

컬러 잉크젯 용지의 흡수거동과 인쇄품질에 관한 연구

이용규¹⁾ · Shigenori Kuga²⁾

¹⁾강원대학교 산림과학대학 제지공학과 · ²⁾동경대학 대학원 농학생명과학 연구과

요 약

친수성의 도공층을 갖고 있는 컬러 잉크젯 용지의 특성을 동적주사 흡액측정(動的走査吸液測定), 망점(dot)의 화상해석 및 도공층 표면을 주사 전자현미경(SEM)으로 관찰하여 검토하였다. 비잉크젯 용지와 도공지에 비하여 잉크젯 용지는 단시간 동안에 현저한 표면 흡액특성(表面吸液特性)을 나타내었지만 그 특성은 제품에 따라 다르게 나타났다. 망점 특성으로부터 평가한 잉크 방울의 흡수시간(ink drop absorption time)은 망점의 면적과는 상관관계를 나타내지 않았으나 진원도(shape factor)와는 부(負)의 상관관계를 나타냈다. 즉 빠른 흡액특성은 원형(圓形)의 망점을 형성하는데 유효하였다. 광택 처리제품과 광택처리를 하지 않은 제품을 비교할 경우 광택처리 제품의 진원도(眞圓度)가 낮게 나타났는데 이것은 주사 전자현미경의 관찰 결과로부터 도공층을 칼렌더 처리할 때 발생하는 할열 때문인 것으로 나타났다.

1. 서 론

디지털 데이터(digital data)의 출력방법으로 잉크젯 프린팅(ink-jet printing)이 일반화되면서 풀 컬러 화상을 선명하게 인쇄하는 기술이 급속하게 발전하였다. 잉크젯 인쇄의 경우 수성(水性)의 염료 잉크를 사용하기 때문에 화상의 품위를 최적화 하기 위해서는 오프셋 인쇄 등과는 표면특성이 다른 용지가 필요하다. 현재 많은 종류의 잉크젯 전용지가 시판되고 있으며, 이들은 수성잉크를 잘 흡수 할 수 있도록 설계된 특수한 도공층을 갖고 있는 것이 특징이다. 본 연구에서는 동적주사흡액계(dynamic scanning absorptometry, DSA)를 이용하여 종이의 표면에서 단시간동안에 일어나는 흡액 거동을 평가하고, 주사전자현미경(SEM)을 이용한 표면분석과 잉크젯 프린터를 사용하여 인쇄한 인쇄망점의 화상분석을 통해 해석·평가함으로써 인쇄품질과 흡액특성간의 상관관계를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 종이 시료

일반지로 PPC 용지 및 클레이 도공지(Art paper), 잉크젯 전용지로는 Epson社 및 Canon社의 대표적인 제품을 선택하여 실험하였다(Table 1).

2.2 주사전자 현미경 관찰

日立製作所 4000S로 관찰하였고 여기에 부착되어 있는 에너지 분산형 X선 분석장치 (SEM-EDXA)로 도공지 표면의 원소 분석을 하였다.

2.3 동적주사 흡액측정

동적주사 흡액계 KM350형(協和精工(주))을 사용하여 흡액 거동을 측정하였다. 흡액기 헤드의 개구부는 1mm×5mm의 직사각형(주사방향의 길이가 1mm)으로 되어 있다.

2.4 잉크젯 인쇄 테스트

Seiko-Epson제 PM750C 모델의 잉크젯 프린터의 보통지 모드(720dpi)로 인쇄하여 CYMK 각색의 5%농도를 나타내는 곳을 실체현미경 사진으로 찍은 다음 스캐너로 입력한 후 화상계측 소프트웨어 SigmaScan Pro(Jandel Scientific, 미국)에 의해 30개의 망점면적, 진원도 및 이들의 표준편차를 구하였다. 진원도(shape factor)의 정의는 $4\pi \times \text{면적} \div (\text{주위장의 2승})$ 이며 원(圓)일 경우는 1, 직선일 경우는 0으로 나타낸다.

