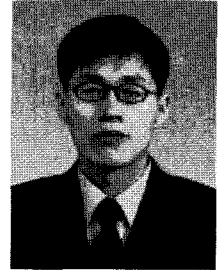




왜? 종이의 물성측정이 중요하며 알아야 하는가?



본지 편집간사 · 제지공학박사
정보기술팀 차장 조 용 민

고급 골판지상자를 만들기 위해서는 좋은 골판지원지를 사용하는 것이 무엇보다 중요하다. 특히 골판지상자의 물성 중에서 골판지의 휨 강도는 골판지상자 적재 시에 상자 굴곡강도를 예측할 수 있는 중요한 인자가 된다. 이와 관련된 종이의 물성은 종이의 스티프니스(뺏뺏이 강도)를 인장 스티프니스와 휨 스티프니스로 나누어 이러한 인자가 골판지나 골판지상자의 휨강도 및 굴곡강도와 연관되는 종이의 탄성적 성질의 중요성에 대하여 4회에 걸쳐 연재하므로 독자 및 업계 종사자의 기술력 향상에 많은 도움이 되기를 바랍니다(편집자 주).

목 차

종이물성 측정의 철학

제1장 스티프니스의 중요성

1. 스티프니스가 없는 종이는 어떨까?
2. 혼란스러운 스티프니스 측정방법
3. 기후는 종이의 스티프니스 성질에 영향을 준다

제2장 인장 스티프니스(tensile stiffness)

1. 인장 스티프니스는 무엇인가?
2. 후크의 법칙(Hooke's law)
3. 인장 스티프니스 - 종이와 판지의 탄성을 정의하는 방법 -
4. 탄성계수 - 종이에 직접적으로 응용되지 않음 -



5. 인장 스티프니스의 측정
6. 인장 스티프니스의 표준화
7. 가장 중요한 종이의 성질
8. 초음파(ultrasonic)방식에 의한 인장 스티프니스의 측정
9. 초음파방식에 의한 인장 스티프니스의 측정은 공정의 최적화를 가능하게 한다
10. 초음파방식에 따른 인장 스티프니스의 측정
 - 최소 뒤틀림(twist) 조절을 위한 단계 -
11. 평평한 종이를 생산하기 위한 측정기

제3장 휨 스티프니스(bending stiffness)

1. 휨 스티프니스
2. 휨 스티프니스 측정을 위한 두 가지 원칙
3. 빔 휨에서의 휨 스티프니스 측정이론
4. 관성 모우멘트(moment of inertia)
5. 4 지점(4-point) 방법
6. 2 지점(2-point) 방법
7. 3 지점(3-point) 방법
8. 공명 스티프니스(resonance stiffness)방식에 따른 휨
9. 스티프니스의 이론
10. 휨 스티프니스 측정에서의 오류 원인
11. 뒤틀림이나 컬(curl)상태인 종이 및 판지는 휨 스티프니스 측정을 어렵게 한다
12. 물질의 실제 스티프니스가 중요하다
13. 공명 스티프니스 방법 - 컬(curl)에 대해 덜 민감하다

제4장 측정결과의 비교

1. 측정결과의 비교
2. 이론적인 계산 또는 상관관계
3. 통계적인 상호관계에 의한 방법
4. 잘못된 상호관계에 대한 경고



종이물성 측정의 철학

"알기 위해서는 측정해야한다"라는 말은 지혜로운 격언이다. 그러나 그것이 항상 진리인 것은 아니다. 만약 우리가 결점이 있는 방법과 불충분한 장비로 측정을 한다면 진실을 알 수 없게 된다.

