

접촉각 측정법을 이용한 사이즈도 자동 측정 시스템 개발

김철환¹⁾ · 최경민²⁾ · 문선옥¹⁾ · 박종열¹⁾ · 이찬용¹⁾

¹⁾경상대학교 산림과학부, ²⁾(주)미래로 시스템

1. 서 론

종이는 주로 친수성 성질을 지니는 셀룰로오스로 초지되기 때문에 잉크나 대기 중의 수분 등을 쉽게 흡수하는 능력을 지니고 있다. 이러한 친수성을 갖는 종이에 내수성을 부여해 주기 위하여 행하는 일련의 처리 과정을 사이징(sizing)이라고 한다. 사이징을 위해 첨가되는 약제는 사이즈제(sizing agent)라 하여 로진계 산성 사이즈제, AKD 및 ASA와 같은 중성 사이즈제 등이 많이 사용되고 있다.

사이징 처리된 종이의 내수 특성을 평가하기 위하여 사용되는 측정 방법으로는 Cobb 시험법, Hercules 시험법, Stöckigt 시험법, Carson curl 시험법, 접촉각 측정법, Drop 시험법 등이 있다. 이 중에서 가장 많이 사용되는 방법은 Cobb 시험법, Hercules 시험법, Stöckigt 시험법 등이지만 Cobb 시험법과 Stöckigt 시험법은 일정 사이즈도 이상에서는 사이즈제의 첨가 수준별 유의성을 찾기 힘들거나 측정자의 주관이 강하게 개입될 수 있는 소지가 있다. 반면에 Hercules 시험법은 사용자의 주관을 배제할 수 있다는 큰 장점이 있을 수 있지만, 종이와 잉크와의 동적인 변화를 가시적으로 추적 및 정량화하기 어렵고, 수입 기기이기 때문에 가격이 비쌀 뿐만 아니라 유지비가 많이 든다는 단점을 내포하고 있다. 접촉각 측정기기의 경우는 종이 상에 투하된 액적의 형상을 따라 점을 찍어 가면서 각을 측정하는 수동식 방법이 대부분이고, 자동 측정 기기들은 매우 고가이기 때문에 구입이 쉽지 않다는 단점이 있다.

본 연구를 통해 개발된 자동 사이즈도 측정 시스템은 앞서 언급한 시험 기기 및 방법들의 단점을 보완하여 측정자의 주관을 배제하고, 잉크와 종이 사이의 동적인 변화를 눈으로 관찰하면서 표면장력의 변화까지 정량화시킬 수 있는 측정 시스템이고, 학교 연구실, 연구소, 혹은 현장의 품질 관리 부서에서 쉽게 구입 및 사용될 수 있도록 개발되었기에 본 발표를 통해 소개하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료 및 사이즈제

펄프는 캐나다산 침엽수 표백크라프트 펄프를 이용하였고, 실험실용 Valley beater를 이용하여 고해도 350 CSF까지 고해하였다. 고해된 지료를 이용하여 실험실용 사각 수초지기

를 통하여 평량 60g/m²의 종이를 초지하였고, 종이의 사이징 처리에는 중성 사이즈제인 AKD(고형분 함량 10%)를 이용하였다. AKD는 종이 섬유에 대한 전건 중량(g)에 대해 0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03, 0.035, 0.04, 0.045, 0.05, 0.055, 0.06, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.55, 0.6, 1, 2, 3, 4, 5, 6% 첨가하였다.

2.2 사이즈도 측정 장비

종이의 사이즈도는 경상대 펄프제지연구실과 (주)미래로시스템이 공동 개발한 동적 접촉각 측정기를 이용하여 측정하였다. 동적 접촉각 측정 시스템의 기본 구성은 Fig.1과 같다. 개발된 자동발수도 측정시스템의 구성은 Fig.1에서 보는 바와 같이 정량도출기(Dispenser), 영상입력장치 및 영상분석장치로 나눌 수 있다. 이러한 시스템을 기본적인 Hardware 구성 요소로 하여 동적 접촉각 측정 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 비정형 물체에 대한 접촉각을 분석하기 위하여 물체의 분할과 움직임 모두를 동시에 추적할 수 있는 새로운 모델을 제시하였다. 이 모델은 비정형 물체의 추적에 적합한 방법으로서 단일 형상을 구성하지 않고 있는 액적의 분석에 효과적으로 적용 되어 온 알고리즘이다. 본 연구에서는 수치 해석적 방법에 의한 새로운 분석 모델을 구현하고, 이를 종이 상에 형성된 액체의 침투 과정에 응용하였다.

