는 특성으로써, 필기적성 및 인쇄품질과 밀접한 관계를 지닌다. 대부분의 인쇄용지 및 도공원지의 경우 우수한 인쇄품질 및 도공적성을 얻기 위하여 양호한 평활도가 요구된다. 평활도는 펄프의 종류, 고해, 각종 패브릭의 구조, 습부압착, 캘린더링, 충전, 표면사이징, 안료도공에 의하여 조절 및 개선될 수 있다. 종이의 양면성은 종이의 표면과 이면 사이의 표면특성 차이를 나타내는 것으로 결합강도, 평활도, 필기 및 인쇄품질, 색, 백색도(brightness), 사이즈도 등에 영향을 미친다. 양면성 발생은 주로 초지부에서 장섬유 펄프가 매트를 형성하기 전에 미세섬유 및 충전제 입자들이 백수와 더불어 빠져나가기 때문이다. 매트가 형성된 후에도 테이블 롤, 하이드로포일 및 진공박스의 작용에 의하여 습지필의 와이어 접촉부에서 미세섬유가 제거되며, 압착부에서도 압착된 물의 이동에 의하여 미세섬유 및 층 전체의 재배치가 일어나 양면성을 나타내는 주요 원인으로 작용한다.[10] Fig. 9는 고해하중에 따른 거칠음도를 표면과 이면 그리고 표리차로 나타낸 것이다. 초기에 섬유와 미세섬유들은 와이어에서 여과시 와이어 틈새로 미세섬유들은 거의 백수로 유출되고 섬유들이 network 구조를 형성하면서 점점 많은 양의 미세섬유들이 존재하게 된다. 그래서 표면의 평활도

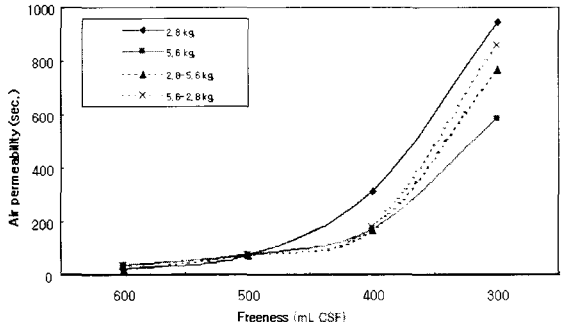

Fig. 8. Air permeability of SwBKP handsheet depending on refining load.

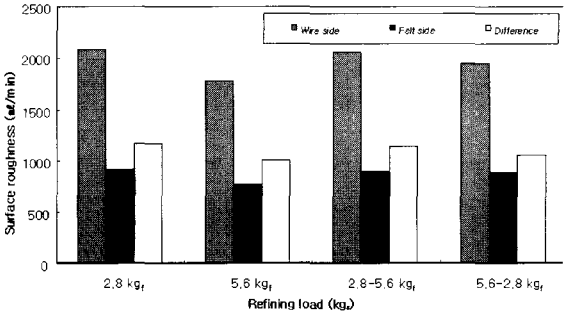

Fig. 9. Surface roughness of SwBKP handsheet depending on refining load.

가 우수한 것이다. 고해하중별로는 5.6 kg_f가 고해하중 2.8 kg_f에 비해 표면과 이면 모두 평활도가 우수하였다. 이는 고해하중 5.6 kg_f에서는 고해하중 2.8 kg_f에 비해 단섬유와 미세분 함량이 많기 때문에 평활도가 우수한 것으로 사료된다. 표면과 이면의 평활도 차이는 고해하중 2.8 kg_f에서 고해하중 5.6 kg_f에 비해 크게 나타났다. 이는 탈수과정에서 고해하중 2.8 kg_f가 고해하중 5.6 kg_f에 비해 초기 매트를 빨리 형성해서 표면으로 갈수록 미세분의 보류가 증가하여 표면과 이면의 평활도 차이가 큰 것으로 사료된다. 2단고해의 경우는 고해하중 2.8 kg_f와 고해하중 5.6 kg_f의 중간적인 경향을 나타냈다.