Table 1. Paper samples

No.	Product name	Feature
1	PPC	Uncoated
2	Art	Clay coated, gloss
3	E-SF	Mat coated
4	E-PQ	Gloss coated
5	E-PP	Gloss coated
6	E-GF	Gloss coated film
7	C-LC	Uncoated
8	C-HR	Mat coated
9	C-GP	Gloss coated

Table 2. Ink droplet absorption time and dot parameters

No.	Product name	Feature	Ink droplet absorption time, ms ^{0.5}	Area	Shape factor
1	PCC	Uncoated	45(*)	965	0.45
2	Art	Clay coated, gloss	∞	3537	0.77
3	E-SF	Mat coated	3.0	1685	0.76
4	E-PQ	Gloss coated	3.0	1490	0.76
5	E-PP	Gloss coated	11	1852	0.76
6	E-GF	Gloss coated film	11	2249	0.86
7	C-LC	Uncoated	42(*)	1649	0.52
8	C-HR	Mat coated	7	1535	0.85
9	C-GP	Gloss coated	30	1674	0.71

* : From extrapolated water absorption curve

3. 결과 및 고찰

각 시료의 주사흡액 곡선을 살펴보면 잉크젯 용지의 경우(Fig. 2와 Fig. 3) 非잉크젯 등급(Fig. 1)에 비해 단시간 동안의 흡액량(吸液量)이 현저하게 많았다. 특히 클레이를 도공한 아트지는 거의 물을 흡수하지 않는 것으로 나타났다. 잉크젯 용지의 경우 100밀리초 정도(그림의 횡축은 밀리초의 평방근) 이내에서 현저한 흡액 특성을 나타내고 있지만 곡선의 형태는 제품에 따라 상당한 차이를 나타내고 있다. 시료 중에는 광택 처리한 것과 광택 처리하지 않은 제품이 있지만 흡액곡선(吸液曲線)의 경우 광택 처리 유무에 의한 차이는 발견되지 않았다. 이 중에서 LC-301은 저가격의 미도공품(未塗工品)으로 PPC용지와 비슷한 외관을 갖고 있으며 흡액 거동에서도 특별한 차이를 나타내지 않았고 유사한 거동을 나타냈다. Gloss F는 기재(基材)가 다른 것과 달리 플라스틱의 필름이기 때문에 물의 침투가 도공층에만 한정되고 있다(횡축의 값으로 20이후는 거의 수평이다). 이와같이 잉크젯 용지의 경우가 친수성의 액체를 빨리 흡수한다는 사실이 주사흡액 측정기에 의한 실험을 통해 명백하게 밝혀졌다.

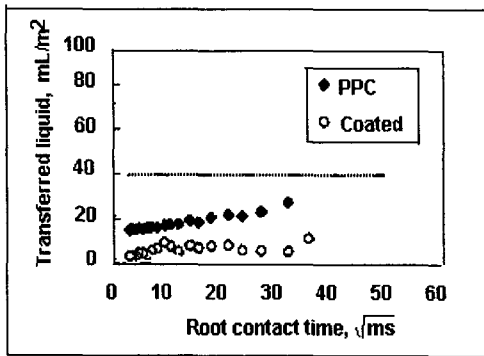


Fig. 1. Water absorption behavior of non-inkjet grad plane paper(PPC) and clay-coated paper(art paper).

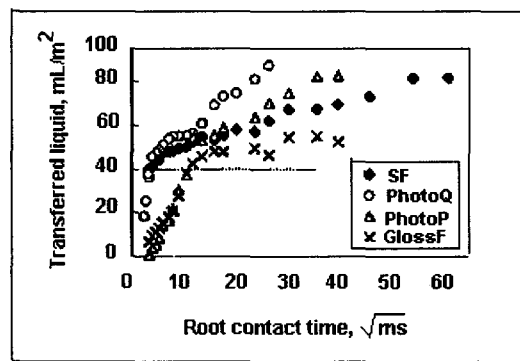


Fig. 2. Water absorption behavior of inkjet-grade coated paper/films(E brand).

