

탁도 측정을 통한 지료의 응집거동 평가

이지영*¹ · 윤혜정 · 이학래[†]

(2008년 10월 13일 접수: 2008년 11월 26일 채택)

Evaluation of Stock Flocculation Phenomena Based on Turbidity Measurement

Ji Young Lee,*¹ Hye Jung Youn, and Hak Lae Lee[†]

(Received October 13, 2008; Accepted November 26, 2008)

ABSTRACT

Flocculation phenomena of the stock mixed with cellulosic fibers, fillers and polymers were investigated by a new turbidity measurement system consisted of a probe-type turbidimeter, data acquisition system and computer. The probe-type turbidimeter allowed to measure the real time flocculation of the stock induced by single polymer and microparticle systems. Flocculation phenomena were evaluated by average and final relative turbidity indices. Turbidity and flocculation showed inverse relationship, i.e. the turbidity decreased with the formation of flocs. Relative turbidity of the stock treated with microparticle system was lower than that of the stock containing single polymer system, which indicated that the microparticle system showed greater floc forming efficiency than single polymer system.

Keywords : flocculation phenomena, turbidimeter, relative turbidity, single polymer, microparticle

1. 서 론

헤드박스에서 사출된 지료는 와이어상에서 보류 및 탈수 작용을 통하여 지필이 형성된다. 이러한 지층형성 과정은 보류도 및 탈수성과 직결되어 있으며 이는 다시 지료의 응집거동과 연관되어 있다. 지료의 응집에 따라 섬유 미세분이나 충전제의 보류가 발생하며 응집을 통

해 형성된 습지필의 공극은 탈수 현상에도 영향을 미친다. 이러한 응집현상은 초지조건에 따라 적절히 조절되어야 한다. 이는 과도한 응집을 통해 보류도 및 탈수성 향상을 꾀하다 보면 생산된 종이의 지합악화에 따른 종이 강도 저하와 같은 역효과를 초래할 수 있기 때문이다. 따라서 보류도와 탈수성과 같은 공정조절 변수들과 생산된 종이의 품질을 적정한 수준으로 유지하기 위해

• 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 및 농업생명과학연구원(Dept. of Forest Science, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National Univ. Seoul, 151-921, Korea)

*1 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Forest Products/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: lhakl@snu.ac.kr

서는 웻앤드에서 지료의 응집거동을 정확하면서도 신속하게 평가는 것이 중요하다.

일반적으로 충전제나 섬유의 응집거동을 평가할 때는 고분자 첨가에 따른 지료의 특성변화를 측정한다. 고분자 첨가에 따라 나타날 수 있는 지료의 특성변화에는 국부적인 농도 변이, 지료의 점도 변화¹⁾, 광산란이나 광투과율 변화²⁾와 응집체의 크기 변화³⁾등이 있다. 이러한 고분자 첨가 전·후에 지료의 특성변화를 측정함으로써 고분자에 의한 응집거동을 평가할 수 있다. 또한 고분자 첨가에 따라 변화되는 지료의 이미지를 얻고 이를 분석하여 응집여부를 평가하기도 한다⁴⁾. 그러나 이렇게 다양한 응집 측정 방식 중에서 광투과율이나 광산란 정도를 반영하는 탁도를 통한 응집거동 평가법이 상대적으로 간단하고 빠르게 응집여부를 평가할 수 있는 방법이라 판단된다.

본 연구에서는 지료의 탁도변화를 통해 지료의 응집거동을 평가하고자 하였다. 이를 위해 응집평가 시 상대탁도⁵⁾와 평균 상대탁도의 개념을 도입하여 지료와 고분자간의 반응시간에 따른 지료의 응집현상을 실시간으로 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

공시 펄프로는 활엽수 BKP를 사용하였다. 활엽수 BKP를 450±10 mL CSF의 여수도를 갖도록 실험실용 벨리비터를 이용하여 고해하였다. 고해된 펄프는 지료의 농도가 0.5%가 되게 희석하였다.

