

지료의 응집 특성과 지합에 관한 연구

Flocculation & Formation - the action and effect

이학래, 윤혜정, 이상길, 정영빈

서울대학교 산림과학부 환경재료과학전공

1. 서론

일반적으로 지합은 생산되는 종이의 품질을 나타내는 가장 중요한 특성 중에 하나이다. 지합은 국부적인 평량 변화로 정의하는데 전체 종이에서의 섬유 간 결합의 균일한 정도를 나타내며 종이의 물리적·화학적 성질 변화로 귀결된다. 그 차이로 인하여 외관상의 특성에서부터 다양한 물리적 물성과 공정 내의 지절, 후처리 공정에 이르기까지 다양한 부분에서 효과가 나타난다. 지합은 지료의 원료적인 특성뿐 아니라 초지기의 종류, former 종류, 헤드박스 내 지료 농도와 응집 경향, 탈수, 보류, 지료 내 속도 차로 인한 전단력, 테이블 거동 등의 초지공정의 변화에 따라 달라진다.¹⁾⁻³⁾ 특히나 헤드박스 내에서 응집특성은 지합에 직접적인 영향을 미치며 이러한 응집특성은 헤드박스 농도나 지료의 조도, 평균섬유장등의 원료적 특성, 전단력의 크기 등에 영향을 받는다. 그 중 헤드박스 내에 있는 지료의 응집 경향은 초기 지합 형성에 가장 직접적인 영향을 미치는 인자라고 할 수 있다.

헤드박스 농도는 생산되는 지종과 원료에 따라 바뀌게 된다. 예를 들어 섬유의 평균 섬유장이 긴 침엽수 펄프를 사용하는 경우에는 헤드박스 농도가 0.3%이하로 조절되기도 하며 평균 섬유장이 짧은 기계펄프의 함량이 높은 경우에는 헤드박스 농도가 1%이상인 되기도 한다. Kerekes와 Schell은 응집 경향에 대한 수치화를 위해 Crowding Number라는 개념을 소개한 바 있다.⁴⁾ Crowding Number란 평균 섬유장을 지름으로 하는 원 안에 있는 섬유 숫자를 말하는 것으로, 이에 따르면 농도, 섬유장, 조도가 응집에 영향을 미치는 인자이다. 이러한 지료의 Crowding Number는 원료의 응집 특성을 잘 나타내 주는 것으로 알려져 있다.^{5),6)}

본 연구에서는 원료의 농도와 Crowding Number에 따른 응집 특성을 파악하

고 원료의 응집특성이 종이의 지합에 미치는 영향을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

펄프는 UKP, AOCC, KOCC를 사용하였다. AOCC는 K사의 현장지료를 사용하였고, KOCC는 K사에서 생산한 종이를 해리하여 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 지료조성

UKP는 해리한 뒤 지료를 조성하고 실험실용 Valley beater를 이용하여 TAPPI standard method T200 om-89에 준하여 여수도 440mL CSF, 여수도 335mL CSF가 되도록 고해하였다. KOCC지료는 실험실용 Disintegrator를 이용하여 농도 5%, 50,000 rev.의 조건으로 해리하여 장섬유, 단섬유 및 미세분을 모두 포함한 지료를 조성하였고 진동 스크린을 이용해 분급하여 200mesh 스크린을 통과한 미세분과 50mesh 스크린을 통과하지 못한 장섬유만을 사용하여 해리만한 지료의 섬유장의 길이를 동일하게 만든 지료를 제조하였다. AOCC는 KOCC와 같은 방법으로 지료를 조성하였다.

2.2.2 수초지 제작

수초지는 평량 90 g/m²로 제조하였다. 농도에 따른 응집특성을 분석하기 위해 RDA를 사용하여 0.3%-0.9%까지 농도를 달리하여 종이를 제작하였다. 수초지 농도는 약 0.03%이다.

2.2.3 섬유장 및 조도 측정

섬유장 및 조도는 Kajaani FiberLab Fiber Analyzer로 측정하였다.