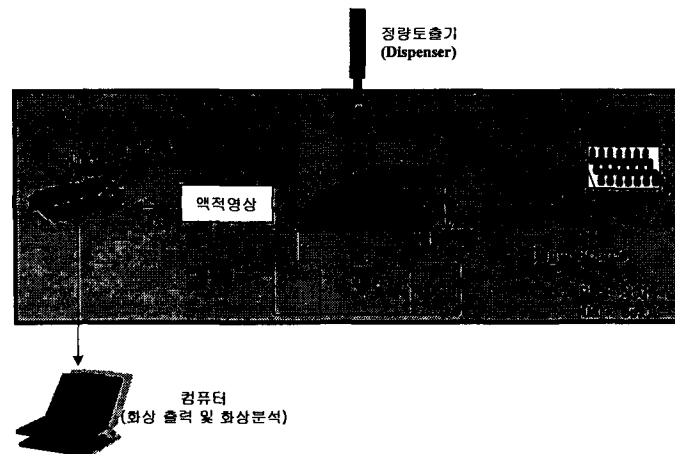


Fig.1. Simplified diagram of the dynamic contact angle measuring system.

종이 시료 상에 투하된 액적의 형상을 입력한 후 경시적으로 액적의 접촉각, 높이, 지름의 변화를 측정할 수 있는 프로그램은 Fig.2와 같이 구성하였다.

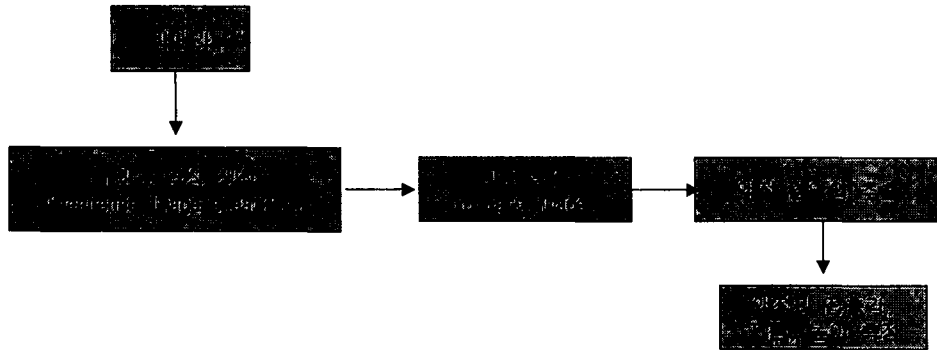


Fig.2. Schematic diagram of the dynamic contact angle measuring system.

각 모듈의 기능은 다음과 같다.

- 시퀀스 영상 생성 (sequence image creation): 카메라로부터 정해진 시간 간격과 영상의 개수를 정하여 시퀀스 이미지(sequence image)들을 획득한다. 이 영상은 컬러 영상이다.
- 이진 영상 (binary image): 시퀀스 영상에서 얻어진 칼라 영역을 임계값(threshold)을 이용하여 이진화시킨다.
- 물방울 영역 검출(blob area detection): 물방울을 검출하기 위해 이진화, 윤곽선 추적, 물방울의 위치 검출과정을 거친다.
- 물방울 측정(blob measuring): 물방울의 높이, 넓이, 각도, 물방울의 위치에 관한 값들을 측정한다.

자동접촉각 측정 시스템(모델명 ASM-2001)을 통해 측정되는 값들은 Fig.3에 나타난 바와 같이 종이의 표면장력 γ_s , 접촉각 θ_1 , 발수각 θ_2 , 액적의 높이 h , 액적의 폭 d 등이 고, 이 시스템은 (주)미래로시스템을 통하여 시판될 예정이다.

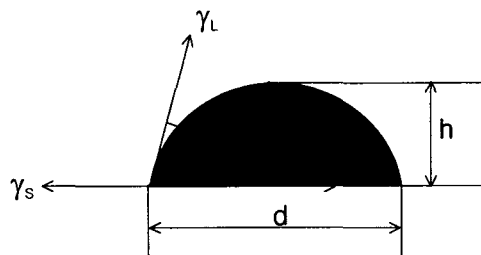


Fig.3. Factors measured by the ASM-2001; θ_1 : contact angle, θ_2 : water repellency angle, γ_L : surface tension of liquid, γ_{LS} : surface tension of liquid-paper, γ_s : surface tension of a paper.

