

용지의 내구성 평가방법에 대한 연구

김태영, 정양진, 임영훈, 김덕기
한국조폐공사

Abstract

본 논문은 내구성(durability) 및 내오염성(soiling resistance)이 중요한 용지에 있어 재현성 및 반복성이 우수하고 합리적인 측정방법을 구축하는데 목적이 있다. 연구목적에 적합한 시료의 준비, 오염물의 조성, 실험장치 및 실험후의 타당한 평가방법 등에 대하여 선행 연구결과를 고찰하였고 기존 방법의 수정과 새로운 장치의 제작 및 평가방법을 통해 재현성이 높은 평가방법을 정립할 수 있었다.

1. 서론

본 논문에서 대상으로 하는 용지에서는 내오염성, 더 나아가서는 내구성이 중요하며 이를 재현성이 높게 효과적으로 평가할 수 있는 방법이 필요하다. 내오염성(soiling resistance)은 용지의 표면에서 오염물이 묻는 것에 저항하는 정도를 의미하며 내구성(durability)은 물리적 저항성까지를 포함하는 개념으로 이해할 수 있겠다. 통상 인쇄된 상태에서의 다양한 내구성 요소를 검토할 수 있지만 본 글에서는 용지상태에의 내오염성 및 내구성을 대상으로 하였다. 여러 국가에서 이들 내오염성 및 내구성의 평가방법을 개발하고자 하였고 본 글에서는 관련 선행자료를 분석하고 현 시점에서 활용할 수 있는 평가방법을 정립하고자 하였다.

2. 연구사

2.1 내오염성 및 내구성 실험방법의 변천

용지의 내구성을 평가하는 방법에 있어서는, 용지 규격에서 내구성과 관련성이 높을 것으로 추정되는 인장강도, 습윤인장강도, 인열강도, 내절도, 파열강도 등을 관리하는 것

이 가장 1차적인 부분이다. 이러한 것과는 별도로 구김후 투기도(crumpled porosity)나 내오염도 또는 내구성 측정방법을 자체적으로 개발하여 평가하기도 하지만 아직 세계적으로 인정되는 표준시험법은 없다. 다만 섬유제품에 있어서는 방오성, 재오염 저항시험법(세척력 시험과 론더오미터법)이 검색되며 오염용 표준 회색 색표도 존재하며 이들 내용의 일부는 용지제품의 내오염도 평가방법에 일정부분 반영되고 있다.

가. 구김장치(crumpling device)의 활용

67×67(mm)로 시편을 준비하여 Fig 1의 구김장치를 이용하여 8회 구김처리를 한 후 투기도(주로 벤슨방식이며 걸리방식도 가능)를 측정하여 관리하며 동남아의 한 국가에서는 8회 구김처리시 투기도가 120mL/min.을 넘지 않을 것을 규격으로 정하고 있다. Fig. 2의 결과를 보면 일반용지(N)와 내구성향상용지(HD)의 구김처리후 투기도를 비교한 것으로 구김처리에 따른 투기도의 증가가 내구성 향상용지의 경우 훨씬 느림을 알 수 있다.

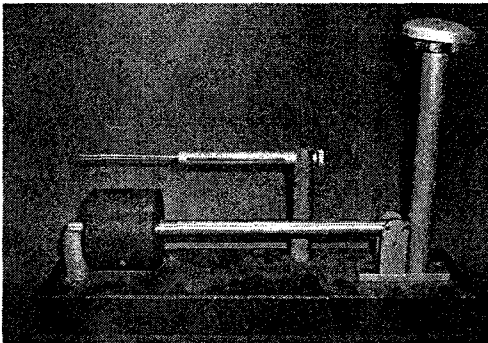


Fig. 1. 구김장치.

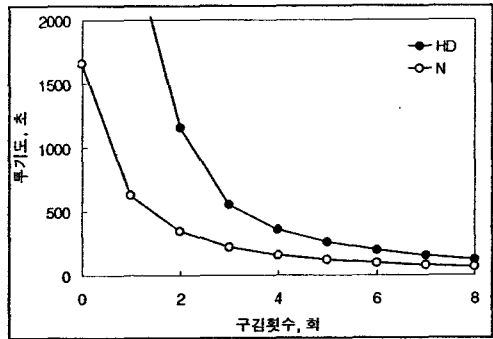


Fig. 2. 용지 구김 기공도 변화 비교.

구김장치가 용지의 유통과정에서의 훼손 및 낡아지는 현상을 유사하게 모사할 수 있는가에 대한 부분에서는 투기도의 경우에는 유통과정에서의 투기도 상승에 비하여 구김처리후의 투기도 상승이 크게 나타나 정상적인 유통에 의한 훼손과는 분명한 차이가 있다고 보고된 바 있다. 전자현미경으로 표면과 단면을 촬영한 결과, 정상적인 유통에 의한 용지의 경우에는 표면에서 섬유들이 일어나 서로 다른 방향을 향하고 있지만 구김처리를 한 용지의 경우 표면은 평활하지만 내부에서는 층분리가 일어나 공기의 흐름

을 원활하게 하는 것으로 보고되었다.