3.2.5 강도

고해하중의 변화에 따른 여수도별 파열강도의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 종이의 파열강도는 섬유장, 섬유간 결합, 섬유의 유연성, 지합, 평량, 함수율 및 표면처리에 의하여 영향을 받는다.[10] 고해가 진행될수록 파열강도는 증가하고 고해하중 2.8 kg_f가 고해하중 5.6 kg_f보다 높은 파열강도를 나타내었다. 이는 고해하중 2.8 kg_f에서는 고해하중 5.6 kg_f에서보다 섬유장이 적게 감소하고 섬유의 유연성 증가로 인한 섬유간의 결합 증가로 인해 더 높은 파열강도를 나타내었다. 2단고해인 고해하중 2.8-5.6 kg_f와 고해하중 5.6-2.8 kg_f는 여수도 400 mL CSF 구간에서 고해하중 5.6 kg_f에 비해 17% 정도 높은 파열강도를 나타내었다. Fig. 11은 고해하중의 변화에 따른 여수도별 두께방향 인장강도(ZDT)의 변화를 나타낸 것이다. 두께방향 인장강도는 종이 면에 수직으로 작용하는 인장강도를 말하며, 접

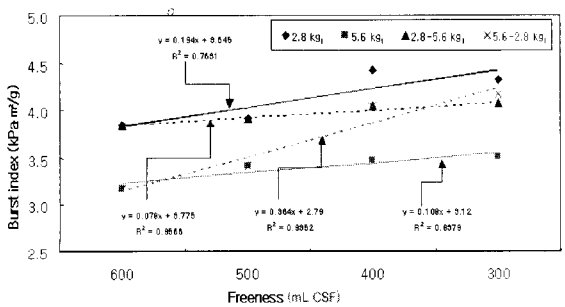

Fig. 10. Burst index of SwBKP handsheet depending on refining load.

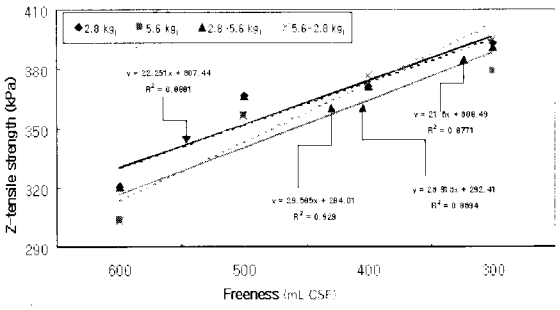

Fig. 11. Z-tensile strength of SwBKP handsheet depending on refining load.

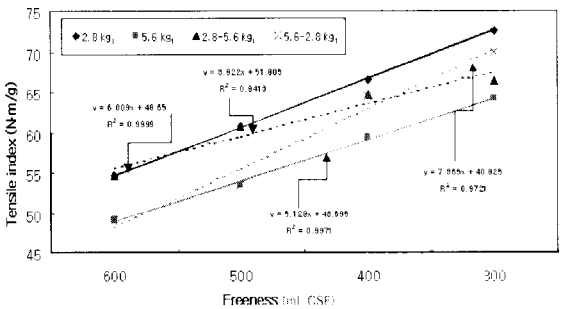

Fig. 12. Tensile index of SwBKP handsheet depending on refining load.

착력 또는 섬유가 입체적으로 잘 연결되어 있는가의 정도를 나타낸다. 고해가 진행될수록 섬유의 유연성으로 ZDT는 증가하였고 고해하중 2.8 kg_f가 고해하중 5.6 kg_f보다 우수하였다. 2단고해는 고해하중 2.8 kg_f와 유사하게 높은 ZDT를 나타냈다. Fig. 12는 고해하중의 변화에 따른 여수도별 인장강도를 나타낸 것이다. 종이의 인장강도는 섬유의 배향성, 함수율, 섬유의 특성, 섬유간 결합, 첨가제 및 평량에 의하여 영향을 받는다.[10] 고해가 진행될수록 인장강도는 증가하고 고해하중 2.8 kg_f가 고해하중 5.6 kg_f보다 높은 인장강도를 나타내었다. 2단고해인 고해하중 2.8-5.6 kg_f와 고해하중 5.6-2.8 kg_f는 여수도 400 mL CSF 구간에서 고해하중 5.6 kg_f에 비해 9% 정도 높은 인장강도를 나타내었다. Fig. 13은 고해하중의 변화에 따른 여수도별 압축강도(short span compression strength test)를 나타낸 것이다. 압축강도는 인장강도(Fig. 13)와 유사한 결과가 나타났다. 고해가 진행됨에 따른 파열강도, 두께방향 인장강도, 인장강도, 압축강도를 고해하

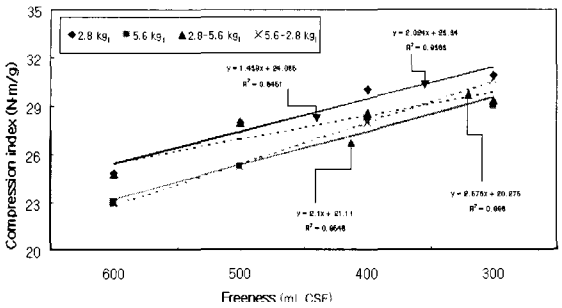

Fig. 13. Compression index of SwBKP handsheet depending on refining load.