3. 결과 및 고찰

3.1 사이징 처리 함량에 따른 Cobb 사이즈도 및 Stöckigt 사이즈도 변화

현재 사용 중인 사이즈도 측정법 중에서 실험실 및 현장에서 간단히 사용할 수 있는 사이즈도 측정법을 이용하여 사이즈도를 측정하여 그 결과는 Fig.4에 나타내었다.

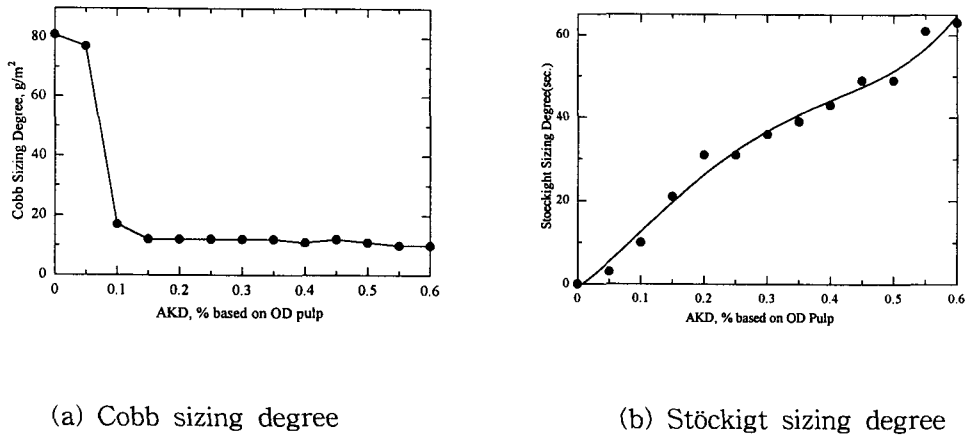


Fig.4. Effect of measuring methods on sizing degree.

Fig.4의 (a)에서 보는 바와 같이 Cobb 사이즈도의 경우 흡수 원리를 적용한 방법으로서 소규모 실험실 단위에서 가장 널리 사용되고 있는 측정 방법 중의 하나이지만, 사이즈제의 첨가량이 어느 수준 이상을 넘어서면 사이즈제 첨가량별로 유의성이 사라지는 것을 볼 수 있다. 반면에 Fig.4의 (b)에서 보는 바와 같이 Stöckigt 사이즈도 측정법은 KS M 7025법으로도 규정되어 있듯이 색깔 변화에 의해 사이즈도를 측정하는 방법으로 국내 제지 공장에서도 널리 사용되고 있고, 사이즈제의 첨가 수준별로 명확한 유의성을 얻을 수 있다. 그러나 측정자에 따라서 색깔 변화가 일어나는 시점을 달리 판단할 수 있다는 단점, 측정자의 주관에 상당히 개입될 수 있다는 단점을 내포하고 있다.

이 외에도 KS M 7057법에 소개되어진 포장지 관련 지종의 발수도를 측정하는 방법이 있는데, 이는 포장지의 발수 정도에 따라 R₀ - R₁₀까지 나누어 두고 45° 각도에서 흘러내린 물방울의 흔적을 추적하여 발수도를 평가하는 방법이다. 이 방법 역시도 측정자의 주관에 따라 발수도를 임의로 평가할 수 있기 때문에 신뢰성이 다소 떨어질 수 있는 측정법이라 할 수 있다.

3.2 접촉각 측정법에 의한 사이즈도 측정법

본 연구진에 의해 개발된 ASM-2001 시스템은 일정량의 액적(1회에 토출되는 액적의 양 0.029 ml, 액적의 지름 4.83 mm)이 종이 시편으로부터 약 1 cm 높이 투하된 후 종이와 액적 사이에 형성되는 접촉각을 측정하여 종이에 처리된 내수성의 정도를 정량화하는 방법이다. 이 때 접촉각과 함께 발수각(water repellency angle), 표면장력(dyne/cm), 액적 높이 및 폭 등을 동시에 측정할 수 있을 뿐만 아니라 이들 값들이 경시적으로 변하는 과정을 디지털 화상으로 추적하여 정량화할 수 있다는 특징을 지닌다. 또한 일정 양의 액적이 투하되었을 때 액체가 종이에 완전히 침투할 때까지의 시간까지 기록할 수 있다는 특징이 있다.