우리가 측정 기술을 이용해 하는 작업은 진리를 찾는 것이다. 수년동안 우리는 진실이 되기 위해서 고려되어야 할 것들은 측정방법과 측정장비의 선택에 따라 상이한 제지 실험실간에 서로 달라질 수 있다는 것을 배워왔다. 진실, 즉 올바른 측정결과는 예측한 값과 가장 잘 일치하는 측정결과가 되어야 한다고 종종 생각한다. 그러나 표준에 따라 세밀하게 교정된 새로운 측정장비로 측정한 값이 오래되고 낡은 장비로 측정한 값과 같지 않기 때문에 새로운 측정장비가 틀리다고 판단하는 경우를 자주 경험하지는 않을 것이다. 사람들은 자신들이 오랜 기간동안 진실이라고 여기며 살아왔던 것이 실제로는 진실이 아니라는 사실에 직면하게 되는 상황에서는 명백하게 어려움을 느낀다.

문제점 중 하나는 종이와 판지의 여러 가지 물성을 측정하기 위해 사용되는 측정 방법들 중 다수가 실제 현상을 모방한 것(imitative nature)이라는 사실이다. 즉 측정방법들은 여러 가지 방법으로 실제적인 사용분야를 모방하려고 노력한다. 따라서 측정결과는 원하던 물성을 완전하게 충족시키지는 못하지만 몇 가지 물성들에 있어서는 상당한 정도까지 측정결과에 포함되게 된다. 이러한 모방에 의한 측정 방법들은 물론 그들 나름대로 장점을 가지고 있지만 불행히도 단점이 더 많다. 이러한 단점들 중에는 측정결과를 해석하고 초지공정에 연관시키는데 있어서의 어려움과 잘 정의된 물리량을 교정(traceable calibration)하는 것이 어렵다.

여러 가지 오래된 측정 방법에는 뮐렌(Müllen)에 따른 파열강도와 엘멘도르프(Elmendorf)에 따른 인열강도 등과 같은 모방에 의한 측정방법(imitative measurement method)의 예를 찾을 수 있다. 물론 이 방법들이 실제적인 사용과정에 있어서 종이와 판지 공정에서 실제로 일어나는 현상을 잘 모방했는지를 의심하는 사람들도 있다. 비교적 새로운 방법들은 모방에 의한 측정방법으로 분류된다.

그러나 이러한 측정기술상의 단점에도 불구하고 자주 모방에 의한 측정 방법은 각각



의 용도에 대해 종이가 어떻게 작용할 것인지를 입증할 수 있는 유일한 방법으로 인정된다는 것을 강조하고 싶다. 그러나 사람들이 명백하게 하나의 잘 정의된 종이의 물성을 선택하여 측정하고자 해 왔으나 완벽하게 성공적이지 못한 상황은 드물다. 휨 스티프니스(bending stiffness)에 관련한 방법 중에서 위의 사실에 대한 많은 예를 찾을 수 있다.

물리적이고 과학적인 좋은 방법은 선택적으로 잘 정의된 물성을 측정하고 이 방법에 의해 얻어진 결과는 명확하며 따라서 보다 많은 일반 물리적인 상황에서도 사용될 수 있다. 표준에 따른 교정도 상대적으로 쉬워진다. **종이와 판지에 연관된 물성 자료들을 실제적으로 사용하기 위해서는 이러한 물질의 성질이 가공과 최종 소비단계에 어떠한 영향을 주는지를 이해하는 것이 필요하다.** 종이와 판지에서 잘 정의된 물성의 예 들는 탄성과 인장 스티프니스, 그리고 공명(resonance)방법에 의한 휨 스티프니스이다.

제1장 스티프니스의 중요성

1. 스티프니스가 없는 종이는 어떨까?

종이는 여러 가지 다른 목적으로 전세계에서 매일 사용되고 있다. 종이의 가장 중요한 고유 성질 중 하나는 단위평량 당 휨 스티프니스가 특별하게 높은 값을 갖는다는 것이다. 종이가 이렇게 높은 강도를 가지고 있지 않았다면 세계는 다른 모습이었을 것으로 확신한다.