충전제로는 중질탄산칼슘을 사용하였다. 본 실험에 사용된 중질탄산칼슘의 고형분은 59.5%였으며, 증류수를 이용하여 고형분 10%가 되도록 희석하고, Malvern사의 MasterSizer 2000을 이용하여 입도를 측정하였다. 그 결과 충전물의 평균입도가 1.17µm이었다.

본 연구에서는 두 종류의 양이온성PAM을 응집제로 사용하였다. 사용된 양이온성 PAM은 상대적으로 저분자량, 고전하밀도인 coagulant의 성질을 갖는 C-PAM1과 고분자량, 저전하밀도인 flocculant의 성질을 갖는 C-PAM2를 사용하였다 (Table 1). 마이크로 파티클로는 벤토나이트를 사용하였다. 고분자의 농도가

Table 1. Viscosity and charge density of C-PAMs and bentonite

	Viscosity (cPs, 0.5%, 25 °C)	Charge density (meq/g, pH 5.9, 0.01%)
C-PAM1	388	3.1
C-PAM2	493	1.7
Bentonite	-	-0.2

상당히 높을 경우 점도가 높아 투입되었을 때 신속히 분산이 이루어지지 않아 시간에 따른 탁도 변화를 측정하기 어렵기 때문에 고분자의 분산이 용이하게 이루어질 수 있도록 두 종류의 C-PAM은 0.1%의 농도로, 벤토나이트는 0.5%로 희석하여 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 실시간 응집 측정장치

실시간 응집 측정장치를 프로브(probe) 타입의 탁도계를 이용하여 구성하였다. 프로브 타입의 탁도계는 탁도를 측정하는 프로브와 측정된 탁도를 전기신호로 변환시켜 주는 transmitter로 구성되어 있다. 프로브 타입의 탁도계는 측정하고자 하는 샘플에 바로 적용하여 측정이 가능하기 때문에 실시간 탁도 측정에 유용하나 일정 규격을 갖춘 프로브 케이스가 필요하다. 프로브 케이스는 외부의 빛을 완전히 차단시킬 수 있는 무광의 검은색을 띠는 것이어야 하고 프로브가 케이스의 벽면과 바닥면에서 일정한 거리를 둘 수 있는 규격을 가져야 한다. 또한 응집 측정에 사용되기 위해서는 지료가 내부에서 혼합될 수 있도록 원형에 가까운 형태를 가져야 한다. 이러한 조건들을 충족시키기 위해서 Fig. 1에 도시된 것과 같이 무광의 검은색 아크릴로 정팔각형의 횡단

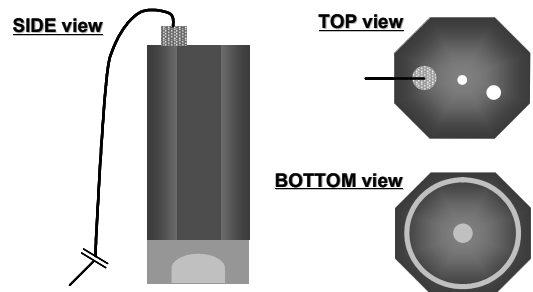


Fig. 1. Turbidity measurement equipment.

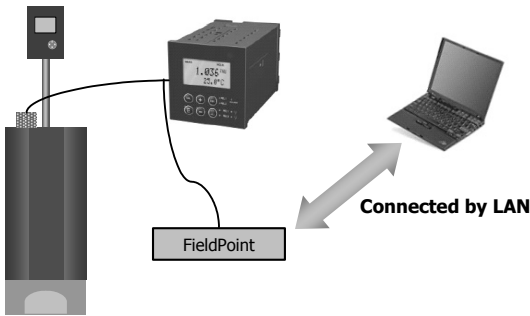


Fig. 2. Data acquisition from the turbidity measurement.

면을 갖는 프로브 케이스를 제작하였다. 그리고 프로브는 앞면에서 보았을 때 교반기 왼쪽에 위치하도록 하여 교반기에 의해 지료가 교반되면서 탁도가 측정되게 하였다.

