

종이의 durability 개념 및 평가방법

정 양 진, 김 태 영, 이 승 한

한국조폐공사 기술연구원

Abstract

본 논문은 내구성(durability) 및 내오염성(soiling resistance)이 매우 중요한 성질로 인식되는 유통지의 평가방법을 제안하는데 목적이 있다. 즉, 종이의 내구성 및 내오염성의 측정 및 평가에 있어서, 재현성 및 반복성이 우수하고 합리적인 측정방법 및 평가방법을 구축하는데 목적이 있다. 연구목적에 적합한 시료의 준비, 오염물의 조성, 실험장치 및 실험후의 타당한 평가방법 등에 대하여 선행 연구결과를 고찰하였다. 기존 방법의 수정과 새로운 장치의 제작 및 평가방법의 설정을 통해 재현성이 높은 평가방법을 정립하고자 하였다.

유통지의 내구성을 평가하는 방법으로는 습식 내오염성, 건식 내오염성, 구김기공도, 내세탁성, 잉크 내마모도 등의 항목을 측정하여 개별항목으로 내구성을 가늠하거나, 몇 가지항목에 각기 다른 가중치를 부여하여 구한 내구성 지수(durability index)의 개념으로 내구성을 평가하기도 한다. 본 논문에서는 내구성에 영향을 주는 요소로 강도적 성질요소(strength property value)와 내오염성 요소(artificial soiling value)로 구분하였다. 강도적 성질요소에서는 전통적으로 내구성과 관련이 깊은 것으로 인식되어 온 내절도(folding endurance), 인열강도(tearing resistance) 및 구김기공도(crumpled porosity)를 인쇄하기 전 용지상태에서 측정하여 4:4:2의 가중치를 주어 구하였다. 내오염성 요소는 국가별 기후특성에 따라 연평균 상대습도가 60% 이상인 경우 인쇄 시료를 대상으로 하여 습식 내오염성, 건식 내오염성 및 내석검성을 평가한 후 6:3:1의 가중치를 주어 구하였다. 또한 연평균 60% 미만인 국가의 경우 3:6:1의 가중치를 부여하였다. 이렇게 구해진 강도적 성질요소와 내오염성 요소에 있어 강도적 성질요소는 궁극적으로 내오염성 요소에 영향을 주기 때문에 3:7의 비율로 가중치를 부여하여 최종적으로 내구성 지수를 구하였다. 이때의 점수가 60점 이상이면 내구성 용지로 정의하였다.

본 논문에서는 현장실험을 통하여 시제품을 제조하였다. 상기 설정된 방법으로 내구성 지수를 구한 결과, 일반 유통지 제조방법으로 제조한 경우 내구성 지수가 약 45점이었다. 반면, 새로 개발된 방법에 의한 고내구성용지(durability paper)의 경우 70점 이상을 나타내어 내구성이 향상되었음을 확인할 수 있었다.

1. 서론

여러 환경과 패턴으로 수없이 유통되는 특징을 가지는 종이는 과거부터 내구성이 매우 중요한 요소로 인지되어왔다. 내구성을 향상시키는 것에 선행되어야 하는 것이 합리적이며 재현성이 높은 내오염성 또는 내구성의 평가방법을 구축하는 것이라 할 수 있다. 내오염성(soiling resistance)은 용지의 표면에서 오염물이 묻는 것에 대하여 저항하는 정도를 의미하며, 내구성(durability)은 물리적 저항성까지를 포함하는 개념으로 이해할 수 있다.

종이의 내구성(Durability) 평가방법에는 여러 가지가 있다. 즉, 종이의 강도적 성질을 평가하는 고전적인 방법과, 유통과정을 재현하여 오염정도를 측정하는 방법 등이 있다. 실질적으로 구김기공도, 습식 내오염성, 건식 내오염성, 잉크 내마모도 및 내세탁성(또는 내석검성)이 사용되고 있으며, 국가마다 각기 다른 항목들이 사용되고 있다. 그러나, 구김기공도만으로 내구성을 평가할 경우, 종이 표면의 공극을 막기 위하여 지나친 바니쉬 등을 처리하게 되면 인쇄적성에 문제가 생길 수 있다. 또한, 건식 내오염성만으로 내구성을 평가한다면, 지나친 발수발유제 등의 적용으로 건식 내오염성을 향상시킬 수는 있으나, 인쇄적성이 상당히 불량해질 수 있다. 즉, 특정항목만을 평가하는 단편적인 방법으로는 유통지의 내구성을 합리적으로 평가할 수 없다.

본 글에서는 용지상태에서의 물성, 인쇄적성 그리고 인쇄된 상태의 내구성 요소 등을 모두 고려하였다. 또한, 여러 가지 항목 중 한 가지가 매우 우수하더라도 최종 내구성 지수에 영향 하는 바를 제한하는 방식을 취하여 내구성을 종합적으로 평가할 수 있는 방법을 정립하여 소개하고자 한다.