2.2.4. 응집거동 측정

응집거동은 2D-F sensor(Techpop사)를 이용하여 formation index (L.T. value)를 측정하였다.

2.2.5. 수초지 물성측정

TAPPI Test method T402 sp-98에 따라 온도 23 ± 1.0 °C, 상대습도 50 ± 2.0 %에서 24시간 조습처리 하고 인장강도는 TAPPI standards T 494 om-96에 의거하여 평가하였다. 지합의 측정은 2D-F sensor(Techpop사)를 이용하여 formation index (L.T. value)를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 농도에 따른 응집 특성

Fig. 1은 농도에 따른 응집 특성을 나타내고 있다. Formation energy 값이 클수록 응집이 잘 일어남을 의미한다. 농도가 증가할수록 섬유응집이 급격히 일어남을 알 수 있다. 평균 섬유장의 길이가 긴 UKP가 AOCC나 KOCC에 비해 더욱 응집이 잘 일어난다. 그러나 UKP를 고해하여 섬유장이 짧아지고 미세분 함량이 증가하면 섬유의 응집이 감소하게 된다. 기존 연구에 따르면 고해를 실시하면 생산되는 종이의 지합이 향상되는데 이는 섬유장이 감소하면서 응집체의 크기가 줄어들고 Crowding Number가 감소하기 때문이다.^{4),7)} 따라서 비교적 섬유장의 길이가 짧은 AOCC나 KOCC는 UKP에 비해 응집 능력이 떨어진다. 그러나 농도에 따라 응집이 선형으로 나타나는 것이 아니라 0.3%지점을 기점으로 응집이 감소함을 알 수 있는데 이는 농도가 낮은 지점에서는 섬유들이 서로 응집을 일으키지 않고 단순히 섬유의 양이 증가함에 따라서 Formation energy값이 증가하고 0.3% 지점을 기점으로 응집이 시작되어 원료의 특성에 따라서

Formation energy가 달라지는 것으로 판단된다. 전체 자료중 장섬유분만의 농도에 따른 응집특성을 보면 원료에 상관없이 장섬유분 함량이 증가함에 따라서 Formation energy가 증가하는 것을 알 수 있는데 장섬유분 함량이 응집에 영향을 미치지 때문이다. 그러나 장섬유분만의 농도에 따른 응집특성도 농도가 0.3%를 넘게 되면 응집특성이 0.3%이전과는 약간 다른 경향을 보이는데 이는 천연펄프인 UKP와 재생펄프인 AOCC, KOCC가 서로 다른 응집 특성을 가지기 때문으로 판단된다. 또한 동일한 농도와 동일한 섬유장을 가지고 있을 지라도 장섬유 함량이 줄어들면 자료의 응집이 감소함을 알 수 있다. 따라서 자료의 응집은 장섬유분의 농도와 펄프의 특성에 따라 달라진다고 할 수 있다.

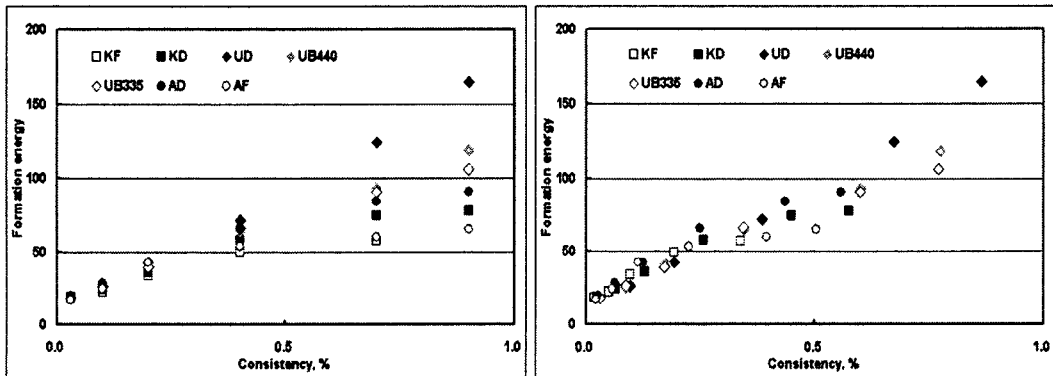


Fig. 1. Flocculation tendency of stocks as a function of entire stock consistency & long fiber consistency (K = KOCC, U = UKP, A = AOCC, F = Fractionation, D = Disintegration, B = Beating)