실시간 응집 측정 시스템은 위에서 언급한 탁도계와 탁도계 케이스 뿐만 아니라 측정된 탁도신호를 얻을 수 있는 data acquisition system인 LabVIEW 소프트웨어와 transmitter에서 발생된 전류를 디지털 신호로 변환시켜 주는 FieldPoint로 구성되어 있었다 (Fig. 2).

2.2.2 응집현상 평가

본 연구에서는 고분자가 투입된 후 반응시간에 따른 지료의 탁도변화를 측정하였다. 측정된 탁도를 이용하여 지료의 응집현상을 상대탁도 (relative turbidity)를 도입하여 평가하였다. 상대탁도는 고분자가 투입된 후 지료의 탁도를 고분자가 투입되기 전에 측정된 지료의 평균탁도로 나누어 계산되었다. 상대탁도를 적용하면 조금씩 차이가 있는 초기 탁도값을 일정한 값으로 변환하여 고분자가 투입되기 전의 값을 일정한 상대탁도로 하여 고분자 종류나 투입량 변화에 따른 응집효과에 대한 상호비교가 가능하다. 본 연구에서는 고분자 투입 후 응집변화를 조사하여 고분자의 투입에 따른 응집현상을 해석하고자 하였다.

응집형성과 정도는 일반적으로 응집지수 (flocculation index)를 사용하여 나타낸다. 응집지수는 응집체 크기가 증가함에 따라 증가한다. 본 연구에서는 상대탁도를 이용하여 응집을 평가했기 때문에 응집체의 크기와 비례관계를 갖는 응집지수를 사용할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 응집지표로서 평균 상대

탁도(average relative turbidity; RTa)를 도입하여 응집을 평가하였다. 평균 상대탁도는 일정시간 측정된 상대탁도의 평균값을 의미한다. 평균 상대탁도는 상대탁도와 마찬가지로 응집이 형성됨에 따라 감소하는 값으로 응집체의 크기와 음의 상관관계를 가지고 있었다. 또한 응집현상을 대표하는 값으로 최종 상대탁도 (final relative turbidity; final RT)를 사용하였다. 최종탁도는 탁도측정이 종료된 시점의 탁도값으로 최종 응집효과를 반영하였다.

2.2.3 실험조건 및 실험방법

프로브 타입 탁도측정기를 이용하여 단일 고분자 시스템과 마이크로 파티클 시스템의 응집효과를 평가하였다. Probe 타입 탁도측정기의 장점은 교반속도를 변화시킴과 동시에 탁도의 실시간 측정이 가능하다는 것이다. 이러한 장점은 마이크로 파티클 시스템과 같이 교반속도를 변화시켜야 하는 첨가제 시스템을 적용할 때 특히 유리한 특성이 있다. 기존의 응집 평가방식은 마이크로 파티클 시스템 적용 시 고분자와 마이크로 파티클이 투입된 후의 응집만을 평가하였지만 본 응집 측정장치는 모든 과정을 탁도를 통해 평가할 수 있었다.

단일고분자 시스템 적용 시 충전제를 섞음 대비 20% 투입한 후 초기 탁도의 안정화를 위하여 600 rpm의 속도로 일정시간 동안 교반하고 고분자를 투입하였으며 이후 5분 동안 탁도를 측정하였다. 마이크로 파티클 시스템의 경우 충전제를 투입한 후 초기 탁도의 안정화를 위해 500 rpm으로 일정 시간 동안 교반한 후 교반속도를 900 rpm으로 변화시키는 동시에 고분자를 투입하여 1분 동안 탁도를 측정하였다. 이후 교반속도를 500 rpm으로 변화시킴과 동시에 마이크로 파티클을 투입하였고 4분 동안 탁도를 측정하였다. 탁도계의 transmitter에서 컴퓨터로 신호를 보내는 시간간격은 200 ms로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단일 고분자 시스템에 따른 혼합지료의 응집 평가