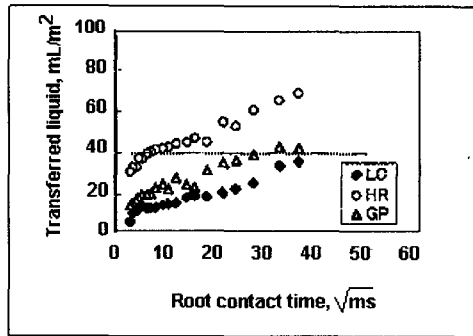


Fig. 3 Water absorption behavior of inkjet-grade coated paper/films(C brand).

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 잉크를 전혀 흡수하지 않기 때문에 잉크가 표면에 퍼지면서 건조되어 형성된 망점이 크게 된 것으로 사료된다. 이 때문에 아트지에 인쇄한 컬러화상은 다른 색 잉크가 서로 섞여서 극도로 품위가 저하된 형태의 인쇄 화상을 나타내고 있다.

잉크제트 용지의 경우 미도공지의 LC-301은 형상의 흐트러짐(feathering)이 현저하지만 PPC용지보다는 확실한 윤곽을 나타내며, 화상도 PPC용지보다 선명하다. 도공된 제품은 모두 원에 가까운 균일한 망점이 얻어졌다. 그 중에서도 광택필름(No.4, E-PQ)은 진원에 가깝다. 종이제품 중에서는 No.3(E-SF)와 No.8(C-HR)이 작고 원에 가까운 망점을 나타내고 있다. 이들에 비해 광택처리된 제품(No.5, 6, 9)의 망점은 작고 선명하지만 약간의 페더링(feathering)이 발견되고 있다. 광택처리된 제품의 형상이 이와같이 흐트러지는 이유는 칼렌더링 처리과정에서 활열이 생겼기 때문이라고 사료된다. 그러나 이 정도의 흐트러짐은 육안으로 느낄 수 있는 품질에는 영향을 미치지 않고 광택 처리에 따른 화상의 선명도가 현저하게 나타나고 있다.

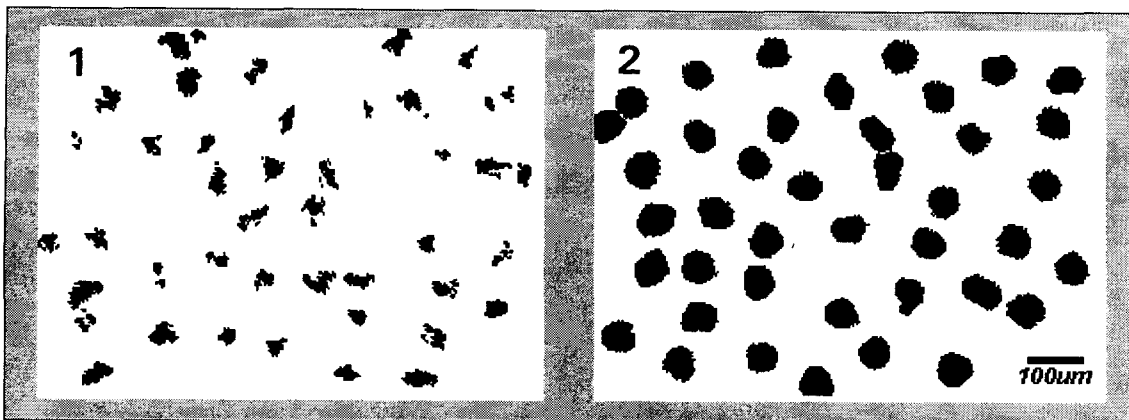


Fig. 4. Binarized dot images on non-inkjet grade papers. (1) PPC paper; 2)Clay-coated paper.