Fig.5는 사이징의 처리 정도에 따른 접촉각, 발수각 및 표면장력의 변화를 보여주고 있다. 사이징 처리량을 증가시키면 따라 접촉각 및 발수각이 증가하는 경향을 볼 수 있고, 반면에 종이의 표면에너지, 즉 표면장력(dyne/cm)은 감소하는 경향을 보여주고 있다. 사이징의 목적이 종이의 내수성을 향상 혹은 증가시키기 위한 처리 과정이고, 내수성 향상은 종이 표면의 표면장력 감소가 수반되어야 한다. Fig.5에서 보여주는 접촉각 및 표면장력 곡선은 사이징 처리의 이들 두 효과의 변화를 동시에 나타내고 있고, 또한 측정된 접촉각을 Washburn 공식에 대입한다면 액체의 침투 속도까지도 예측이 가능할 것이다.

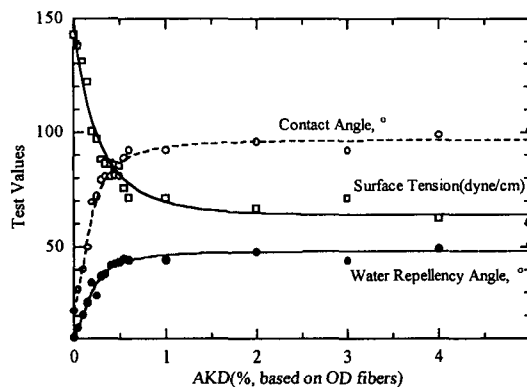


Fig.5. Effect of sizing on contact angle, surface tension and water repellency angle.

Fig.6은 종이 섬유에 대해 AKD가 5% 첨가된 종이의 사이즈도 변화를 접촉각, 발수각, 표면장력의 변화를 이용해 3시간까지 경시적으로 추적하여 측정한 그림이다. 접촉각 및 발수각이 감소하면서 표면장력이 증가하는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. 즉, 계속된 액체의 흡수는 종이의 표면장력의 증가를 유도하여 접촉각의 감소를 초래하는 것으로 해석할 수 있다.

4. 결 론

종이의 발수 특성에 대한 정밀한 예측을 위해 개발되는 자동 사이즈도 측정 시스템은 제지 공정 내 펄프 섬유와 종이 사이즈도 분석의 정밀화, 종이의 물성 분석 시스템의 국산화를 통한 외화 절약, 종이의 정확한 발수성 평가를 통한 품질 고급화 유도, 종이 생산업체의 제품의 품질 관리(Quality Control) 수준 향상 등과 같은 목적 하에서 개발되었다.

본 연구를 통하여 개발된 자동 사이즈도 측정 시스템은 종이에 부여된 내수 특성을 정량화하기 위한 시스템이다. 이러한 시스템을 이용하면 내부 및 외부 사이징 처리가 된 종이 상에 일정량의 액적을 투하한 후 액적이 갖는 접촉각, 발수각, 지름 및 높이, 표면장력 등을 경시적으로 측정할 수 있고, 최종적으로 "사이즈도 혹은 발수도"라는 특정 수치로 나타내어 종이의 발수 성질을 신뢰성 있게 나타낼 수 있는 기기이다.

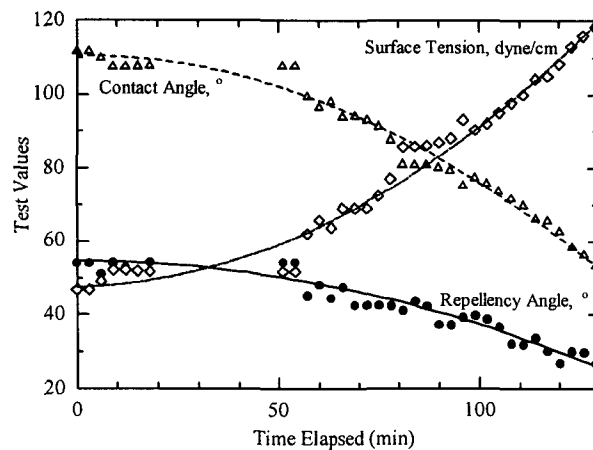


Fig.6. Variation of contact angle, water repellency angle and surface tension followed by the elapsed time.

참고 문헌

1. Casey, J. P., "Pulp and Paper - Chemistry and Chemical Technology", Wiley-Interscience, 1981.
2. Krueger, J. J. and Hodgson, K. T., Tappi Vol.78(2): 154-161(1995).
3. TAPPI T 558 pm-95, Surface wettability and absorbency of sheeted materials using an automated contact angle tester.
4. T 458 cm-94, Surface wettability of paper(angle of contact method).
5. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
6. Kreyszig, E., "Advanced Engineering Mathematics", John Wiley & Sons, Inc., 1988.