이렇게 구김장치를 사용하는 것이 실제 유통과정에서의 훼손을 정확히 모사하지는 못하지만 현재까지는 많은 국가에서 구김후 투기도를 평가할 뿐 아니라 내구성 시험의 시료 전처리 개념으로도 구김장치를 활용되고 있다.

나. 내오염성 및 내구성 실험방법

선행연구결과를 분석해보면 내오염성 및 내구성 실험은 크게 다음으로 나눌 수 있다. 적정 시편 거치대, 오염물 조성, 적정 오염실험 장치 및 오염도 평가가 그것으로 각각의 연구에서 그 내용은 차이가 있지만 네 가지의 틀을 이루고 있다. 여러 국가에서 보다 용지의 오염현상을 실제에 가깝게 모사하기 위한 각 부분에서의 노력을 하고 있으며 아직까지 표준법으로 평가받는 시험법은 없는 실정이다.

2.2 용지 오염의 메카니즘

선행연구에서는 오염실험의 표준화 및 실제 용지가 오염되는 상황을 최대한 유사하게 시뮬레이션하기 위해서 용지가 오염되는 메카니즘에 대해서 언급을 하였는데 가장 타당성이 있는 내용은 다음과 같다. Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 crumpling, rubbing, porosity increase 및 수분-화학약품의 공격 이 네 요소가 무자기 적인 순서에 의해서 야기된다.

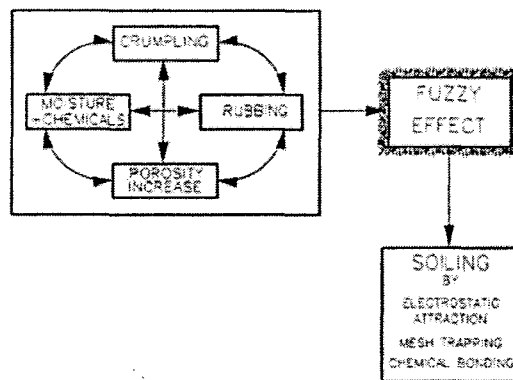


Fig. 3. Fuzzy effect

이 방식에서는 용지의 내부구조가 계속적인 crumpling과 rubbing에 의해서 파괴되고 이는 섬유간 결합력을 약하게 하며 투기도를 높게 하여 용지를 보다 스폰지처럼 만들

게 되어 수분의 흡수 및 약품의 공격을 가속화시키게 된다. 용지의 접힘 현상은 어느 단계에서 발생하든지 간에 종이구조를 약화시키고 이후에 발생하는 접힘 현상이 동일한 곳에서 발생할 가능성이 높아진다. 그러므로 물리적인 또 화학적인 손상에 보다 민감하게 작용하는 부분이 생기는 것이다. 이러한 여러 단계가 반복된 이후에는 용지 표면에서 섬유나 섬유다발이 느슨해져 사방으로 향하는 hair(loose한 섬유다발)가 형성된다. 이러한 섬유구조에서 결합이 깨어진 섬유다발들은 정전기적인 인력으로 오염물을 당기는 작용을 하며 오염물 입자를 잡아두기도 하고 외부에 있는 물질과 화학결합을 하는 넓은 노출부분을 만들기도 한다. 오염은 이러한 현상의 결과물이며 loose 해진 섬유 층에 형성된 더러움과 먼지가 쌓여 형성된 것이다.

3. 용지의 내오염성 및 내구성 평가

본 연구에서는 실험에 사용되는 오염물 조성의 특성을 기준으로 건식 내오염도와 습식 내구성으로 나누었다.

3.1 건식 내오염성 평가

이 실험에서는 Fig. 4-5와 같은 시편거치대와 오염장치를, Table 1과 같은 오염물 조성 및 오염매체를 사용하였다. 이 방법과 유사한 기존의 방법에서는 시편의 네 모서리에 추를 걸고 실험을 실시하여 오염이 균일하게 되지 않아 평가가 부정확한 문제가 있어 이를 개선한 것이다. 또한 오염실험 후 세척하는 과정을 포함하여 오염물이 묻었더라도 제거될 수 있다면 오염되지 않는 것으로 평가하였다. 즉, 순수하게 오염물이 더 묻는지 덜 묻는지를 평가할 수 있는 실험방법으로 물리적 저항성까지 파악하려면 구김기공도 등의 항목을 함께 평가하는 것이 보다 바람직할 것이다.

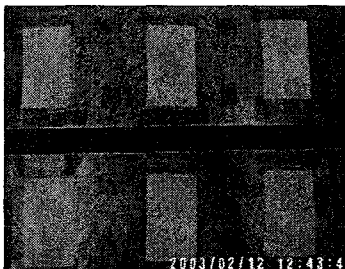


Fig. 4. 시편거치대 장착 모습.

