

고해하중변화에 의한 탈수성과 탈수영향 인자 분석

장현성 · 박종문[†]

(2003년 12월 17일 접수: 2004년 4월 15일 채택)

Characteristics of Stock Drainage Depending on Refining Load and Analysis of Drainage Factors

Hyun-Sung Jang and Jong-Moon Park[†]

(Received on December 17, 2003: Accepted on April 15, 2004)

ABSTRACT

Structures and strengths of paper have been studied by analyzing fibers characteristics depending on refining methods. Mixing ratio of softwood and hardwood fibers and fibers characteristics have been analyzed for paper quality improvement. In this study flocculation and drainage of fibers were analyzed to improve the production efficiency and paper product's quality. Floc size and drainage rate depending on stock consistency and fines content were analyzed. Total amount of drainage during drainage process was measured quantitatively by using DI(drainage index). Floc size, viscosity of floc and dewatering times were also measured.

In the case of refining load 2.8 kg_t, drainage was occurred by filtration mechanism rather than thickening mechanism because drainage resistance increased by fibrillation of fibers. Therefore, the drainage rate of 2.8 kg_t refining load stock was slower than that of 5.6 kg_t.

Keywords : flocculation, drainage, floc size, drainage index

1. 서론

고해에 있어서 섬유유의 피브릴화는 고해의 일차

적인 목적이며, 종이의 강도특성 발현에서 가장 중요한 인자이다. 기존의 연구에서는 고해 하중에 따라 섬유 특성의 변화를 분석하고 그에 따른 종이의

- 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

구조와 강도가 어떻게 달라지는 데에 중점을 두고 연구하였다. 기존의 연구가 지료 조성상의 섬유 특성 변화에 중점을 두었다면, 본 연구에서는 지필형성 과정 중에 지료 성분들이 탈수되는 경향과 섬유의 응집에 중점을 두었다.

섬유의 응집은 헤드박스 및 와이어에서 발생하는 전단력과 난류에 파괴되지 않고 저항하는 능력으로 보류율을 결정하는 주요 인자이다. 플록이 전단력과 난류에 의해 파괴되기 쉽다면 미세분들이 쉽게 백수로 유출될 것이다. 그리고 탈수는 종이를 생산하는데 있어서 생산효율 및 경제성과 관련이 있는 중요한 요소이다.

미세분은 탈수에 악영향을 끼친다고 알려져 있다. 고해가 진행됨에 따라 탈수속도가 느려지는 것도 미세섬유 함량의 증가에 따른 것이다. 그러나 이런 미세섬유들이 탈수되는 과정에서 섬유와 반응하는 메커니즘이나 섬유의 특성에 따른 플록의 형성 등에 관한 연구는 미흡한 편이다. 탈수메커니즘은 크게 두 가지인 filtration과 thickening으로 대별되는데 Fig. 1에 나타내었다.¹⁾ Filtration에 의하면 와이어 위에 형성된 매트와 지료사이의 명확한 경계가 있으며 초기매트가 빨리 형성된다. 형성된 매트는 필터 역할을 하기 때문에 보류는 좋아지나 탈수성은 나빠지게 된다. 따라서 탈수성을 결정하는 주요인자는 지료상태에서 초기 매트를 형성하는 속도와 형성된 매트가 필터 역할을 하는 정도이다.

지료의 탈수는 탈수 메커니즘뿐만 아니라 섬유와 미세섬유의 플록과 미세섬유와 미세섬유의 플록 특성에 의해 크게 영향을 받는다. 플록은 크기, 밀도, 전단력에 대한 저항성 등에 의해 특성이 좌우된