2. 새로운 내구성 평가 방법 정립

내구성 평가요소로는 강도적 성질(strength property)과 인공오염(artificial soiling)에 의한 평가로 크게 나누어 검토하였다. 이들 요소는 사용 환경에 따라 적용하는 비중을 다르게 하여야 합리적인 평가가 될 수 있다.

2.1. 강도적 성질 시험(SP, Strength Properties Test)

강도적 성질은 종이의 유통 중 물리적 훼손에 대한 저항을 예측할 수 있다. 내절도, 인열강도, 구김기공도 등은 종이의 물리적 훼손을 예측할 수 있는 매우 유용한 척도로 이용되고 있다.

2.1.1. 강도적 성질 평가 요소

- 내절도(Folding endurance) : 유통내구성을 평가하는 전통적인 방법으로 종이를 접었다 폈다를 반복하여 파괴될 때까지의 반복 횟수를 측정하였다.
- 인열강도(Tearing resistance) : 종이가 찢어지는데 저항하는 힘으로, 자연적 또는 인위적으로 뒤틀리거나 찢어지는 현상에 대한 내구성을 평가할 수 있다.
- 구김기공도(Crumpled porosity) : 종이가 구김에 의한 훼손에 저항하는 정도로, 구김기공도가 높을수록 구김 훼손에 저항하는 정도가 낮음을 의미한다. 시편의 크기는 140×75mm로 하였고 8회 구김처리 후 벤슨(Bendtsesn) 방식 측정기로 기공도를 측정하였다.

Table 1. Criterion for folding endurance, tearing resistance and crumpled porosity

Folding endurance (MDF, Shopper type)	Tearing resistance (Avg.-MD, CD, mN)	Crumpled porosity (ml/min)	Points
< 3,300	< 750	66 <	1
3,301~3,600	751~800	51~65	2
3,601~3,900	801~850	36~50	3
3,901~4,200	851~900	21~35	4
> 4,201	> 901	20 >	5

2.1.2. 강도적 성질 가중치에 의한 평가 방법

가중치에 의한 평가 방법은 사용자가 요구하는 특성에 따라 가중치를 다르게 할 수 있다. 본 평가방법에서는 유통내구성의 중요도에 따라 내절도, 인열강도 및 구김기공도에 대하여 4:4:2의 비율로 중요도를 두었다. 상기 가중치에 따라 강도적 성질 평가값 (SPV, strength properties value)을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$SPV = ((\text{내절도 점수} \times 0.4) + (\text{인열강도 점수} \times 0.4) + (\text{구김기공도 점수} \times 0.2)) \times 20$$

----- Eq. ①

2.2. 인공오염시험(AS, artificial soiling test)

인공오염 시험은 유통지의 유통 중 물리적 및 화학적 훼손에 대한 저항성 정도를 측정하는 방법이다. 인공오염 시험은 여러 가지 시험 방법이 있으나, 시료의 사용 환경에 따라 인공습식오염법(artificial wet soiling method)과 인공건식오염법(artificial dry soiling method)으로 구분할 수 있다. 또한 시료가 세탁되었을 때 세제에 저항하여 종이 잉크를 잡아줄 수 있는 능력을 평가하기 위하여 내석검성(soap resistance)을 평가하였다.

2.2.1. 인공오염 평가 요소

- 인공습식오염법 : 연평균 습도가 높은 지역에서 바람직한 실험으로 상당량의 물이 포함된 오염원으로 시료를 적시면서 오염시키는 방법이다. 본 방법은 종이에 가혹한 물리적 충격을 주므로 내구성이 약한 종이는 실험 중 종이가 파괴될 수도 있는 방법이다. 오염 전과 후의 시료의 색차 또는 백색도 감소율을 측정하여 평가하였다. 시험 중 종이가 파괴되는 경우 색차에 의한 평가에서는 2점, 백색도 감소율에 의한 평가에서는 10점의 별점을 부여하였다.

Table 2. Criterion for wet soiling

$\Delta_{avg.-L^*, b^*}$	Brightness decrease ratio	Points
> 4.01	> 26	1
3.51~4.00	21~25	2
3.01~3.50	16~20	3
2.51~3.00	11~15	4
2.50 <	10 <	5

- 인공건식오염법 : 연평균 습도가 낮은 지역에서 바람직한 실험으로 기름이 포함된 건조한 조건의 오염원으로 오염시키는 방법이다. 오염 전과 후의 색차 또는 백색도 감소율을 측정하여 평가하였다.

Table 3. Criterion for dry soiling

ΔE	Brightness decrease ratio	Points
> 14.0	> 40	1
11.1~14.0	31~40	2
8.1~11.0	21~30	3
5.1~8.0	10~20	4
5.0 <	10 <	5

○ 내석검성 : 인쇄된 시료가 비눗물에 노출되었을 때, 용지에 부착되어 있는 잉크가 떨어져나간 정도를 측정하여 기준과 비교하였다.