3.2 Crowding Number에 따른 응집 특성

Fig. 2는 Crowding Number에 따른 응집특성을 나타낸 것이다. Kerekes와 Schell은 특성이 서로 다른 펄프에서도 Crowding Number가 같으면 비슷한 응집특성을 나타낸다고 보고하였다.⁴⁾ 그러나 천연펄프인 UKP와 재생펄프인 AOCC, KOCC는 Crowding Number에 따라 전혀 다른 응집특성을 나타내었다. UKP의 경우 Crowding Number가 증가함에 따라서 자료의 응집도 선형적으로 증가하였다. 그러나 재생펄프인

AOCC, KOCC는 Crowding Number가 30을 넘지 않을 경우에는 응집이 선형적으로 일어났지만 30이 넘으면 UKP와는 다른 응집 특성을 보인다. 또한 장섬유분만을 가지고 계산된 Crowding Number에 따른 응집특성에서도 UKP의 경우 Crowding Number가 증가함에 따라서 지료의 응집도 선형적으로 증가하였으나 재생펄프인 AOCC, KOCC는 응집이 증가하다가 일정해지는 경향을 보였다. 천연펄프인 UKP와 달리 재생펄프인 AOCC, KOCC는 Crowding Number가 30이 넘으면 섬유 응집의 증가가 서서히 줄어들지만 UKP는 Crowding Number가 200이 되어도 섬유의 응집은 꾸준히 지속된다. 또한 동일한 Crowding Number이고 동일한 원료와 섬유장을 가지더라도 장섬유분 함량이 낮으면 농도의 경우와 마찬가지로 섬유의 응집이 감소함을 알 수 있다.

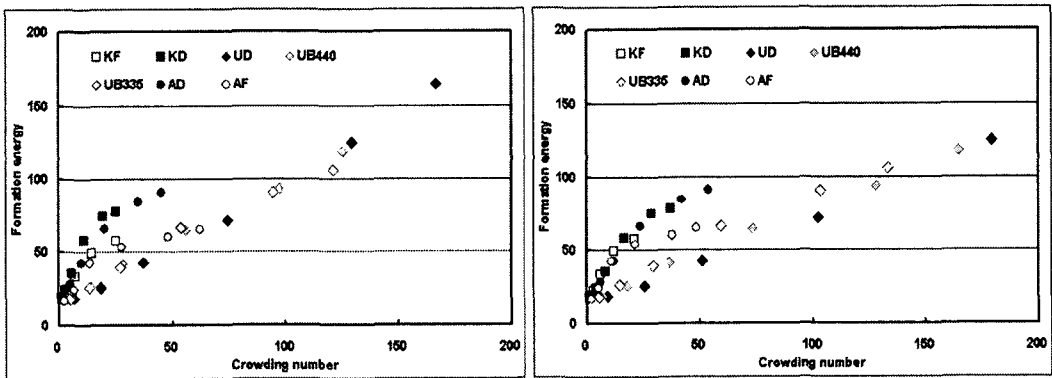


Fig. 2. Flocculation tendency of stocks as a function of crowding number calculated entire stock & long fiber. (K = KOCC, U = UKP, A = AOCC, F = Fractionation, D = Disintegration, B = Beating)

3.3 응집 특성이 종이의 물성에 미치는 영향

Fig. 3은 농도에 따른 종이의 지합을 나타내었다. 모든 지료에서 농도가 증가함에 따라서 지합은 악화되었다. 지료의 특성에 따라서 지합의 악화 정도는 달랐으나 서로 다른 원료일지라도 장섬유분의 농도에 따라 지합의 악화 경향이 뚜렷이 나타났다. 즉 종이의 지합에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 장섬유함량이라 판단된다. Fig. 4는 Crowding Number에 따른 종이의 지합을 나타내었다. Crowding Number가 50까지는

