

전이계수와 종이 물성과의 상관관계 연구

이 만교, 이 재수
한솔기술원 제지연구소

A Study on the correlations between transfer parameters and paper analysis items

Lee man gyo, Lee jae soo
Hansol Institute of Science & Technology

1. 서론

종이는 그 자체로서 하나의 상품이지만 인쇄를 후 가공으로 하는 경우가 더 많다. 인쇄를 위하여 제작되는 종이는 인쇄적성이 좋은 제품이 되어야 하며 또한 인쇄를 하는 기계는 초정밀의 기기이기 때문에 기기에 맞는 작업적성이 요구된다. 이러한 요구조건을 충족시키기 위해서 다양한 실험방법들이 개발되어 왔지만 인쇄적성을 간단히 평가할 수 있는 평가기기나 평가 방법은 아직 없다¹⁾.

인쇄적성을 평가하는 분야로는 전이계수에 의한 평가, 화상분석에 의한 평가, 농도계를 이용한 평가, 색상의 평가 등이 있다. 이중 전이계수에 의한 평가는 1950년대 초부터 활발히 연구되어 왔으며 Walker & Fetsko²⁾를 비롯하여 Rupp-Rieche, Ichikawa, Karttunen, Bery등 많은 학자들이 연구하였다. 이러한 연구의 가장 기본이 되는 식은 W-F식으로 불리는 Walker & Fetsko식으로 Ichikawa를 제외한 대부분의 전이식에 기초가 되고 있으며, 실측값과의 상관성이 매우 높은 것으로 알려져 있다³⁾.

전이 계수와 도공재료의 상관관계에 대한 연구는 많은 이들에 의해 수행된 바 있으나 제지회사에서 주로 사용하는 여타의 실험들과의 상관성을 살펴 볼 필요가 있으며, 전이계수의 산출에 많은 시간이 소요됨을 고려할 때 유효할 것으로 판단된다.

한솔기술원에서도 전이율, 최대전이율에 의한 전이계수를 도입하여 활용하여 왔으며, 유익한 결과를 얻어왔다. 본 연구에서는 여기에 Walker & Fetsko 전이방정식에 의한 전이계수를 도입하여 인쇄적성 계수와 잉크의 전이에 미치는 흡수특성 등의 물성과의 상관관계를 보고자 하였다.

2. 관계 이론

2.1. 전이계수 이론

인쇄적성을 과학적이고 공학적으로 연구하기 시작한 것은 1950년대부터이고 가장 먼저 해석하려고 했던 것은 잉크와 종이의 전이적성이다. 이 문제를 수학적으로 해석하기 위한 첫 단계는 인쇄판상의 잉크량에 따른 인쇄물의 잉크량을 정량적으로 측정하는 것이다⁴⁾. 이와 같이 판상의 잉크량과 종이 위에 전이된 잉크량을 그래프로 나타내면 S곡선이 나타나게 되는데 이를 전이곡선(Transfer curve)라 하고 전이율로 나타낸 결과를 전이율 곡선(Fractional curve)라 한다.

Walker & Fetsko는 판의 중량을 측정하여 처음으로 전이관계를 수식으로 만들어 내었는데 다음과 같은 세가지 개념을 가정하였다.

- 1) 종이와 잉크가 접촉하였을 때 잉크량이 적으면 불완전한 접촉을 하며 잉크량의 증가에 따라 빠르게 접촉면이 늘어난다.
- 2) 종이의 표면에는 공극이 발달하여 있으므로 잉크와 접촉시에 압력(Nip Pressure)이 가해지면 적당량의 잉크를 고정화한다.
- 3) 고정화되고 남은 자유잉크는 일정한 비율로 나누어 분열한다.

이 가정 하에 얻은 식을 W-F식이라고 하고 각각 세가지 계수 즉 k(인쇄평활계수 : Printing smoothness), b(고정화 잉크량 : immobilization ink), f(자유잉크 분열비 : free ink fractional constance)를 얻게 된다.