종이가 높은 스티프니스를 가지고 있지 않았다면 인쇄용으로 사용되는 종이(문화용지(cultural paper))는 인쇄공정에서 합리적이고 쉽게 다루어질 수 없었을 것이다. 예를 들면 종이의 전폭에 대해 균일한 인장 스티프니스는 정확한 인쇄를 위한 필수 조건이다. 제본소의 후 공정에서 접합(folding)기계는 일반적으로 좋은 가공성을 위해 일정한 값의 휨 스티프니스를 요구한다. 또 다른 예는 우리 주변에 널려있는 복사기의 경우다. 복사기가 정상적으로 작동하기 위해서는 적절한 휨 스티프니스가 필요하다. 골판지와



같은 종이 제품은 인장과 압축에 대하여 뛰어난 스티프니스를 가진 재질로 만들어진다. 현재의 액체 포장, 카톤 등은 종이가 상당한 휨 스티프니스를 가지고 있지 않다면 불가능한 용도이다.

우리가 매일 읽는 신문의 경우도 신문이 휘거나 모닝 커피로 축 늘어져 들어가는 것을 원치 않는 독자들을 위해 종이의 휨 스티프니스를 고려한 펄프의 선택 및 초지 공정에서의 세심한 주의가 필요하다. 종이의 사용 용도가 1천여 가지를 훨씬 상회하며 극소수의 경우를 제외하고는 모든 경우에 휨 스티프니스가 본질적이라는 것은 결코 과장이 아니다. 그러므로 많은 과학자들이 세심하게 여러 가지 지종의 스티프니스를 연구하는 것은 전혀 이상한 것이 아니다. 다양한 측정방법들이 개발되었다. 일부의 방법은 좋지만 많은 방법들은 불행히도 순수한 스티프니스를 평가하기 위해 그 결과를 이용하기에는 우리가 쉽게 실수할 수 있는 많은 단점들을 가지고 있다.

2. 혼란스러운 스티프니스 측정방법

목적이 없는 종이나 판지의 여러 가지 성질을 측정하는 작업은 과학자들과 측정기기 제조자들을 수년간 매우 바쁘게 만들고 있다. 인장 스티프니스와 휨 스티프니스도 예외는 아니다. 한편으로는 측정방법을 정의하는 것이 그리고 다른 한편으로는 측정단위를 해석하는 것이 어려운 점이 되어왔다. 다양한 요소들이 측정결과에 영향을 주어왔고 우리가 정말로 측정할 것이 무엇인지를 아는 것을 어렵게 만들어 왔다. 이러한 측정기술상 결점의 결과 중 하나는 잘못되고 비용이 많이 드는 측정결과가 자주 채택되고 사용되어 왔다는 것이다.

측정기술에 대한 지식의 부족과 불충분한 측정방법, 그리고 불행히도 매우 자주 발생하는 사용되는 측정기에서의 직접적인 잘못으로 인해 실수들이 발생해왔고 현재도 발생하고 있다. 책임의 일부는 표준협회에도 있으나 종이의 물성을 매일 측정하는 우리들이 주요한 책임자임을 인정해야 한다.

측정기기 공급자들도 물론 그들의 책임을 인정해야 한다. 그들이 측정하려 의도했던 것을 측정하면서 가능한 한 사용자에게 의한 오류를 줄이는 보다 나은 제품과 그에 대한

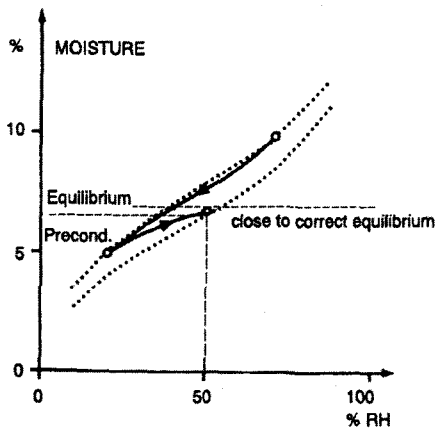


정보는 큰 도움이 될 것이다.