고분자의 투입량에 따른 지료의 상대탁도 변화를 Fig. 3에, 평균 상대탁도를 Table 2에 나타내었다. 고분

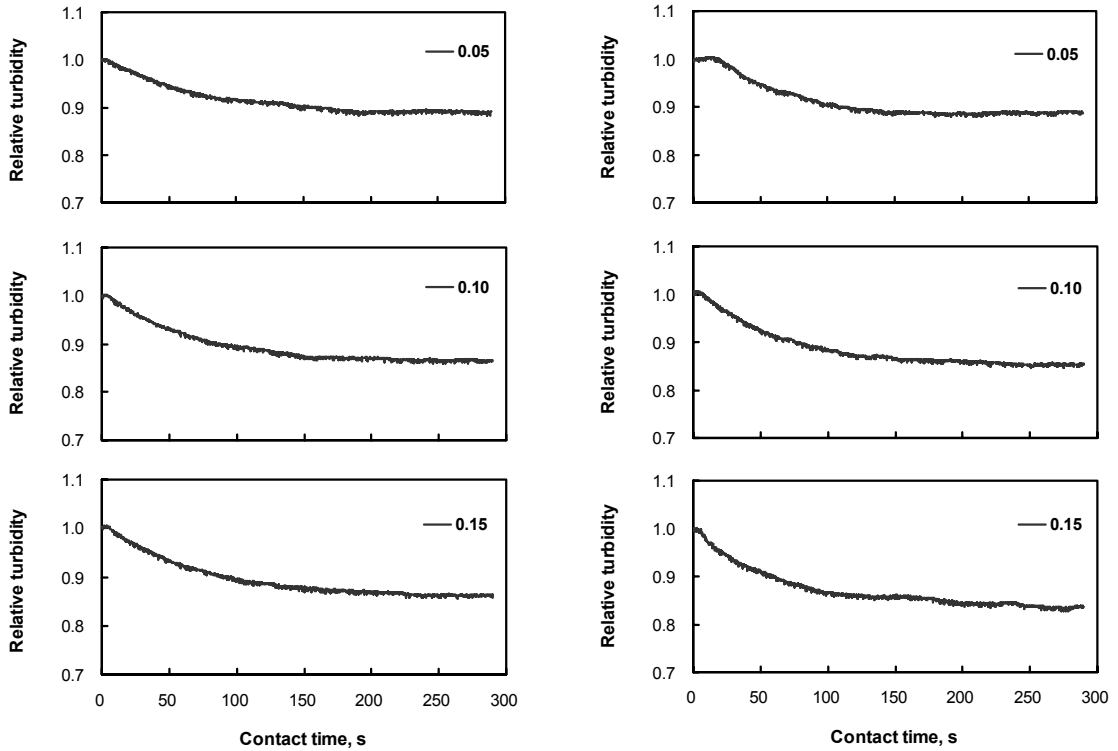


Fig. 3. Relative turbidity of stock as a function of C-PAM1(left) and C-PAM2(right) dosage.

자 전해질이 투입됨에 따라 상대탁도가 감소하였다. 감소경향은 반응시간이 약 100초 정도까지 지속되었으며 이후에는 거의 변화가 없었다. 양이온성 고분자가 투입됨에 따라 섬유 혹은 충전제 표면에 고분자의 흡착과 이에 따른 응집이 발생하여 상대탁도가 감소하지만 투입된 고분자의 응집력이 모두 발현되면 더 이상 응집체가 커지지 않기 때문에 상대탁도가 거의 변화하지 않았다. 두 종류의 양이온성 PAM을 비교해보면 상대탁도는 거의 차이가 없었다. 하지만 평균 상대탁도와 최종탁도를 살펴보면 투입량이 증가함에 따라

C-PAM2의 상대탁도가 더 낮게 나타났다(Table 2). 즉, 상대적으로 분자량이 더 높고 전하밀도가 낮은 C-PAM의 경우가 약간 큰 응집체를 형성하는 것으로 생각된다.