전술한 바대로 3가지의 계수를 다음과 같이 정의한다.

- k : 종이의 요철부에 채워지는 잉크가 얼마나 빠르게 완전피복에 도달하는가를 의미
- b : 완전 피복점에서 용지가 고정화시킨 잉크의 양
- f : 완전피복된 후 잉크의 분열비

2.2 전이 방정식

잉크량을 증가시키면서 종이에 전이된 잉크량을 plot하면 그림1과 같은 곡선을 얻을 수 있다. 여기서 잉크량이 많을 때는(포화점 이후)는 1차함수로 표현할 수 있는데 다음과 같다.

$$y = b + f(x-b) \text{-----}(1)$$

여기서 y 는 종이에 전이된 잉크량
 b 는 고정화 잉크량
 f 는 자유잉크의 분열비
 x 는 판상의 잉크량(공급량)

식(1)을 다시쓰면

$$y = fx + b(1-f) \text{-----}(2)$$

식(1)을 전이율로 표현하면

$$y/x = b + f(x-b)/x \text{-----}(3)$$

그러나 잉크량이 작을 때는 잉크와 용지가 불완전한 접촉으로 용지의 요철을 효과적으로 채울 수 없게 된다. 따라서 접촉 면적비와 실제 접촉된 영역에서 전이된 잉크량의 개념을 도입하면

$$\text{잉크에 의해 접촉된 종이의 면적} \quad F = 1 - e^{-kx} \text{----}(4)$$

$$\text{실제 접촉된 영역에서 전이된 잉크의 양} \quad \phi b = b(1 - e^{-x/b}) \text{----}(5)$$

이 되고 이 개념으로 식 (2)를 다시 쓰면

$$y = (1 - e^{-kx}) [b(1 - e^{-x/b}) + f[x - b(1 - e^{-x/b})]] \text{-----}(6)$$

로 된다.

식 (6)이 Walker & Fetsko의 전이 방정식이다.

따라서 식(2)와 식(6)에서 전이계수 b , f , k 를 얻을 수 있다.

이 식은 종지와 잉크의 관계를 나타내는 것으로 종지와 잉크의 고유한 관계를 얻을 수 있다.

① k

k 값은 적은 양의 잉크범위에서 얻은 값이므로 포화점 이상의 잉크필름 영역에서는 사용할 수 없다.

잉크량이 증가하면서 종지와 얼마나 빨리 완전한 접촉에 도달되는가를 나타내는 상수로서 인쇄 평활도의 측정으로 가능하다. 좋은 평활도 일수록 높은 k 값을 보인다.

인쇄압력이 증가하면 인쇄 평활도도 증가한다. k값은 종이에 영향을 많이 받는다. 인쇄속도가 올라가면 k값은 다소 떨어진다.

② b

b는 전이율 곡선의 peak부분에서의 값이 되며, 종이가 인압을 받고 있는 동안에 잉크를 고정화 혹은 수용할 수 있는 최대량이다. 인압의 인가시간은 통상 0.02s이내 이다⁵⁾. (예; 46전지로 시간당 10000부 인쇄시 0.0014s) 이 계수는 코팅지 0.5g/m²에서 거칠은 흡수지에서는 10g/m²범위에서 관찰된다. 이 값은 종이의 투기도와 평활도에 깊은 관계가 있으며 인압이 증가하면 증가하며, 속도를 감소시키면 증가한다. 잉크의 점도에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

③ f

f는 포화점 이후 잉크필름 영역에서의 값을 의미한다. f값은 고정화되고 남은 잉크의 분열비를 나타내는 것으로 지배인자가 아직 명확히 알려지지 않는 않지만 종이의 흡수특성과 관련이 있다고 보고되고 있다. 인쇄압력이 증가하면 약간 증가하며 코팅지에서 0.30-0.45 사이에서 관찰된다. 일부경우는 0.17까지 나오기도 하며 속도가 감소하면 증가하는 특성을 보인다.