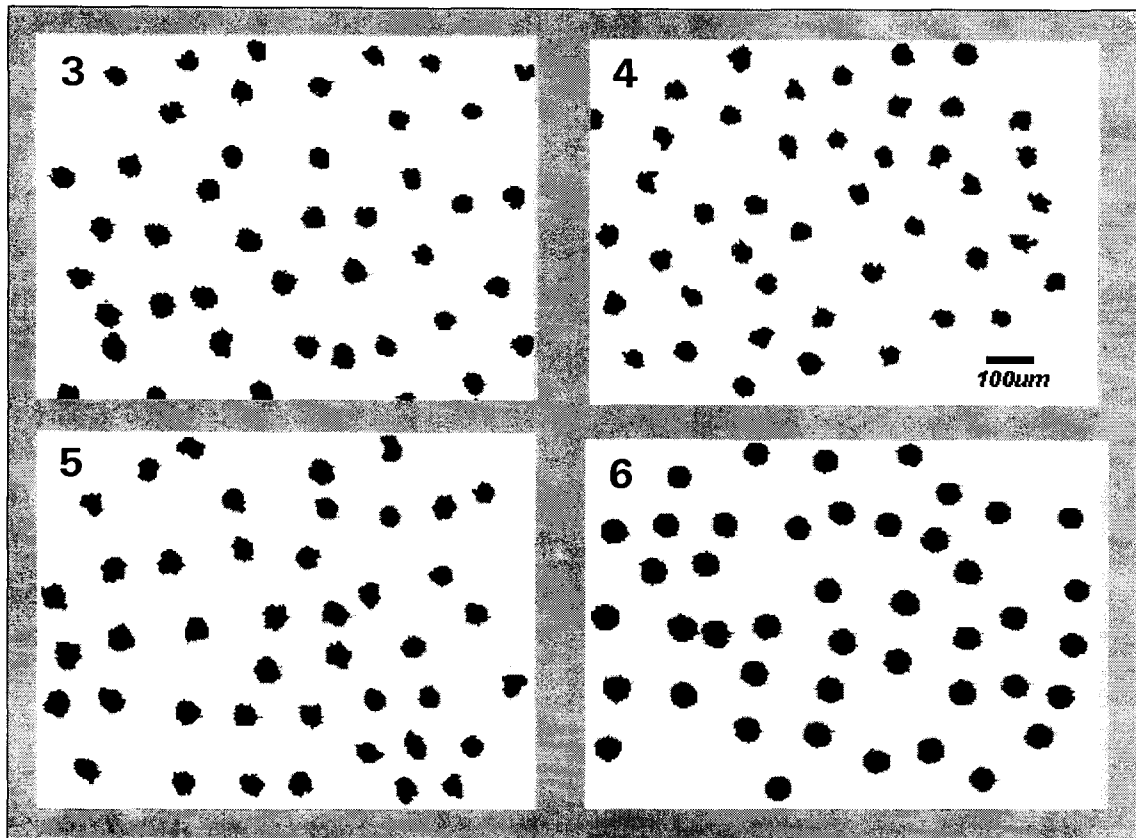


Fig. 5 Binarized dot images on inkjet grade coated paper/films(E brand).
(3) E-SF; (4) E-PQ, (5) E-PP; (6) E-GF