Table 4. Criterion for soap resistance

Soap resistance	Points
5	1
4	2
3	3
2	4
1	5

2.2.2. 인공오염 가중치에 의한 평가 방법

가중치에 의한 평가 방법은 사용자가 요구하는 특성에 따라 가중치를 다르게 할 수 있다. 본 평가방법에서는 시료 사용 환경 등의 중요도에 따라 Table 5와 같이 가중치를 달리 적용하였다. 본 논문에서는 연평균 습도가 60%이상인 지역을 대상으로 하였기 때문에 인공습식 내오염성에 가중치를 가장 크게 부여하였다. 내석검성은 용지만이 아닌 인쇄조건에도 영향을 받기 때문에 가장 낮은 가중치를 부여하였다. 만약 연평균 습도가 60% 미만의 국가에서 사용될 경우에는 인공건식 오염법에 대한 가중치를 더 많이 부여하는 것이 바람직하다.

Table 5. Weight factor of artificial soiling test

Items	Weight (%)
Artificial wet soiling	60
Artificial dry soiling	30
Soap resistance	10

상기 가중치에 따라 인공오염 평가값(ASV, Artificial Soiling Value)을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$ASV = ((\text{습식점수} \times 0.6) + (\text{건식점수} \times 0.3) + (\text{내석검성점수} \times 0.1)) \times 20 \text{ --Eq. ②}$$

2.3 내구성 지수(Durability Index, DI)

이상과 같이 종이의 내구성을 평가하는 방법을 규정하였다. 이와 같이 하였을 경우 강도적 성질에 의한 평가와 인공오염에 의한 평가값을 얻을 수 있다. 본 글에서 대상으로 하는 종이에서는 이와 같은 성질이 복합적으로 작용하기 때문에 가중치를 두어 내구성지수로 판단하는 것이 바람직할 것이다. 내구성지수는 사용자의 여건에 따라 가중치를 변경할 수 있을 것이다. 가중치에 따른 내구성지수(최대 100점)는 다음 식과 같이 계산할 수 있다. 본 설명에서는 물리적 훼손이 가해진 인공습식오염 등이 ASV에 포함되어 있기 때문에 ASV의 가중치를 SPV의 가중치보다 더 많이 부여하였다.

$$DI = (SPV \times 0.3 + ASV \times 0.7) \text{ -----Eq. ③}$$

위 공식에 따른 샘플의 가중치에 따른 DI값을 구한 후 그 값이 60점 이상이면 내구성 용지로 정의하였다.

3. 현장실험 및 내구성 평가

현장실험을 통해 시제품을 제조하였고, 일반 유통지 제조조건으로 생산된 용지와 내구성 향상을 목적으로 생산한 용지의 물성 및 내구성을 평가하였다. 물성 측정 결과는 Table 6과 같다. 특히 습윤강도에 있어 내구성을 향상시킨 용지의 경우 높은 값을 나타내었다.

Table 6. Physical properties of control and mill trial papers

	Wet tensile (kgf/15mm)		Tear resistance (mN)		Folding endurance (df)		Crumpled porosity (mL/min)
	MD	CD	MD	CD	MD	CD	
Control	4.3	2.5	850	889	4288	3350	32
Sample 1	4.8	2.5	866	874	4183	3034	34
Sample 2	4.7	2.5	864	880	3875	2987	44

위 물성을 바탕으로 공식에 따른 샘플의 점수 및 SPV는 Table 7과 같다.

Table 7. Results of SPV calculated from Table 1 and equation ①

	Control	Sample 1	Sample 2
Folding endurance	3	3	2
Tearing resistance	4	4	4
Crumpled porosity	4	4	3
SPV	72	72	60

습식 내오염성, 건식 내오염성 및 내석검성을 평가하고 해당 표준에 의하여 점수를 부여하고 ASV 값을 구한 결과는 Table 8과 같다. 일반유통지의 경우 습식 내오염성 평가시 오염시간 20분에서 파괴가 일어나 별점을 부여하였다.

Table 8. Results of ASV calculated from Table 2-4 and equation ②

	Control	Sample 1	Sample 2
Artificial wet soiling	1	4	4
Artificial dry soiling	2	2	4
Soap resistance	5	5	4
ASV	34	70	80

최종적으로 내구성 지수를 구한 결과는 Table 9와 같다. 일반유통지의 경우 약 45점의 내구성지수로 평가된 반면, 내구성을 강화시킨 용지의 경우에는 74점 수준의 내구성 지수를 나타내어 내구성이 상당히 개선되었음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 글에서는 인쇄되기 전 상태의 용지를 대상으로 측정된 강도적 성질요소와 인쇄된 시료를 대상으로 하여 구한 내오염성 요소를 바탕으로 하여 내구성 지수를 구하는 방식의 새로운 내구성 평가방법을 정립하였다.

일반 유통지 제조조건으로 제조한 경우와 새롭게 개발된 조건으로 제조한 시료를 대상으로 상기 정립된 내구성 평가방법을 적용하여 내구성을 평가하였다. 그 결과, 전자의 경우 약 45점의 내구성 지수를 보인 반면, 새로운 방법으로 제조된 종이의 경우 70점이 넘는 내구성 지수를 보여 내구성이 현저히 향상되었음을 확인할 수 있었다.