3. 실험

3.1 실험환경 및 조건

실험기기 및 조건은 아래와 같다.

인쇄기: IGT AI2-5

잉크 : Web offset(Quick set type) Black Ink

용지 : Coated paper 16종(한국산 8종, 일본산 3종, 독일산 4종, 미국산 1종)

잉크공급량 : 1.2, 1.8, 2.4, 3.0, 3.6, 4.2 μ m

사용디스크 : Al disc (폭 10mm)

인쇄 압력 : 400N/cm²

인쇄속도 : 2m/s

농도측정 : GRATEC 196

Blanket : Rubber

2nd disc : Rubber disc(폭 50mm)

2nd 압력 : 400N/cm

Set-off 용지 : 한국산 Matt 150g/m²)

환경 : 20 - 22 Celsius, 45 - 55RH

기타 흡수특성 분석을 위해 사용된 기기는 다음과 같다.

도공층의 공극분석 : Mercury porosity meter

흡수특성 분석 : Cobb absorption tester, K&N ink absorption, PPS tester, Smoothness tester, Gloss meter

3.2 실험내용 및 범위

실험의 범위는 국내유통 Art지 및 Zanders(독일) Art지와 일본의 Art지에 대한 전이계수의 도출 및 여타 실험 결과와의 상관관계를 살펴보고자 하였다. 전이계수를 얻기 위해서는 최대전이율 이후의 전이곡선을 얻어야 하므로 공급량을 1.2 - 4.2 μm 까지 0.6 μm 간격으로 하였다. 인쇄는 인쇄적성 실험기를 이용하여 표면만 3회씩 MD방향으로 하였다. 잉크의 공급은 Ink distributor에서 좌우 각각 1분간 연속 후 개량하였다. 인쇄물의 측정은 각각 10회씩 측정한 후 평균값을 취했다. Set-off측정을 위해서 동일한 용지를 사용하였다. 최대전이량은 최대전이율 곡선의 peak점에서 구하였고, 전이곡선으로부터 b, f, k값을 얻었다. Peak point는 분석 Software "Table curve"를 이용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 전이계수의 고찰

본 연구는 시중에 유통중인 수입지와 국내산 용지를 실험재료로 선택하였으므로 한정된 범위 내에서만 고찰 할 수 있었다.

W-F식을 이용하여 얻은 전이계수를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 국내산 아트지 제품의 b값은 높고 f, k값은 상대적으로 낮게 나타났다. b값이 높은 것은 인압의 인가시에 종이와 순간적으로 받아들인 잉크의 양이 많다는 의미이고, f값이 낮은 것은 고정화되고 남은 자유잉크의 분열 층이 보다 종이쪽에서 일어났다는 의미이다. 또한 k값이 낮게 나타난 것은 종이의 조면을 완전 회복시키는데 많은 양의 잉크가 필요하다는 의미가 된다. 반면 완전 회복 후 즉 최대 전이점에서의 농도는 2.1이상으로 매우 높게 나타났으며 이에 따른 뒤묻음도 높은 값을 보였다.

반면 독일산 용지는 국내산과는 대조적으로 b값은 낮고 f, k값은 높게 나타났다. 이들 용지에는 종이의 요철을 완전 회복시키는데 적은양의 잉크로 충분하며 f값이 높아 종이위로 두꺼운 층의 잉크가 분열되므로 회복저항이 적다고 볼 수 있다. 또한 k값이 높아 빠르게 최대 전이점에 이르고 이때의 농도는 1.6 정도를 보이고 있다. 이에 따라 뒤묻음도 적게 발생된다.