다. 플록이 크고 다공성이면 물을 많이 포함하고 있어 탈수가 나빠진다. 그러나 플록이 작고 단단하다면 물은 쉽게 탈수된다. Kerekes²⁾는 섬유장과 coarseness의 증가는 pulp 응집을 야기하여 종이의 균일성에 악영향을 미친다고 하였다. Youn³⁾은 ARES rheometer (Rheometric Scientific Inc., USA)를 이용하여 섬유 네트워크 강도를 측정하였는데, 지료농도의 증가는 섬유 네트워크 강도를 향상시켰으며, 섬유장과 elastic stiffness의 감소는 섬유 네트워크 강도를 감소시킨다고 하였다. 섬유의 응집은 섬유끼리 물리적으로 엉켜서 응집하는 경우와 수소결합에 의한 응집으로 분류할 수 있다.⁴⁾ 섬유의 응집성은 섬유의 성질에 따라 달라지며 이는 탈수성의 변화로 이어진다고 보아야한다.

본 논문에서는 지료의 농도, 미세분 함량 그리고 고해하중을 달리한 2단고해에 의한 지료의 탈수성을 분석하였다. 탈수성을 수치로 비교하기 위해 탈수곡선을 적분하여 탈수시간의 경과에 따라 총탈수량을 DI(drainage index)라는 수식을 만들어 정량적으로 분석하였다. 또한 탈수에 영향을 미치는 인자 중에 섬유의 플록 크기는 2D-F Sensor로 측정하였고 지료의 응집강도와 침강속도를 저전단 점도계로 측정하였으며, 지료의 습지필 형성 후의 여과 특성 정도를 DDJ(dynamic drainage jar)로 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

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 의거하여 10분 동안 해리한 후 고해하중 2.8 kgf로 600, 500, 400, 300 mL CSF가 되도록 고해하였고, 고해하중 5.6 kgf로 600, 500, 400, 300 mL CSF가 되도록 고해하였다.

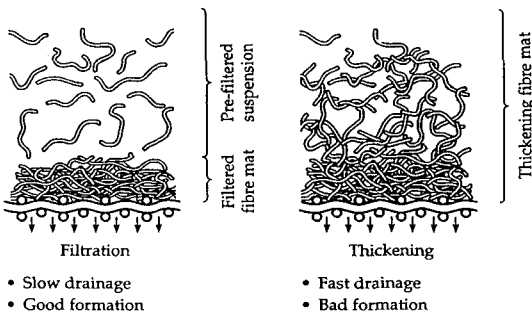


Fig. 1. Deposition mechanisms by drainage.

2.2.2 WRV

펄프 섬유 의 WRV 측정 은 TAPPI standard UM 256에 의거하여 측정하였다.

2.2.3 지료 의 탈수성

RDA를 이용하여 관련 논문 에 서술한 바와 같이⁵⁾ 초지 시 의 평량 과 지료 의 농도 를 달리 하여 탈수성 을 분석 하였다.

2.2.4 습지 의 플록 크기 분석

RDA로 초지한 습지 상태 의 시편 에 대하여 Techpap社 의 2D-F Sensor를 이용하여 광량 을 통한 플록 크기 를 분석 하였다.

2.2.5 플록 의 응집 강도 와 매트 형성 속도

전건 펄프 4 g이 들어 있는 400 mL의 시료 를 저전단 점도계 를 이용하여 100 rpm 조건 에서 10초 간격 으로 5분 동안 점도 변화 를 측정 하였다. 점도 값을 섬유 플록 의 응집 강도 로 표현 하였고, 연속적 인 점도 측정 에서 점도 값 의 감소 율 을 매트 형성 속도 로 표현 하였다.

2.2.6 지료 의 여과 특성

전건 펄프 4 g이 들어 있는 400 mL의 시료 를 jar 에 넣고 450 rpm으로 일정 시간 교반 한 후 5초간 의 정지(pause)시간 을 둔 후 밸브 를 열어 물 이 탈수 되 어 매트 를 형성 할 때 까지 자연 탈수 시킨다. 그 후 400 mL의 물 을 jar에 넣고 밸브 를 열어 자연 탈수 된 물 을 메스실린더 로 수집 하여 300 mL에 도달 될 때 까지 의 탈수 시간 을 측정 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고해하중 에 따른 WRV 의 변화