모든 원료에서 지합이 감소하였고 Crowding Number가 50이 넘으면 지합은 더 이상 악화되지 않았다. 재생 펄프인 AOCC, KOCC는 비슷한 경향을 보였고 UKP는 고해 정도에 따라서 상이한 결과를 보였다. 실험실적인 방법으로 종이를 제조할 경우 농도가 0.5%이상으로 높아질 경우 실제 초지기와는 달리 전단력이 매우 약해 실제 종이에 나타난 응집 특성을 현실적으로 발현하기 힘들기 때문에 실험실적인 방법으로 고농도에서 제조된 종이의 경우 더 이상 지합이 악화되지 않는 것으로 판단된다. Fig. 5는 지합에 따른 종이의 인장강도를 나타내었다. 모든 원료에서 지합이 악화되면 인장강도는 감소하였다. 동일한 지합 지수를 나타낸다 할지라도 원료적 특성에 따라서 제조된 종이는 상이한 강도를 가지며 동일한 섬유장과 동일한 농도를 가지더라도 분급하여 조성된 지료로 제조된 종이의 강도가 약간 높게 나타났다. 이는 미세분의 영향이라고 판단되는데 AOCC, KOCC는 미세분 함량이 매우 높기 때문에 강도에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 미세분에 포함된 회분은 강도에 부정적인 영향을 하고 AOCC, KOCC는 회분 함량이 15-20%로 매우 높기 때문에 미세분에 의한 종이강도 증가는 미미하게 나타난 것으로 판단된다.

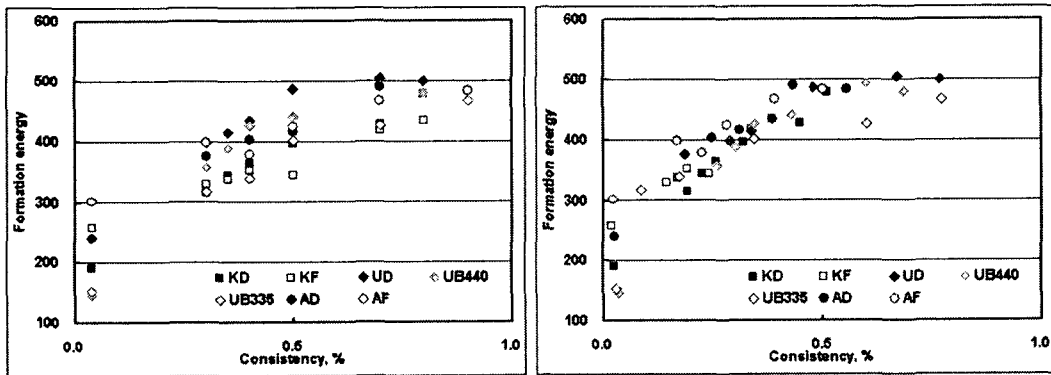


Fig. 3. Formation energy of handsheet as a function of entire stock consistency & long fiber stock consistency.

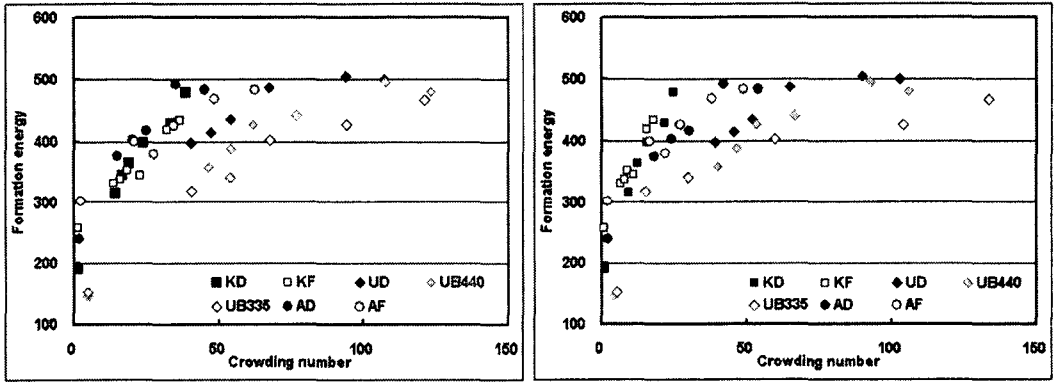


Fig. 4. Formation energy of handsheet as a function of crowding number of entire stock & long fiber stock.

