

탁도를 통한 지료의 농도 평가 기술에 대한 연구

이 학 래¹⁾ · 윤 혜 정¹⁾ · 이 지 영¹⁾ · 모 규 열¹⁾ · 송 봉 근²⁾

¹⁾서울대학교 임산공학과 · ²⁾한국화학연구원 펄프제지연구센터

1. 서 론

과거에는 지료의 농도와 초지공정의 보류도는 헤드박스과 백수 사일로에서 채취한 시료를 이용하여 실험실적으로 평가하였으나, 근래 들어 초지설비가 고속화, 대형화됨에 따라서 이러한 방법으로는 효율적인 공정 컨트롤이 불가능하게 되었다. 따라서 현대식 초지 시스템에서 효과적으로 wet end를 제어하기 위해서는 농도와 보류도의 실시간 측정 및 제어기술이 활용되어야만 한다. 하지만 아직 국내 대부분의 제지공정에서는 실시간 농도 평가가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이는 실시간 농도 측정기의 대부분이 수입에 의존하고 있어 고가의 설치비를 필요로 하며 효율적인 유지, 관리가 이루어지지 못하는 경우가 많기 때문이다. 따라서 국내 제지산업의 환경에 부합되는 편의성, 신뢰성 및 경제성을 갖춘 농도 측정 기술의 개발이 요청되고 있다.

본 연구에서는 간단한 광학측정법의 하나인 탁도 측정기를 이용하여 지료의 농도를 실시간으로 평가할 수 있는 방안을 모색하였다. 지료의 탁도를 연속적으로 측정하기 위하여 실험실적으로 온라인 탁도 측정 시스템을 구축하였고, 지료의 주요 구성성분의 농도와 탁도의 상관관계를 분석하였다. 이를 기본으로 하여 탁도 측정을 통하여 혼합지료의 농도를 평가할 수 있는 방안을 모색하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

펄프로는 활엽수 BKP와 BCTMP를 사용하였고 충전제로는 중질탄산칼슘(GCC)과 탈크(talc)를 사용하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 지료의 농도를 실시간으로 평가할 수 있는 탁도 측정 시스템을 Fig. 1에서와 같이 구축하였다. 먼저 DDJ(dynamic drainage jar)에서 균일한 농도로 교반되고 있는 지료를 연동식 펌프를 이용하여 200 mL/min의 속도로 탁도 측정기로 공급하여 연속적으로 지료의 탁도를 측정하였다. 연속적인 탁도 측정을 위하여 기존의 탁도 측정 셀을 사용하지 않고 Fig. 2에서와 같은 새로운 측정 셀을 제작하여 사용하였다.

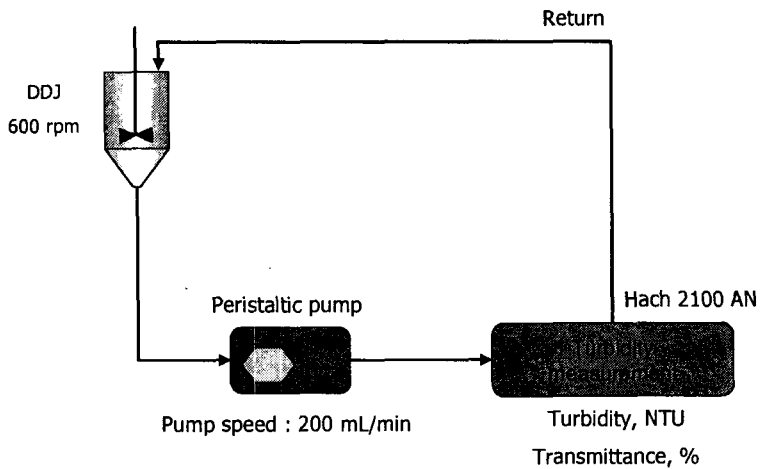


Fig. 1. Schematic diagram of on-line turbidity measurement.