고해 의 효과 중 섬유 의 피브릴화 를 측정 하는 방법 인 WRV(Water Retention Value)는 종이 의 강도 에 큰 영향 을 주는 피브릴화 와 팽윤 정도 를 예상 할 수 있는 고해 특성 을 나타 낸다.⁶⁾ WRV의 증가는 섬유 의 비표면적(specific surface area)의 증가 와 팽윤성 의 증가 로 인한 수소 결합 의 가능성 이 많아 지

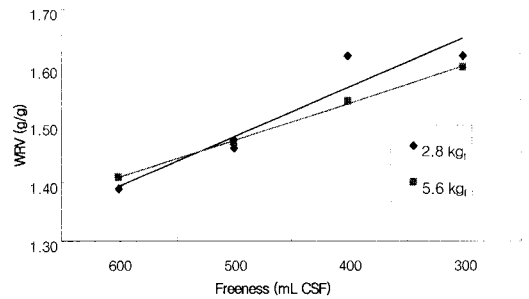


Fig. 2. WRV of SwBKP depending on refining load.

을 의미 한다. Fig. 2는 고해 하중 변화 에 따른 WRV 를 나타 낸 것이다. 고해 가 진행 됨 에 따라 WRV는 증가 하였다. 이는 고해 가 진행 되 면서 섬유 가 피브릴화 되어 섬유 의 비표면적 이 증가 하였기 때문이다. 고해 하중 2.8 kgf의 경우 고해 하중 5.6 kgf에 비해 미세 섬유 가 적음 에도 불구하고 WRV가 큰 것은 피브릴화 와 팽윤 이 많이 일어났기 때문 이라 사료 된다.

3.2 플록 의 크기

탈수 는 섬유 와 미세 섬유 의 플록 과 미세 섬유 와 미세 섬유 의 플록 의 특성 에 의해 크게 영향 을 받는다. 플록 은 크기, 밀도, 전단력 에 대한 저항성 등에 의해 성질 이 좌우 된다. 플록 이 크고 다공성 이면 물 을 많이 머금 고 있어 탈수 가 나빠 진다. 그러나 플록 이 작고 단단 하다면 물 은 쉽게 탈수 된다.⁴⁾ Figs. 3-4은 습지 상태 의 플록 의 크기 를 측정 한 결과 이

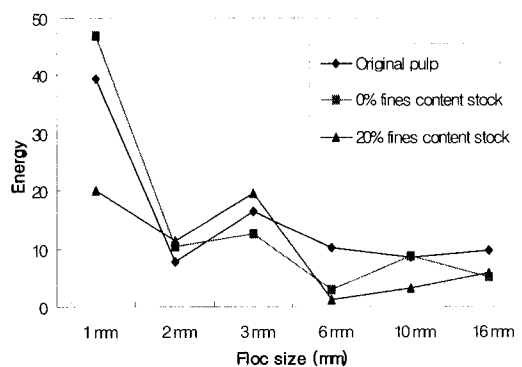


Fig. 3. Floc size of wet handsheet made of SwBKP depending on fines content at 5.6 kg refining load.

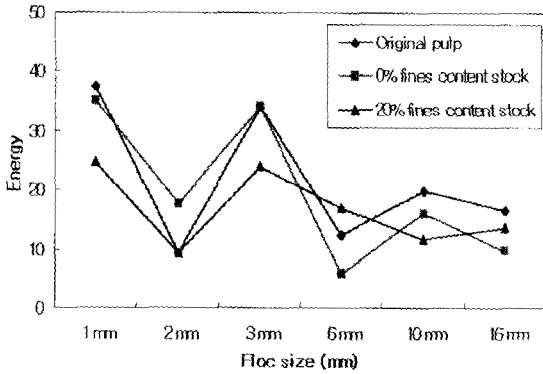


Fig. 4. Floc size of wet handsheet made of SwBKP depending on fines content at 2.8 kg_r refining load.