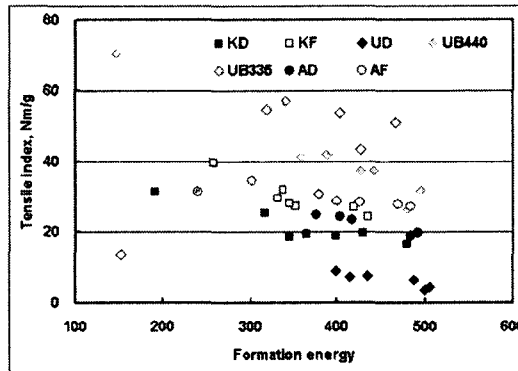


Fig. 5. Tensile index as a function of formation energy of handsheet.

4. 결론

본 연구에서는 원료의 농도와 Crowding Number에 따른 응집 특성을 파악하고 원료의 응집특성이 종이의 지합에 미치는 영향을 살펴보았다. 지료의 농도가 증가함에 따라 응집은 급격히 일어났으며 원료의 종류에 따라서 응집의 정도는 다르게 나타났다. 그러나 장섬유분의 함량이 지료의 응집에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 천연 펄프인 UKP의 경우 고해를 하여도 Crowding Number가 증가함에 따라 응집 특성이 증가하였으나 재생 펄프인 AOCC, KOCC는 Crowding Number가 증가함에 따

라 응집이 증가하다가 Crowding Number가 30을 넘으면 응집의 증가 양상이 감소하였다. 또한 지료의 농도가 증가하면 종이의 지합은 악화되며 동일한 지합 지수를 나타낸다 할지라도 원료의 특성에 따라 다른 강도 값을 보인다. 결론적으로 모든 원료의 경우 응집 특성은 장섬유 함량에 영향을 받으며 동일한 원료의 경우 Crowding Number에 따라 응집 특성을 파악할 수 있으나 원료적 특성이 다른 경우 Crowding Number 만으로 응집 특성을 판단하는 것은 불가능하다. 동일한 원료로 동일한 평량으로 제조된 종이 일지라도 지합이 악화됨에 따라 강도가 감소하는 것은 매우 분명해 보이며 회분함량이 높은 미세분이 종이의 강도에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 산업자원부의 지원에 의해 수행되었음. 일부 BK21 핵심사업의 지원을 받았다.

인용문헌

1. Ahmed A. Ibrahim and Yaser A. Ibrahim, A practical look at how to improve sheet formation in the headbox/approach piping systems, 1997 Engineering & Papermakers conference ; p85-95
2. Mal Condon, Mechanical aspects of forming and formation, A current review, 1996 Papermakers conference ; p253-273
3. Ari J. Kiviranta, Fiber and forming-related mechanisms affecting formation, 1996 Papermakers Conference, pp. 239-45
4. Kerekes, R., and Schell, C., Characterization of fibre flocculation regimes by a crowding factor, Journal of Pulp and Paper Science 18(1) : J32-38 (1992).
5. A. Kiviranta and C.T.J. Dodson, Evaluating fourdrinier formation performance, Journal of Pulp and Paper Science 21(11) : J379-382 (1995).
6. C.T.J. Dodson and C. Schaffnit, Flocculation and orientation effects on paper-formation statistics, TAPPI Journal (1) ; p167-171 (1992).
7. Kerekes, R., and Schell, C., Effect of fiber length and coarseness on pulp flocculation, TAPPI Journal 78(2) ; p133-139 (1995)