(a) (b)

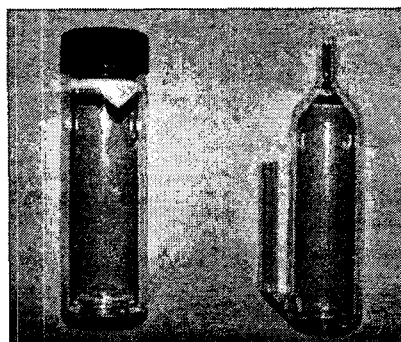


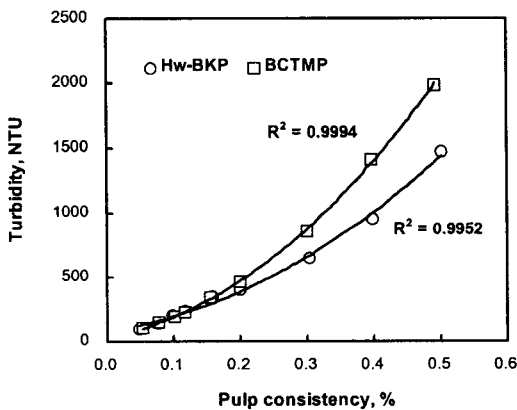
Fig. 2. Conventional cell (a) and new flow cell (b) for turbidity measurement.

탁도를 통한 지료의 농도를 평가하기 위하여 지료의 구성성분을 크게 섬유와 충전제로 구분하였고, 각 구성성분별 농도에 따른 탁도를 평가하였다. 펄프의 농도는 0.5%까지 세분화하여 탁도를 측정하였고 충전제는 0.1%까지 측정하여 펄프 혹은 충전제의 농도와 탁도의 관계를 나타내는 상관관계식을 유도하였다. 그리고 혼합된 지료의 농도를 평가하기 위하여 지료의 구성성분을 섬유와 충전제로 한정하고 혼합된 지료내에서 섬유와 충전제의 탁도가 혼합 지료의 탁도에 미치는 영향을 조사하여 혼합 지료와 구성성분의 탁도간의 관계식을 유도하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 펄프의 종류 및 농도에 따른 탁도 변화

활엽수 BKP와 BCTMP를 동일한 수준의 여수도(470 mL CSF, 487 mL CSF)로 해리 및 고해를 실시한 후 펄프의 농도를 달리하여 탁도를 측정하였다(Fig. 3). 그림에서 볼 수 있듯이 펄프의 농도가 증가함에 따라 탁도가 증가하였지만, 어느 농도 이상에서는 펄프의 종류에 따라 탁도의 차이가 발생하였다. 각 펄프에 대한 농도와 탁도의 상관관계는 이차함수(quadratic function)로서 표현되며 두 펄프 모두 높은 상관관계를 나타내었다.



* Regression curve equations

for Hw-BKP

$$T = 2699.2c^2 + 1482.6c$$

for BCTMP

$$T = 5783.7c^2 + 1201.4c$$

(where T=turbidity, c=consistency)

Fig. 3. Relationship between pulp consistency and turbidity.

3.2 충전제의 종류에 따른 탁도 변화

Fig. 4에 충전제의 농도에 따른 탁도 변화를 도시하였는데 펄프에 비해 동일한 농도에서 충전제가 훨씬 높은 탁도를 나타내었고, 특히 중질탄산칼슘의 경우 탈크에 비해 매우 높은 탁도를 보여 주었다. 이는 입자의 크기와 관계가 있는 것으로 판단되며 중질탄산칼슘과 탈크의 입자 크기를 Malvern Master-sizer 2000을 이용하여 측정한 결과를 Fig. 5에 도시하였다. 중질 탄산칼슘의 입자 크기($d=1.577\mu\text{m}$)가 탈크 ($d=12.633\mu\text{m}$)에 비해 작은 것을 확인할 수 있었다. 입자의 크기가 작으면 입자의 비표면적이 크기 때문에 비표면적에 비례한 탁도²⁾는 높은 값을 나타낸다. 따라서 탁도를 통한 농도 평가시 입자가 작은 충전제나 다른 입자들을 제어할 수 있는 기술이 필요할 것으로 판단된다.