다. 고해하중 5.6 kg_r의 경우 1 mm의 작은 플록이 주를 이루지만, 고해하중 2.8 kg_r의 경우 큰 플록도 고르게 분포하는 것으로 나타났다. 미세섬유의 함량에 따른 플록의 크기는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

3.3 플록의 응집강도와 매트형성 속도

지필 형성 과정 중에 발생하는 지료의 섬유와 미세섬유의 응집 그리고 지필이 형성되는 동안의 탈수 현상을 설명하고자 실험하였다. Fig. 5는 지료의 응집강도를 저전단 점도계를 통해 점도로 나타낸 것이다. 고해하중 2.8 kg_r의 경우 고해하중 5.6 kg_r에 비해 높은 점도를 나타내었다. 이는 고해하중 2.8 kg_r의 경우 섬유장이 길고 유연해서 섬유가 응집할 정도가 많아지기 때문에 섬유의 응집성뿐만 아니라

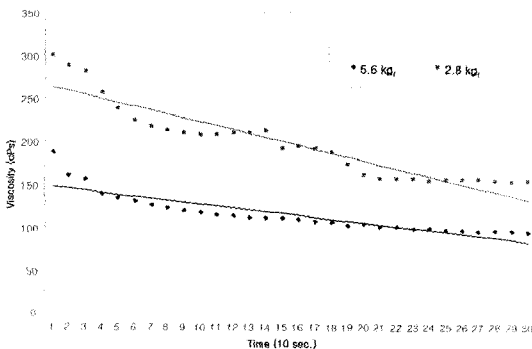


Fig. 5. Viscosity of SwBKP stock depending on refining load.

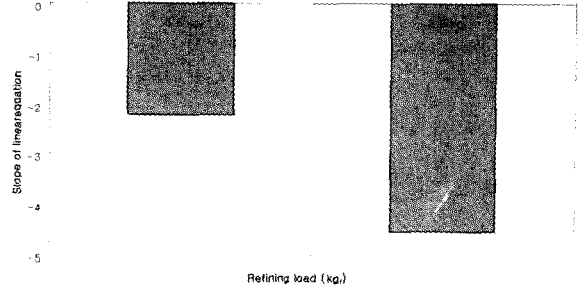


Fig. 6. Slope of linear equation of viscosity of floc depending on refining load.

응집 강도 또한 큰 것으로 나타났다. Fig. 6은 지료가 침강하는 속도(sedimentation rate)를 나타낸 것이다. 고해하중 2.8 kg_r의 경우 고해하중 5.6 kg_r에 비해 침강하는 속도가 2배 정도 빠른 것으로 나타났다. 이는 초기 매트형성 능력이 고해하중 2.8 kg_r가 고해하중 5.6 kg_r에 비해 더 빠르다는 것을 나타낸다. 이로 인해 고해하중 2.8 kg_r가 고해하중 5.6 kg_r에 비해 보류율은 우수하지만 탈수속도가 느리게 나타나는 것으로 사료된다.

3.4 여과특성

Fig. 7은 DDJ를 이용하여 매트 형성 후의 탈수성을 나타낸 것이다. 고해하중 2.8 kg_r의 경우 매트 형성 후의 탈수시간이 고해하중 5.6 kg_r에 비해 상당히 느리게 진행되었다. 이는 고해하중 2.8 kg_r의 경우 습지필의 여과특성 정도가 고해하중 5.6 kg_r보다 크다는 것을 의미한다. 이는 고해하중 2.8 kg_r의 경우가 섬유의 파브릴화에 의한 탈수저항성이

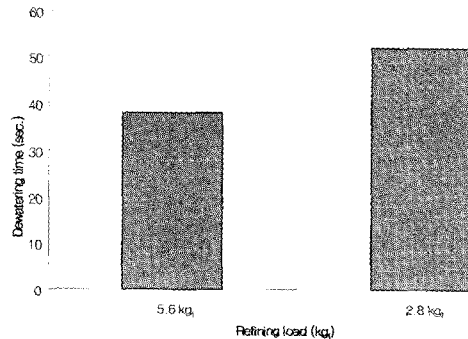


Fig. 7. Drainage time of SwBKP depending on refining load.