3. 기후는 종이의 스티프니스 성질에 영향을 준다.

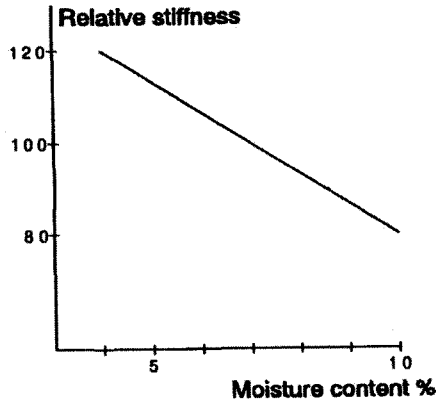
종이와 판지는 흡습성(hygroscopic) 물질이기 때문에 스티프니스 성질들은 특히 상대 습도와 주위 공기온도에 영향을 받는다. 스티프니스에 영향을 주는 것은 현재의 수분 함량이라는 것을 기억하는 것은 중요하다.

물질의 수분함량은 현재의 기후에 의존하지만 소위 이력현상(hysteresis) 때문에 초기 기후 조건에도 크게 의존한다. 우리는 여러 가지 수분 함량을 갖게 할 수도 있고 그에 따라 다른 스티프니스를 얻을 수 있다. 종이가 건조 상태에서 출발했는지 습한 상태에서 출발했는지에 따라 표준 기후조건인 상대습도 50%, 23°C에서조차도 다른 스티프니스를 갖게 된다. 이 문제를 피하기 위해 모든 측정은 표준 기후조건에서 행해져야 하고, 시험편은 그보다 먼저 상대습도 20%와 23°C 상태에서 평형상태에 있어야 한다. 이러한 방법에 의해 시험편은 항상 같은 수분 조건 하에서 측정되어야 한다.



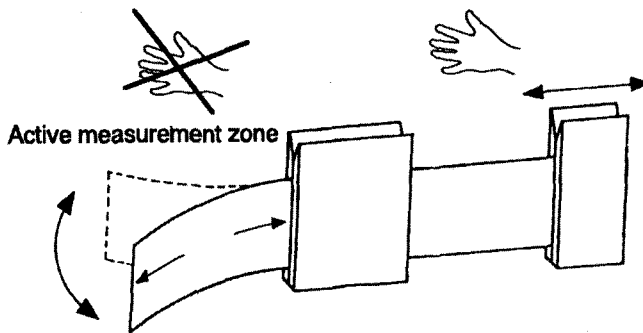
(그림 1.1) 상대습도의 함수로서의 수분함량

강성은 수분이 1% 변할 때마다 약 5 - 10%씩 변하게 된다. 이 경험에 의한 법칙은 표준 기후로부터 4% 범위 내에서 수분이 변하는 경우에는 유효한 것으로 여겨진다.



(그림 1.2) 경험적으로 스티프니스는 종이가 표준 기후조건에 놓여졌을 때 얻어지는 수분함량을 기준으로 수분이 1%씩 변할 때마다 5 - 10%씩 변하게 된다.

스티프니스는 수분함량에 상대적으로 민감한 성질이기 때문에 측정되어지는 종이는 매우 조심스럽게 취급되어야 한다. 예를 들어 시편을 취급하는 동안 두 손가락으로 잡게 된다면 측정 결과는 엉망이 될 것이다. 그러므로 시편은 표준 조건이 변하지 않도록 하기 위해 실제적으로 측정되어지는 부분의 바깥쪽을 통해 다루어져야 한다.



(그림 1.3) 모든 시험편의 조작은 활동측정지역의 외부에서 항상 이루어진다. 반면에 측정 오차는 시험편의 함수율 조건에서의 변화 때문에 일어날 수 있다. (다음호 계속)