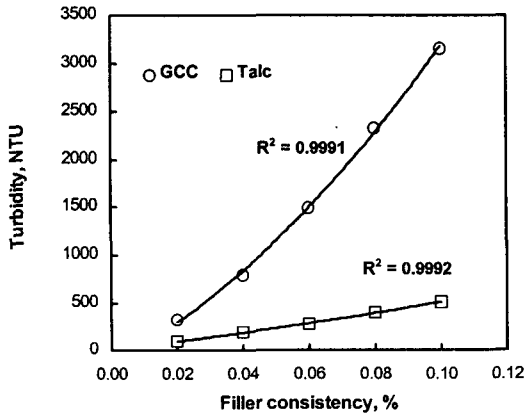


Fig. 4. Relationship between filler consistency and turbidity.

* Regression curve equations

for GCC

$$T = 183286.0c^2 + 13637.0c$$

for talc

$$T = 7931.6c^2 + 4367.8c$$

(where T=turbidity, c=consistency)

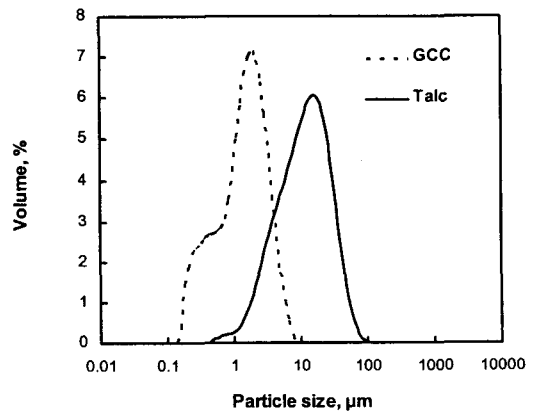


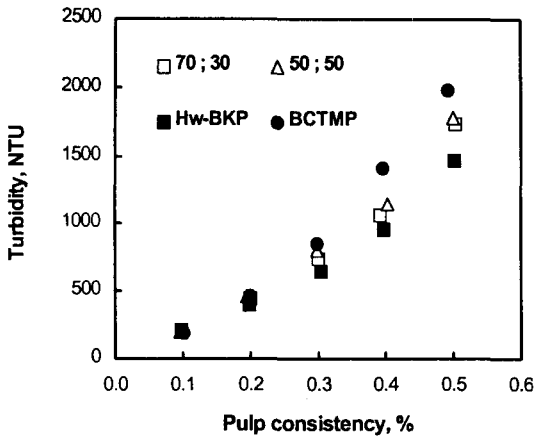
Fig. 5. Particle size distribution of fillers.

3.3 혼합 지료의 농도와 탁도 변화

본 연구에서는 지료를 구성하는 물질을 크게 섬유와 충전제로 나누어 고려하였다. 그리고 섬유로는 두 종류를 사용하였는데 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 두 종류의 펄프가 일정한 비율(활엽수 BKP : BCTMP)로 혼합되면 혼합된 지료의 탁도는 활엽수 BKP와 BCTMP의 탁도값 사이에 존재하였다. 이를 통하여 일정비율로 혼합된 지료내에서 각 펄프가 전체 혼합지료의 탁도에 영향을 미치는 정도는 혼합비율과 관련이 있는 것으로 사료된다.