더 크기 때문인 것으로 사료된다. 섬유외 피브릴화에 의해 종이의 강도는 증가하지만, 탈수과정에 있어서는 매트를 촘촘하게 형성하기 때문에 탈수속도가 느려지는 것으로 사료된다.

3.5 여수도별 탈수특성

Fig. 8은 고해하중 5.6 kgf에서의 여수도별 탈수성을 나타낸 것이다. 고해가 진행됨에 따라 탈수속도가 느렸다. 이는 고해가 진행됨에 따라 미세섬유의 증가와 섬유의 피브릴화로 인하여 비표면적이 증가하여 탈수저항성(filtration resistance)이 증가하였기 때문에 탈수속도가 느려진 것으로 사료된다. Fig. 9는 여수도별 고해하중에 따른 DI를 나타낸 것으로 고해하중에 따른 탈수성의 차이를 정확한 수치차이로 볼 수 있었다. 여수도 500 mL CSF 구간 까지는 고해하중에 따른 섬유의 피브릴화 정도와 미세분 함량이 크게 증가하지 않았기 때문에 섬유의 특성에 따라 탈수성이 크게 저하되지 않은 것으로 사료된다. 그러나 여수도 400 mL CSF 구간

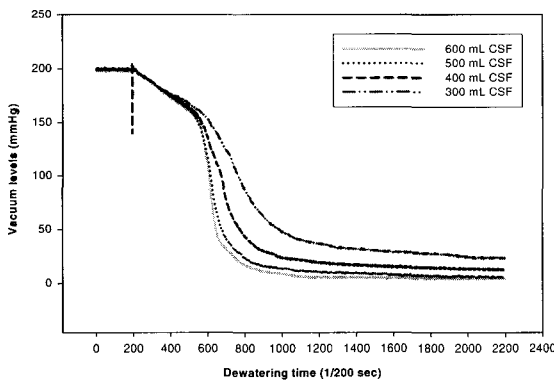


Fig. 8. Drainage curve of SwBKP depending on freeness at 5.6 kgf refining load.

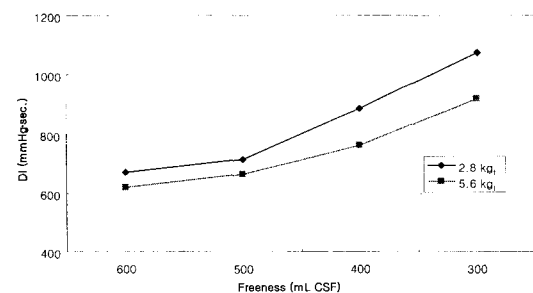


Fig. 9. DI of SwBKP depending on refining load.

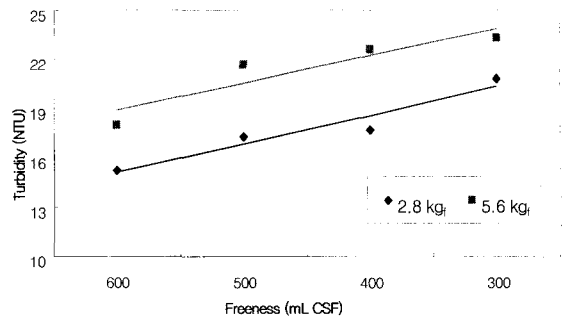


Fig. 10. Turbidity of SwBKP depending on refining load.