3.2 마이크로 파티클 시스템에 따른 혼합 지료의 응집 평가

마이크로 파티클 시스템 적용에 따른 상대탁도 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 이 때 결과에서 나타낸 시간은 교반시간을 의미한다. 전술한 바와 같이 교반이 진행되는 동안 교반속도가 변화되었다. 교반시간이 30초가 될 때 교반속도를 500 rpm에서 900 rpm으로 증가시키고 동시에 양이온성 PAM을 투입하였다. 이 순간 상대탁도가 급속히 감소하였고 이 후 60초가 지난 후에 교반속도를 다시 500 rpm으로 감소시키고 동시에 벤토나이트가 투입되었다. 벤토나이트의 투입과 함께 상대탁도가 크게 감소하였다. 동일한 양이온성 PAM의 투입량에서 마이크로 파티클 시스템에 의한 상대탁도 저하가 단일 고분자 시스템에 비해 더 크게 나타났다. 이

Table 2. RTa and final RTa of stock as a function of C-PAM dosage

C-PAM dosage (% on O.D. fibers)		0.05	0.10	0.15
RTa	C-PAM1	0.91	0.89	0.89
	C-PAM2	0.91	0.89	0.87
Final RTa	C-PAM1	0.89	0.86	0.86
	C-PAM2	0.89	0.85	0.84

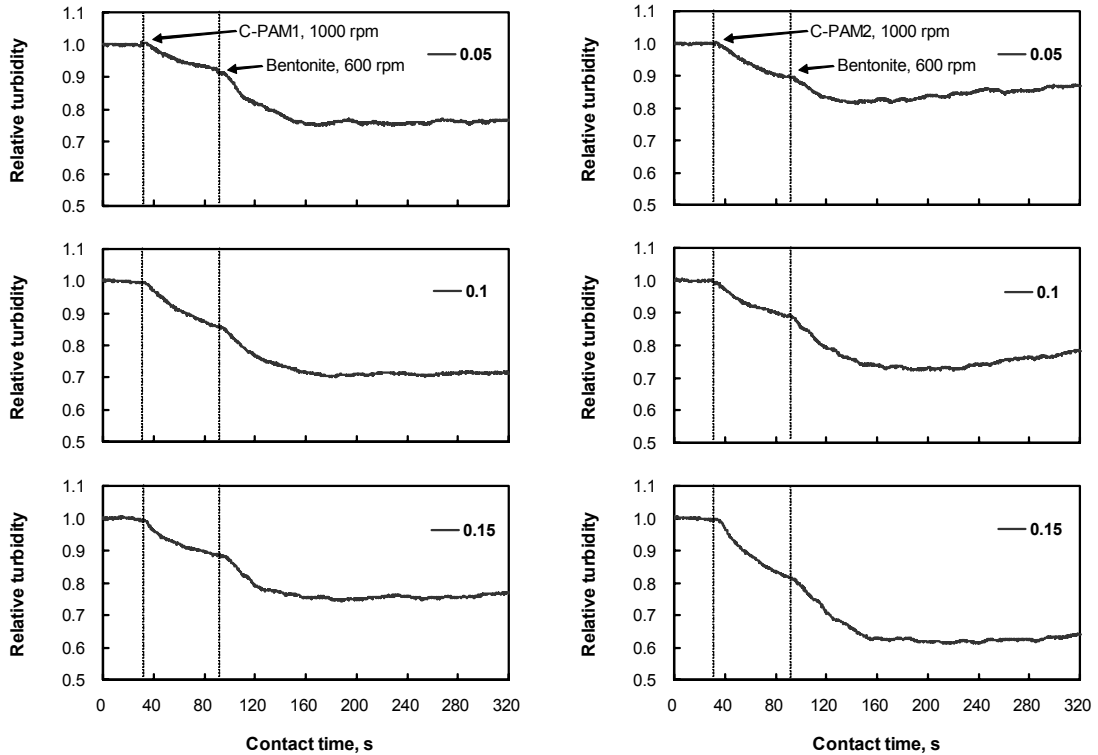


Fig. 4. Relative turbidity of stock as a function of C-PAM1(left) and C-PAM2(right) dosage.