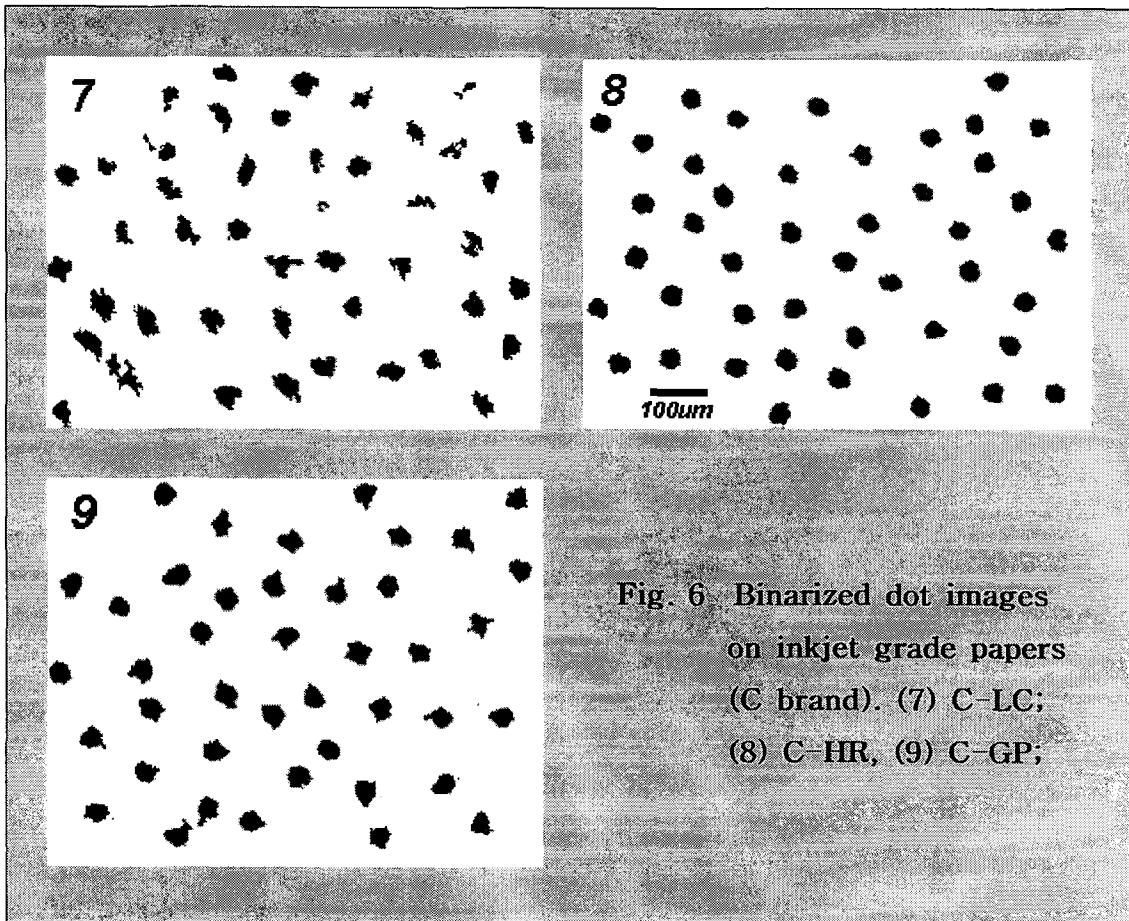


Fig. 6 Binarized dot images
on inkjet grade papers
(C brand). (7) C-LC;
(8) C-HR, (9) C-GP;

흡액 곡선으로부터 실제의 잉크 방울이 종이에 흡수되는 시간을 평가해 보면, 먼저 망점 평가에서 가장 작고, 원에 가까웠던 No.8(C-HR)의 망점의 크기는 약 $60\mu\text{m}$ 였다. 이 경우 종이에 부딪힌 잉크 방울이 거의 그대로 망점을 형성한다고 생각할 때 잉크방울의 직경을 $60\mu\text{m}$ 라고 가정하면 잉크방울의 면적을 투영 면적으로 나눈값 즉 $4r/3 = 40 \times 10^{-6} \mu\text{m} = 40\text{mL}/\text{m}^2$ 가 단위면적당의 흡액량이 된다. 각시료의 흡액곡선이 이 수준(그림에 수평의 점선으로 나타내고 있다)을 넘을 때까지의 시간을 구하면 Table 2와 같이 된다. 단지 이것은 물일 경우의 값이며 10~20%의 습윤제를 포함하고 있는 잉크의 침투는 물보다도 빠를 것으로 사료된다. 그러나 여기서는 종이 표면의 흡액특성을 나타내는 지표로서 위에서 구한 시간을 「잉크방울 흡수시간」으로 하여 망점의 해석에 적용하고 있다.