탁도를 포함한 광학적 농도 측정기술에 있어서 가장 중요한 것은 충전제와 섬유를 구별할 수 있는 기술이라고 생각된다. 문헌에 의하면 서로 반응하지 않는 물질들이 혼합되어 있는 현탁액의 탁도는 각각의 구성성분들이 나타내는 탁도의 합²⁾으로 나타낼 수 있다고 하였으나 섬유와 충전제가 혼합되어 있는 경우에는 다른 결과를 나타내었다. 따라서 섬유와 충전제 혼합 지료의 탁도를 통한 충전제와 섬유 각각의 농도 및 총농도를 측정하기 위해서는 탁도와 농도간의 실험식을 유도하는 것이 선행되어야 한다. 식 (1)과 같이 지료의 탁도는 펄프의 탁도에 상수(a)를 곱한 값과 충전제 탁도의 합으로 나타낼 수 있다고 가정하였다. 그런데 상수(a)는 경우에 따라 많은 값을 갖기 때문에 일반적인 조건에서 적용될 수 있는 상수(a)를 구하기 위해서 양변을 충전제의 탁도로 나누어 y절편이 1인 일차함수[식(2)]로 만들면 상수(a)는 일차함수의 기울기가 된다. 이런 방식으로 활엽수 BKP와 중질 탄산칼슘, 탈크를 이용하여 상수(a)를 구하였고 결과를 Figs. 7, 8에 나타내었다. 중질탄산칼슘과 탈크의 경우 상수(a)가 1이 나오지 않았고 각각 다른 값을 나타내었다. 따라서 상수(a)값을 식 (1)에 대입하면 혼합지료의 탁도에 대한 섬유 및 충전제의 탁도와 상관관계를 파악할 수 있다.

따라서 혼합지료의 탁도에 관하여 위와 같이 유추된 식을 바탕으로 두 구성성분 중 한 구성성분의 탁도와 혼합된 지료의 탁도를 측정하면 나머지 구성성분의 농도와 혼합지료의 농도까지 측정이 가능할 것으로 판단된다. 이를 위하여 혼합지료로부터 섬유와 충전제를 분리하여 개별 성분에 대해 탁도를 측정할 수 있는 방안에 대한 연구가 요구된다.

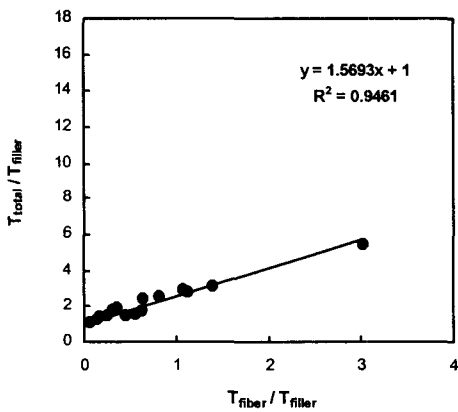


$$T_{total} = a \times T_{fiber} + T_{filler} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{T_{total}}{T_{filler}} = a \times \frac{T_{fiber}}{T_{filler}} + 1 \dots(2)$$

(where T_{total} =mixed stock turbidity, T_{fiber} =pulp turbidity, T_{filler} =filler consistency)

Fig. 6. Relationship between mixed stock consistency and turbidity.



수록 비표면적의 증가에 따라 높은 탁도를 나타내었으므로 광학적 농도 측정의 경우 크기가 작은 입자에 대한 조절이 필요할 것으로 판단된다.

혼합된 지료의 탁도는 펄프에 의해 나타나는 탁도와 충전제에 의해 나타나는 탁도의 일차식으로 나타낼 수 있다. 혼합지료의 전체 탁도와 혼합지료중 한 성분의 탁도를 측정하고, 구해진 탁도간의 실험식 및 단일성분의 탁도-농도 실험식에 대입함으로써 혼합지료 및 각 성분의 농도를 구할 수 있었다. 이를 실현하기 위해서는 하나의 구성성분을 혼합된 지료로부터 분리해 낼 수 있는 여과법(filtration)에 대한 연구가 더욱 진행되어야 할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. Gupta, A. and Scott, W. E. : Automatic the britt jar rpm scan measurement. 2001 Papermaking Conference Proceedings, TAPPI Press.
2. Wood, J. R. and Karins, A. : Determination of specific surface area of mechanical pulp fines from turbidity measurements. Paperi Ja Puu-Paper and Timber. 78(4): 181-186 (1996).