일반적으로 전이량이 높은 것이 좋은 것으로 알려져 있지만 실제 인쇄에서 적절한 농도를 유지하는 것이 망점인쇄(Half tone)에서는 바람직하며 선진국의 경우는 이러한 적정 농도의 표준 값을 유명 인쇄연구소별로 제시하고 있다.⁶⁾ 적절한 인쇄 농도에서는 최고의 Contrast값을 형성하므로 이 이상의 잉크공급은 오히려 Dot gain, Contrast저하, 뒤묻음, 뒤비침 등의 인쇄Trouble을 일으키게 된다⁷⁾. 따라서 적정 잉크량으로 종이를 완전 피복시키는 것이 잉크와 종이의 좋은 인쇄적성 상태로 본다.

Table 1. Densities at the Ymax and T-transfer parameters

Index Papers	X_{max}	Y_{max}	Y/X_{max}	Density	Setoff	f	b	k
A1-120	3.00	1.620	0.540	2.159	0.881	0.308	1.021	0.552
A1-250	3.10	1.732	0.559	2.148	0.918	0.269	1.227	0.482
독 A-150	2.34	1.390	0.594	1.692	0.608	0.340	0.901	0.545
독 B-250	2.37	1.335	0.568	1.662	0.588	0.341	0.799	0.855

4.2 전이계수와 균일성과의 상관관계

Table 2. Correlations between analysis items and transfer parameters

	Items	Transfer parameters			비 고
		f	b	k	
육 안 평 가 (7점법)	Print evenness order	-0.664	0.569	-0.054	높은 값 불균일
	Print gloss order	-0.633	0.625	-0.502	"
	Uneven coating order	0.329	-0.501	0.404	높은 값 균일
	Coating coverage order	-0.405	0.578	-0.361	높은 값 불균일
	Floc order	-0.353	0.565	-0.258	"
균일성 측 정	Binder N.S.D.	-0.466	0.671	-0.270	"
	Binder distribution variation	0.086	0.509	-0.645	"
	Formation N.S.D.	-0.479	0.720	-0.192	"
	Formation variation	-0.397	0.699	-0.329	"
기 타	Water in paper %	0.614	-0.710	0.209	
	Paper gloss(MD)	0.381	-0.557	-0.121	
흡 수 특 성	Cobb absorptivity by water	-0.362	0.476	-0.085	
	K&N ink absorptivity	0.575	-0.565	0.481	
Mercury 투 기 도	Skeletal density	0.209	-0.450	0.492	
	Porous diameter	-0.429	0.416	-0.289	
	Porous Volume under 6 μ m	-0.319	0.417	-0.262	
최 대 전이율	Ink amount on plate	-0.529	0.620	-0.769	
	Transfer amount on paper	-0.582	0.731	-0.784	
	Transfer rate	0.276	-0.155	0.505	
	Print density	-0.632	0.685	-0.850	
	Set-off	-0.673	0.677	-0.708	
	Print gloss	0.380	-0.589	0.021	

한편 인쇄적성 계수와 여타의 실험 결과들과의 상관관계는 표 2와 같다. 표 2에서 주관평가에 의한 순서는 뒷 번호일수록 낮은 평가를 받았음을 의미하며 주관 평가는 7점 법으로 인쇄관련 종사자 10명으로 평가단을 구성하였다. 종이의 물리적 특성 및 흡수 특성 항목 중 어느 것도 상관계수 0.9를 넘지 못하였다. 이는 인쇄품질을 결정하는 요소가 다양하다는 의미이며 많은 요인들이 복합적으로 작용함을 의미한다. 표 2에서 인쇄균일성, 인쇄광택(주관적 평가)은 인쇄적성 계수 f, k와는 (-)의 상관성을 보이는 반면 b와는 (+)의 상관성을 보인다. 우선 f와 (-)의 관계는 인쇄균일성이 나쁜 것일수록 자유잉크의 분열비율이 작다는 의미이다. 즉 잉크의 분