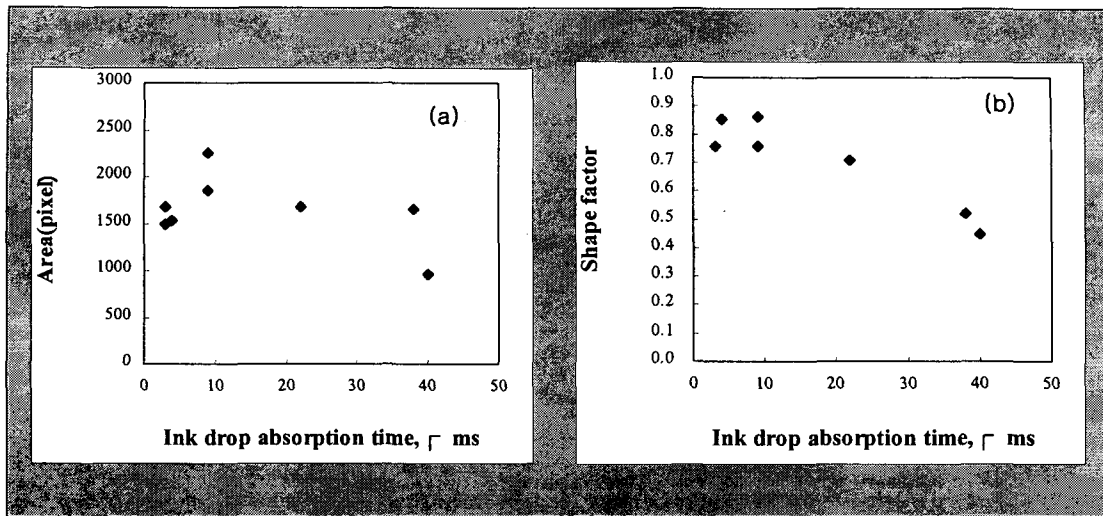


Fig. 7. Correlations of (a) area and (b) shape factor of dots with ink droplet absorption time based on Table 2.

잉크 방울 흡수시간과 앞에서 설명한 망점의 특성을 프롯트하면 Fig. 7과 같이 된다. 일반적으로 흡수가 빠를수록 면적이 작을 것으로 예상할 수 있지만 실제로는 그렇게 나타나지 않았다(Fig. 7a). 이것은 잉크 방울의 옆으로 퍼짐이 액체와 표면의 접촉각, 표면 거칠기, 수용층 내부의 공극구조 등 다수의 인자에 의해 영향을 받기 때문이라고 사료된다. 이것에 대해 진원도는 흡수시간과 단순히 부의 상관관계를 보여 흡수가 늦어지면 불규칙하게 되기 쉬운 것으로 나타나고 있다.

무광택(E-SF) 및 광택(E-PP)의 잉크젯용 도공지의 표면을 SEM사진(저배율)으로 살펴보면(Fig. 8) 후자는 전자에 비해 전체적으로 평활하지만 할열 모양이 관찰되고 있음은 주목 할 만하다. 이것은 칼렌더링 처리할 때 생긴 것으로 생각되며 이급을 따라 잉크가 확산되어 앞에서 언급한 페더링(feathering)의 원인이 된다고 생각된다. 같은 시료의 고배율 사진(Fig. 9)을 보면 커다란凹凸의 유무의 차이는 있지만 모든 경우 5~10nm 크기의 실리카겔이라고 생각되는 초미립자가 2차응집하여 미세한 공극을 갖는 수용층을 만들고 있다.

광택처리된 제품은 할열이 형성된 부분이외는 균일하고 평활한 면을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 이상과 같이 광택 처리된 제품과 무광택 처리된 제품의 특징은 다른 시료의 경우도 마찬가지로 나타나고 있다. 또한 광택필름(E-GF)의 표면과 단면을 살펴보면(Fig. 10) 알루미늄의 초미립자로 구성되어 있으며 상당히 균일한 수용층을 만들고 있다. 이와 같이 균일한 수용층이 형성된 경우 원형이면서 균일한 망점을 만드는데 적합한 것으로 사료된다.