에서는 고해하중 5.6 kgf가 고해하중 2.8 kgf에 비해 탈수속도가 빨랐다. 고해하중 5.6 kgf의 경우는 고해하중 2.8 kgf에 비해 미세섬유의 함량이 많음에도 불구하고 탈수속도가 빨랐던 것은, 고해하중 2.8 kgf의 경우가 섬유의 피브릴화에 의한 탈수저항성이 더 크기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 10은 여수도별 고해하중에 따른 백수의 탁도(turbidity)를 나타낸 것이다. 미세섬유는 종이의 물리적 성질 뿐만 아니라 강도적 성질에도 영향을 미치므로 미세섬유의 보류는 아주 중요하다. 고해가 진행됨에 따라 백수의 탁도는 높게 나타났다. 백수의 탁도가 높다는 것은 지료 내에서 미세섬유들이 보류가 되지 못하고 백수로 유출되었다는 것을 의미한다. 고해가 진행됨에 따라 미세섬유의 함량이 증가하기 때문에 백수로 유출된 미세섬유의 함량은 증가하였다.

3.6 평량에 따른 고해하중별 탈수변화

평량의 변화가 탈수성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 0.6%의 동일한 농도조건에서 평량 120, 240, 300 g/m²으로 실험하였다. Fig. 11은 고해하중 5.6 kgf에서의 평량별 탈수성을 나타낸 것이다. 평량이 높을수록 탈수속도는 느리게 나타났다. 이는 평량이 높을수록 탈수되어야 할 물의 양이 많고 습지를 더욱 치밀하게 형성하기 때문에 탈수성은 느리게 나타났다. Fig. 12는 평량별 고해하중에 따른 DI를 나타낸 것으로 습지필의 평량이 높을수록 섬유의 양이 많아 섬유끼리 부딪혀 섬유의 특성이 증폭될 가능성이 많기 때문에 높은 평량에서 낮은 평량에 비해 고해하중 5.6 kgf와 고해하중 2.8 kgf

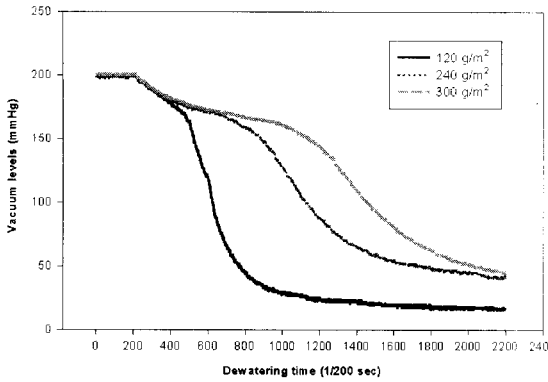


Fig. 11. Drainage curve of SwBKP depending on basis weight at 5.6 kgf refining load.

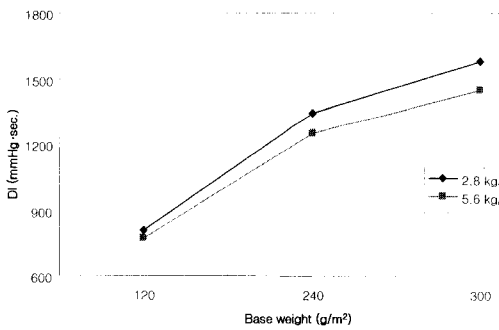


Fig. 12. DI of SwBKP depending on refining load.

사이의 탈수성 차이가 크게 나타났다.

3.7 미세섬유의 함량에 따른 고해하중별 탈수변화

고해의 결과로서 가장 두드러지게 나타나는 것이 지료의 탈수성 변화이다. 고해가 진행될수록 지료의 탈수성이 급격히 떨어진다. 이것은 고해에 의해 생성된 미세성분이 증가한데에 주로 기인하는 것이지만, 외부 및 내부피브릴화에 의해 섬유유 보수성이 커지는 것에도 그 원인이 있다고 알려졌다.⁷⁾ 특히 미세섬유는 높은 수착능력 때문에 탈수성에 큰 영향을 미친다.⁸⁾ Fig. 13은 미세섬유 함량에 따른 DI를 나타낸 것으로 미세섬유가 증가할수록 고해하중에 따른 탈수성의 차이가 크게 나타났다. 동일한 양의 미세섬유가 함유된 상태의 지료에서도 고해하중 2.8 kgf의 지료가 탈수성이 더 느렸

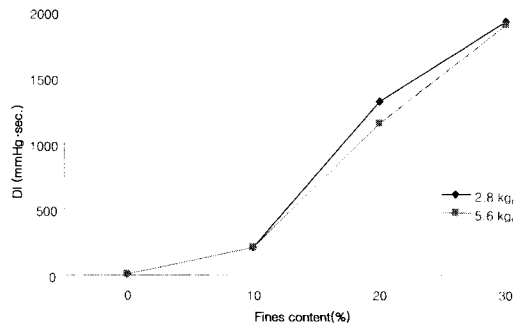


Fig. 13. DI of SwBKP depending on refining load.