는 마이크로 파티클 시스템이 더 우수한 응집효과를 가진다는 것을 뜻한다⁶⁾고 생각된다. 또한 두 종류의 양이온성 PAM을 비교해 보면 단일 고분자 시스템 적용 시에는 거의 차이를 보이지 않았으나 마이크로 파티클의 경우에는 고분자 투입량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 0.15% 투입량에서 상대적으로 분자량이 큰 C-PAM2에 의한 상대탁도 저하가 C-PAM1에 비해 더 높은 것을 볼 수 있었다. 최종 상대탁도도 이와 동일한 결과를 나타내었다 (Table 3). 이러한 결과는 상대적으로 분자량이 큰 C-PAM2가 C-PAM1에 비해 더 큰 응집체를 형성한다는 것을 보여준다.

Table 3. Final RTa of stock as a function of C-PAM dosage

C-PAM dosage (% on O.D. fibers)		0.05	0.10	0.15
Final RT	C-PAM1	0.76	0.71	0.76
	C-PAM2	0.87	0.79	0.64

4. 결론

프로브 타입의 탁도계를 이용한 실시간 응집측정 시스템을 고안하였다. 탁도계를 바로 치료에 적용하여 양이온성 고분자의 투입에 따른 치료의 탁도변화를 거의 실시간으로 측정하였다. 응집 평가 시에는 상대탁도를 도입하여 평균 상대탁도와 최종 상대탁도를 측정하여 단일고분자와 마이크로 파티클 시스템을 적용한 경우 활엽수 BKP와 중질탄산칼슘이 혼합된 치료의 응집거동을 평가하였다.

양이온성 고분자 첨가에 따른 치료의 응집현상을 상대탁도와 평균 상대탁도의 감소를 통하여 판단하였다. 그 결과 단일 고분자 시스템의 경우 투입량이 증가함에 따라 상대탁도가 감소되었으나 그 감소폭이 낮았다. 단일고분자 시스템 적용 시에는 양이온성 PAM에 따른 응집 특성의 차이를 거의 볼 수 없었으나 마이크로 파티클 시스템 적용 시에는 분자량이 클수록 응집효과가 증대되는 것을 확인하였다. 동일한 양이온성 고분자의 투

입장에서 마이크로 파티클 시스템을 적용할 경우가 단일 고분자 시스템에 비해 더 낮은 상대탁도를 얻을 수 있었다. 이는 마이크로 파티클 시스템이 단일 고분자 시스템에 비해 응집형성에 더 우수함을 보여 주는 것으로 판단하였다.

사 사

본 연구는 청정생산사업의 지원에 의해 수행되었음.
일부 BK21 핵심사업의 지원을 받았음.

인용문헌

1. Hubbe, A. M. and Wang, F. : Where to add retention aid: issues of time and shear. *Tappi J.* 1(1): 28-33 (2002).
2. Burgess, S. M., Curley, E. J., Wiseman, N. and Xiao, H. : On-line optical determination of floc size. Part I: Principles and Technique. *J. Pulp & Paper Sci.* 28(2): 63-65 (2002).
3. Blanco, A., Fuente, E., Negro, C., Monte, C. M., and Tijero, J. : Focused beam reflectant measurement as a tool to measure flocculation. *Tappi J.* 1(10): 14-20 (2002).
4. Huber, P., Pierre, C., Bermond, C. and Carré, B. : Comparing the fiber flocculation behavior of several wet-end retention systems. *Tappi J.* 3(4): 19-24 (2004).
5. Ovenden, C. and Xiao, H. : Flocculation behavior and mechanisms of cationic inorganic microparticle/ polymer systems. *Colloids and Surfaces* 197: 225-234 (2002).
6. Swerin, A., Sjödin, U. and Ödberg, L. : Flocculation of cellulosic fibre suspensions by model microparticle retention aids systems. *Nordic Pulp & Paper Reserch J.* 1: 22-29 (1996).