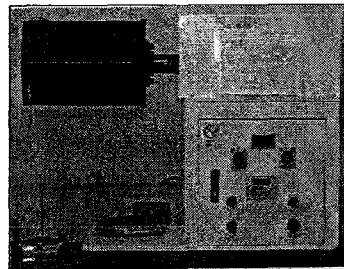


Fig. 5. 건식 내오염도 측정 장치.

Table 1. 오염물 조성 및 매체 비교

	건식 내오염도 측정	습식 내구성 측정
오염물 조성	-. Carbon black 0.1g -. Soybean oil 0.4g -. Olive oil 0.4g -. Ethyl alcohol 0.4g	-. 인공 땀 90g : 증류수 500g, NaCl 5g, lactic acid 5g, urea 0.5g 등 혼합 -. 색 파우더 10g : yellow 0.833g, brown 0.833g, carbon black 0.083g, 질석 248.25g 혼합 -. Grease 20g : wool grease 외 2종 혼합
오염매체	Glass bead(2mm) 2kg	Ceramic beads(2cm) 25개

이 방법에서는 오염도를 두 가지로 평가할 수 있다. 첫 번째는 오염전후의 ΔE 값을 구하여 Table 2를 토대로 등급을 부여하는 것이고, 두 번째는 주된 오염원이 카본블랙이므로 시료가 동일한 용지일 경우에는 오염후의 백색도를 비교하거나 오염전후의 백색도의 차를 구하여 평가할 수 있다.

Table 2. 등급 평가용 표(근거: ISO 105-A03: grey scale for assessing staining)

등급	ΔE	허용오차
5	0	0.2
4-5	2.2	± 0.3
4	4.3	± 0.3
3-4	6.0	± 0.4
3	8.5	± 0.5
2-3	12.0	± 0.7
2	16.9	± 1.0
1-2	24.0	± 1.5
1	34.1	± 2.0

3.2 습식 내구성 평가

이 시험법에서는 Fig. 6-7과 같은 시편거치대와 오염장치를, Table 1과 같은 오염물 조성 및 오염매체를 사용하였다. 오염물 조성에 있어 건식 시험법에 비하여 수분의 함량이 훨씬 많은 (전체 120g의 오염물 중 90g이 물임) 특징이 있고, 오염과정에서도 훨씬 가혹한 조건을 거치게 된다. 오염실험은 5, 10, 15 및 20분을 행하게 된다.

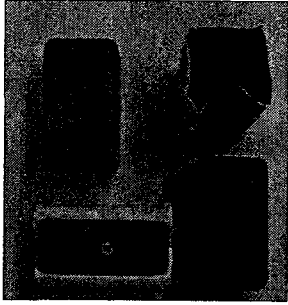


Fig. 6. 시편거치대 장착 모습.

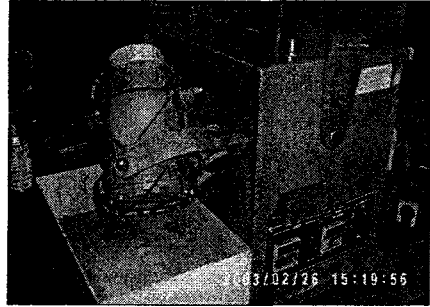
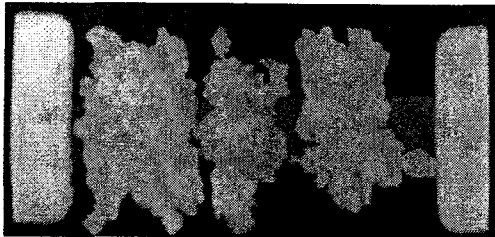
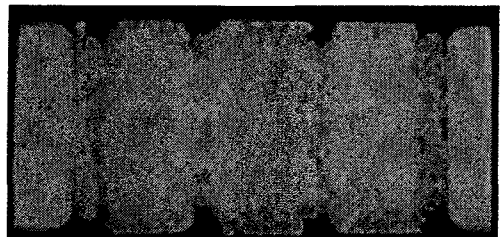


Fig. 7. 습식 내구성 측정 장치.

오염실험후의 시료 상태를 비교하면 Fig. 8에서 보는 바와 같이 일반 유통 용지의 경우 가혹한 오염조건을 견디지 못하고 여러 조각으로 파괴된 반면, 내구성 향상 처리를 한 용지의 경우에는 최종 오염시간이 지난 후에도 그 상태가 유지되는 것을 볼 수 있다.



(a) 일반 용지



(b) 내구성 향상 용지

Fig. 8. 습식 내구성 실험후의 시료 상태.

이렇게 오염실험이 끝난 후 기본적으로 시편의 견고한 정도를 확인하고 오염전후의 L^* 와 b^* 의 차이값을 구하여 오염도를 평가하였다. 명확한 비교평가를 위해서는 최소 10 회 이상의 측정이 요구되는 것으로 나타났다.