중별 강도 증가율을 기울기 상수로 비교한 결과 모든 강도에서 고해하중 2.8-5.6 kg_f로 고해를 한 경우 강도증가율이 가장 낮았다. 이는 섬유 변화의 경우와 마찬가지로 고해하중 2.8 kg_f에서 팽윤되어있던 섬유에 높은 고해하중을 가하면 팽윤되어 있던 섬유의 붕괴가 더욱 빨리 일어나 강도 증가율이 낮은 것으로 나타났다. 반면 5.6-2.8 kg_f로 고해를 한 경우는 높은 고해하중에서 섬유가 팽윤된 상태에서 낮은 고해하중을 가하면 섬유의 절단 보다는 팽윤을 더욱 많이 발생시키기 때문에 강도 증가율이 높은 것으로 나타났다.

3.3 고해의 용이성

Fig. 14는 고해하중에 의한 고해시간을 나타낸 것이다. CSF 여수도는 섬유내의 미세분에 의해 크게 좌우된다. 고해하중 5.6 kg_f에서는 유리상 고해가 주로 일어나 미세분이 고해하중 2.8 kg_f에 비해 급격히 증가하기 때문에 미세분의 영향으로 각 구간별 여수도까지 요구되는 시간이 2.8 kg_f에 비해 짧았다. 반면, 고해하중 2.8 kg_f에서는 점상 고해가 주로 일어나 고해하중 5.6 kg_f보다는 미세분의 영향을 덜 받았기 때문에 각 구간별 여수도까지 요구되는 시간이 길었다. 2단고해의 경우 고해하중 5.6-2.8 kg_f는 고해하중 2.8-5.6 kg_f에 비해 5.6 kg_f의 구간이 더 많고, 미세분의 함량이 더 많았기 때문에 고해효율 면에서는 더 우수하였다. 본 실험결과 2단고해는 고해하중 2.8 kg_f에 비해 고해효율 면에서 우수하였다.

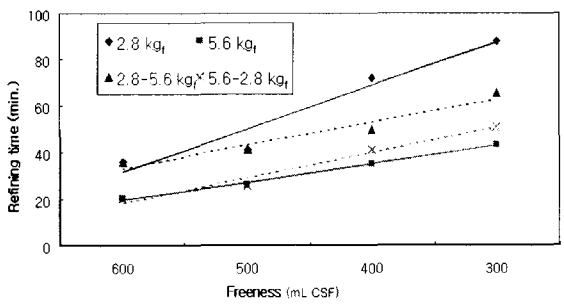

Fig. 14. Refining time of SwBKP depending on refining load.

3.4 2단고해에 의한 탈수특성

Fig. 15는 지료농도 1%에서의 탈수곡선으로 2단고해는 고해하중 5.6 kg_f와 유사한 탈수성을 나타냈다. Fig. 16에서도 2단고해는 5.6 kg_f와 유사한 DI를 나타냈다. 이는 2단고해로 고해를 실시할 경우 초기매트 형성속도와 filtration 정도가 고해하중 5.6 kg_f와 유사하게 일어났기 때문에 탈수성은 우수

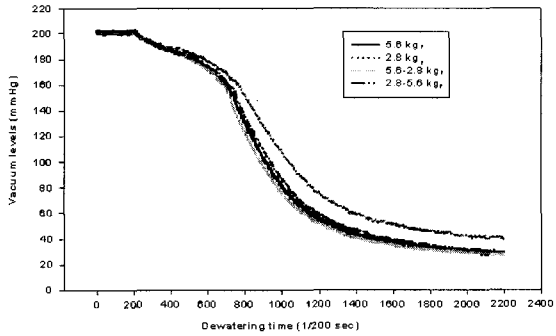

Fig. 15. Drainage curve of SwBKP depending on refining load at consistency 1%.