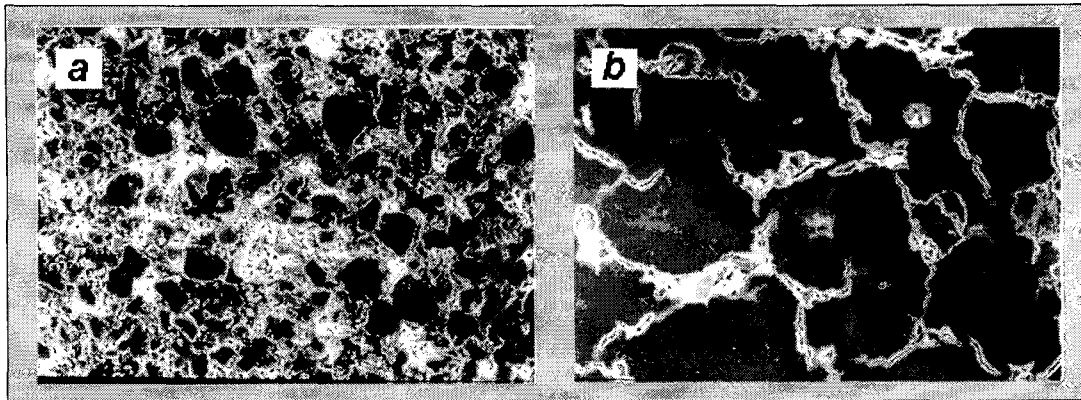


Fig. 8 Scanning electron micrographs (low magnification) of mat coated (a) and gloss coated (b) inkjet-grade papers. Latter has a smooth surface with characteristic cracks.

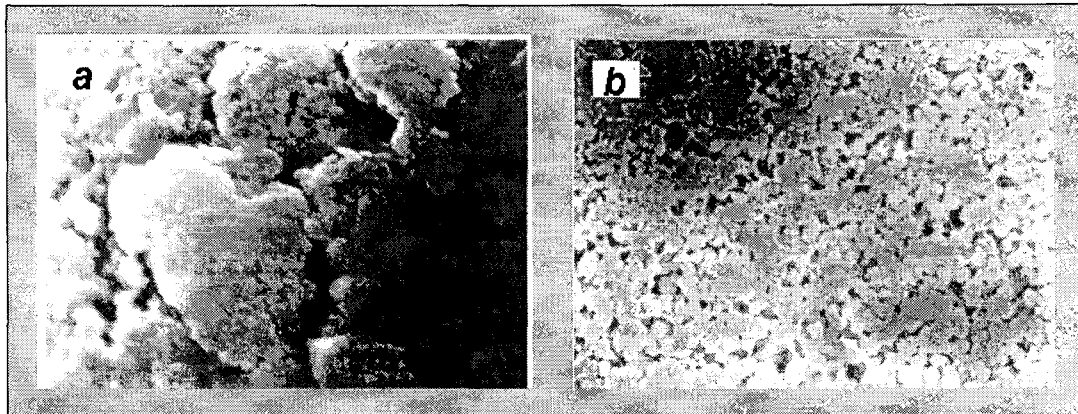


Fig. 9. High magnification images of the same samples as in Fig. 8. Both are composed of the particles of 5-10 nm wide, which are aggregated into larger particles or continuous layer with a flat surface.