다. 이는 동일한 미세섬유의 함량에서도 유연한 섬유일수록 탈수 메커니즘에 의해 탈수속도가 느려진다는 것을 나타낸다. 미세섬유 함량 30% 지료에서는 탈수시간 11초 동안 초기탈수만 발생하여 큰 차이를 보이지는 않았지만, 탈수시간이 더 길어지면 고해하중에 따른 탈수성의 차이는 더욱 크게 일어나리라 사료된다. 이는 고해하중에 따른 섬유의 특성이 탈수와 차이가 있는 것으로 사료된다. 2.8 kgf와 5.6 kgf 하중으로 고해한 경우, 미세섬유를 제거한 후 탈수성을 비교한 결과 미세섬유가 없기 때문에 탈수성의 차이가 없었다. 이는 탈수성을 좌우하는 것은 섬유유가 매트 형성을 하면서 섬유의 특성에 따라 미세섬유를 보류시키는 과정에 의해 좌우된다고 사료된다.

4. 결론

탈수에 영향을 미치는 인자는 초기매트를 형성하는 속도, 형성된 매트의 여과 특성, 플록의 특성(크기, 응집성) 등으로 나타났다. 초기매트를 형성하는 속도를 실험한 결과 고해하중 2.8 kgf의 경우가 고해하중 5.6 kgf에 비해 초기매트를 빠르게 형성하였다. 습지필의 여과특성 정도를 실험한 결과는 고해하중 2.8 kgf의 경우가 섬유의 피브릴화에 의한 탈수저항성이 크기 때문에 여과특성 정도도 우수하였다. 이로 인해 미세분의 보류가 우수하고 탈수속도는 느려지는 것으로 나타났다. 이로 인해 유연한 섬유일수록 피브릴화에 의한 촘촘한 매트를 빨리 형성하는 것을 알 수 있었다. 또한, 고해하중 2.8 kgf의 경우 섬유유가 유연하고 섬유유장이 길기 때문에 섬유

끼리 응집할 가능성이 많아져서 섬유의 플록크기도 크고 응집강도 또한 크게 나타났다. DI를 통하여 지료의 탈수성을 용이하게 비교할 수 있었다. 정에서 미세분의 보류를 달리하기 때문에

인용문헌

1. Blanco A., Negro C. and Tijero J., Developments in flocculation. Pira International, pp.95-99 (2001).
2. Kerekes, R. J. and Schell, C. J., Effects of fiber length and coarseness on pulp flocculation, Tappi. J. 78(2):133-139 (1995).
3. Youn, H. J. and Lee, H. L., An experimental investigation of the effect of pulp types, mechanical treatments and crill contents on fibre network strength, Proceeding of the IAWPS 2003, pp.577-587.
4. 조중연외, 지료화학, 용인송담대학 출판부, pp. 277-323 (2000).
5. 장현성, 박종문, 2단고해에 의한 종이의 물성변화, J. Korea Tappi, 36(2): 1- 9(2004)
6. 이운구, 신동소, 탈목펄프 고해시 고해하중이 재생지의 물리적 성질에 미치는 영향, J. Korea Tappi, 27(1):7-13 (1995).
7. 조헌정 외, 펄프제지공학, 선진문화사, pp.203-456 (1997).
8. Htun, A.J. and Deruvo, A. The Implication of the Fines Fraction for the Properties of Bleached Kraft Sheets., Svensk Papperstidn. 16:507 (1978).