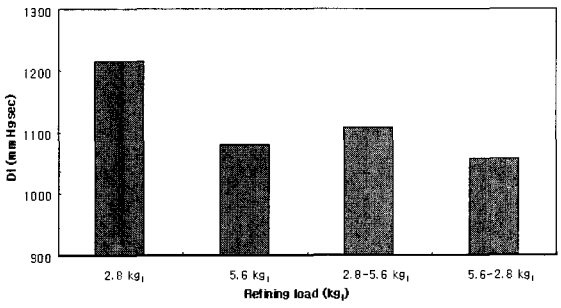

Fig. 16. DI of SwBKP depending on refining load.

한 것으로 나타났다. 이로 인해 2단고해는 탈수성에 문제를 나타내지 않을 것으로 사료된다.

4. 결 론

고해가 진행됨에 따라 섬유장은 감소하고 미세섬유의 함량은 증가하였다. 섬유의 변형 상태인 컬과 킹크의 함량도 증가하였다. 고해하중별로는 고해하중 2.8kg_f의 경우 점상고해의 유형을 나타냈고, 고해하중 5.6kg_f의 경우 유리상고해 유형을 나타냈다. 2단고해의 경우 섬유장, 컬, 킹크, 미세섬유의 함량 모두 고해하중 2.8 kg_f와 5.6 kg_f의 중간 유형으로 나타났다. 특히 2.8-5.6 kg_f의 경우는 팽윤된 섬유가 갑자기 높은 하중을 받으므로 섬유의 파괴가 심하게 일어나 유리상 고해 유형의 증가율이 가장 높았다. 5.6-2.8 kg_f는 고해하중 2.8 kg_f와 고해하중 5.6kg_f의 중간적인 WRV을 나타냈지만, 섬유의 파괴가 심하게 일어난 2.8-5.6 kg_f는 다소 낮은 WRV를 나타내었다. 저하중으로 고해를 하게 되면 종이의 강도는 우수하나 고해시간이 오래 소요되는 단점이 있다. 고하중으로 고해를 하게 되면 고해시간은 단축되나 종이의 강도는 저하중에 비해 떨어지는 단점이 있다. 이들 고해의 단점을 보안하기 위해 2단고해를 실시한 결과 저하중에 비해 고해시간은 단축되고, 고하중에 비해 강도는 향상되는 특성을 나타냈다. 또한 2단고해의 탈수 경향은 고해하중 5.6kg_f와 유사한 경향을 나타내어 탈수속도가 빠른 것으로 나타났다. 이는 2단고해를 실시할 경우 탈수속도에 문제를 일으키지 않을 것으로 사료된다. 또한 탈수경향에 따라 형성된 습지필의 구조는 종이의 구조와 유사하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

인용문헌

1. 김서환, 박종문, 김철환, 종이의 물리적 특성에 미치는 섬유의 찌그러짐 특성의 영향에 대한 CLSM분석, J.Korea Tappi 31(1) : 46-51 (1999).
2. 이강진, 박종문, 종이의 특성에 영향하는 펄프 섬유특성의 정량적 해석, J.Korea Tappi 30(2) : 35-39 (1998).
3. 이윤구, 신동소, 탈묵펄프 고해시 고해하중이 재생지의 물리적 성질에 미치는 영향, J. Korea Tappi 27(1) : 7-13 (1995).
4. 조용민, 투과광 주사기의 화상분석법에 의한 종이의 물성 평가, 서울대학교, 박사학위논문 (2000).
5. Jokinen, O. and Ebeling, K., Flocculation tendeney of papermaking Fibers, Paperi Puu 67(5):317 (1985).
6. Kerekes, R. J., and Schell, C. J., Characterization of Flocculation regimes by crowding factor, J. Pulp Paper & Sci. 18(1):32 (1992).
7. Kerekes, R. J., and Schell, C. J., Effect of fiber length and coarseness on pulp flocculation, Tappi. J. 78(2):133 (1995).
8. Dodson, C. T. J., Universal law of formation, J. Pulp Paper Sci. 16(4):J136 (1990).
9. Caulfield, D. F., Passaretti, J. D., and Sobczynski, S. F., Fiber Quality Factors in papermaking-The Importance of Fiber Length and Strength, Materials Research Society Symposium Proceedings San Francisco, CA, April 18-20, Vol. 197 pp.125-141 (1990).
10. 조헌정 외, 펄프제지공학, 선진문화사, pp.203-456 (1997).