열 시점에서 종지와 블랭킷 틈에서 종이 쪽으로 분열 위치가 가깝게 접근한다고 보아야 한다. 또한 k값과 (-)의 관계를 보이는 것은 육안 평가가 나쁠 것이 잉크의 완전 피복에 도달하는 시간이 길어진다는 의미이다. 이와는 반대로 b값과는 (+)의 상관성을 보이는 것은 불균일한 인쇄가 되는 종이일수록 고정화 잉크량이 많아지는 경향을 보인다고 볼 수 있다. 즉 f, k값이 클수록, 균일성이 확보되는 경향이 높아지며 b값이 작을수록 평가의 순위는 좋아지는 경향을 보인다.

4.3 전이계수와 흡수특성과의 상관관계

이 같은 결과는 흡수 특성 실험 결과에서도 나타나는데, Cobb Water 흡수결과 물의 흡수가 큰 용지의 b값은 커지고 f값은 작아지는 관계를 보인다. 이 같은 결과는 공극의 체적이 크다는 것을 의미하며 이는 Skeletal 밀도와 Porous의 반경 및 용적에 의한 결과가 뒷받침하여 주고 있다. K&N 흡수 특성 결과는 이와 반대로 나타났는데 K&N 잉크는 비극성 oil로 되어 있기 때문에 화학적인 장애를 받지 않고 모세관을 이동하여 침투되는 특성이 있으므로 모세관의 용적이 크면 모세관의 평균 반경이 커지므로 oil의 침투가 느리게 되어 종지의 표층과 블랭킷사이의 점도 구배가 작게 되며 따라서 f값은 작아지게 된다.

4.4 전이계수와 최대 전이율에서의 상관관계

최대 전이율에서 판상의 잉크량과 종지로의 전달량을 살펴보면 최대 전이율에서 필요 잉크량이 많아지는 종지는 b값과 (+)의 관계를 보이고 f, k와는 (-)의 관계를 비교적 높게 보이고 있다. 이는 고정화 잉크량이 많은 종지는 최대 전이율 도달이 늦어지므로 완전 피복에 필요한 잉크량이 커지게 되며 이에 따라 자유분열의 비율은 작아지게 되어 k값도 작아지게 되는 결과를 보이게 된다. 이와 같은 결과는 인쇄된 인쇄농도와 뒤묻음의 결과로도 반증이 되고 있다. 즉 b값이 큰 종지는 최대 전이율에서의 농도가 높아지게 되고 이에 따른 뒤묻음이 많아지며 f값이 작아지므로 종이 표층에 잔류하는 잉크의 피막이 얇아져 인쇄광택에는 불리한 결과를 가져온다. 자유잉크의 분열비가 높고 있다.

5. 참고문헌

1. 윤종태, 인쇄적성 개론, 부경대학교 출판부, p.168 - 179(1996)
2. W. C. Walker, J. M. Fetsko, *A concept of ink transfer during printing*, Am. Ink Maker, Vol.33, No.12, p.38(1955)
3. P. J. Mangin, M. B. Lyne, D. H. Page and J. H. DeGrace, *Ink transfer equations-parameter estimation and interpretation*, Advances in printing science and technology, Vol.16, pp.180(1981)
4. 윤종태, 신종순, 인쇄과학 개론, 부경대학교 출판부, p.125(1996)
5. J. E. Levin, L. Nordman, *On the penetration of ink into paper*, Advances in printing science and technology, Vol.4, pp.33(1967)
6. Kelvin Tritton, Colour control in lithograph, Pira International, p.218-219(1993)
7. P. J. Mangin, J. H. DeGrace, A mechanistic approach to ink tranfer Part I, Advances in printing science and technology, Vol.17, pp.312(1983)
8. 이재수의 5명, 아트지 면감개선 기술개발관련 인쇄적성/품질, 면감격차 분석(1차 보고서), 한솔기술원 제지연구소 인쇄파트(1998.03.16)