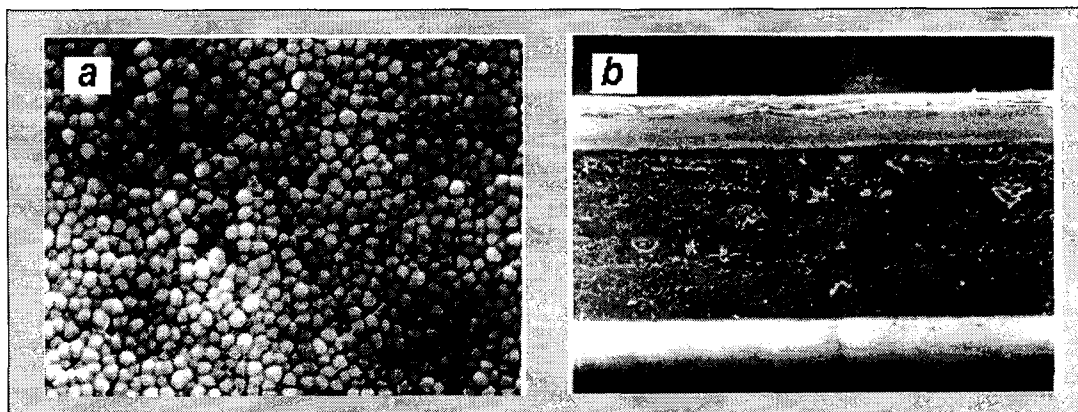


Fig. 10. SEM micrographs of surface (a) and cross section (b) of gloss film (E-GF). Minute alumina particles form a highly uniform and porous hydrophilic layer.

SEM-EDXA로 잉크젯 용지 표면의 원소분석 측정결과를 살펴보면 No.6 (E-GF)은 알루미늄이기 때문에 다른 것과는 전혀 다른 원소조성으로 구성되어 있다. 잉크젯 용지는 전부 클레이나 탄산칼슘 대신에 실리카겔을 사용하고 있다. 이것은 미도공 잉크젯 제품인 No.7의 경우도 마찬가지이며 이 경우는 내침 안료로서 사용하고 있는 것으로 사료된다. 실리카겔을 사용하는 것은 도공층 및 원지층의 친수도를 극대화시키는 것 이외에 굴절율을 떨어뜨려 투명도를 높이는 효과가 있다. 그러나 종이 자체로는 불투명도가 필요하기 때문에 그 기능은 원지층의 안료가 담당하고 있다. SEM-EDXA로 검출되는 깊이는 0.2~0.3 μm 이기 때문에 원지층의 조성은 나타나지 않을 것으로 사료된다.

4. 결 론

동적주사흡액계(DSA)를 이용하여 도공지 표면의 흡액특성을 평가하고 인쇄망점의 화학분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동적주사흡액계를 사용하여 도공지 표면의 단시간 동안의 흡액특성을 신속·간편하게 측정할 수 있었다.
- 2) 비잉크젯 용지에 비하여 잉크젯 용지는 단시간 동안에 현저한 표면 흡액 특성을 나타내었지만 그 특성은 제품에 따라 다르게 나타났다.
- 3) 잉크젯 용지의 도공층은 흡액성을 좋게 하기 위하여 친수성·다공성으로 되어 있어 일반 도공지와는 다른 특성을 나타내고 있다.
- 4) 잉크 흡수시간은 망점면적과 상관관계를 나타내지 않았으나 진원도와는 역상관관계를 나타내었다.
- 5) 광택처리제품의 진원도는 낮게 나타났는데 이는 도공층을 칼렌더 처리 할 때 발생하는 할열 때문인 것으로 사료된다.
- 6) 금후 잉크 제트 프린터의 성능 향상과 용도 확장을 위해서는 도공재료, 도공방식 뿐만 아니라 본 연구에서 밝힌 흡액특성을 최적화 할 필요가 있다.

5. 참 고 문 헌

1. S. Kuga, H. Kataoka and F. Onabe, J. Japan Tappi, 48(5) 730(1994)
2. H. Kataoka, S. Kuga and F. Onabe, J. Japan Tappi, 49(6) 951(1995)
3. S. Kuga, K. Mizushima and F. Onabe, Shikizai. 69(12) 819(1996)
4. T. Sato and S. Kaneko, J. Japan Tappi, 41(8) 33 (1987)

사 사

본 논문의 자료정리 및 SEM 관찰에 도움을 준 동경대학 대학원 농학생명 과학 연구과 생물재료과학 전공 생물소재 과학연구실 김대영군 및 강원대학교 제지공학과 대학원 정경모 연구원에게 깊이 감사드립니다.