

## 특별 강연

### 잉크젯용지의 흡수특성과 인쇄품질

이 용 규

강원대학교 제지공학과

#### 1. 잉크젯 용지의 요구특성

잉크젯 인쇄는 잉크가 매체의 표면에 머물지 않고 내부로 침투하여 정착, 발색하는 점이 특징이다. 이 때문에 인쇄매체의 경우 잉크를 흡수하기 위한 구조가 필요하다. 비도공지의 경우 통상 사이즈처리가 되어 있고, 물을 어느 정도 흡수하지 않도록 되어 있지만, 잉크젯 잉크는 노즐의 건조방지를 위해 습윤제라고 불리는 알콜계 액체(이소프로필 알코올, 에칠렌 글리콜 등, 10~30%)가 첨가되어 있기 때문에 액체의 표면장력이 저하되어 침투하기 쉽게 되어 있다. 이 때문에 보통지(PPC용지 등)를 사용하더라도 어느 정도 사용이 가능하다. 그러나 종이는 직경 5~30 $\mu\text{m}$  정도의 섬유로 되어 있기 때문에 잉크는 섬유를 따라 확산되기 쉽다. 이것이 페더링(feathering)이라고 불리는 도트형상의 흐트러짐의 원인이 된다(그림 1). 또 일반 종이는 불투명도가 높은 쪽이 양호하기 때문에 무기안료(클레이, 탄산칼슘)를 첨가하고 있지만, 잉크젯잉크는 지층에 물들기 때문에 불투명도가 높으면 잉크가 은폐되어 발색이 나쁘게 된다. 이러한 점을 개선하기 위해 행해지는 것이 잉크젯용 도공이다.

일반 도공지는 클레이와 탄산칼슘 등의 무기안료를 바인더 라텍스와 섞어 도포 한다. 이것은 치밀하면서도 소수성의 도공층을 만들기 때문에, 보통인쇄에 사용되는 유성잉크에는 적당하지만 잉크젯잉크에는 적당하지 않다.

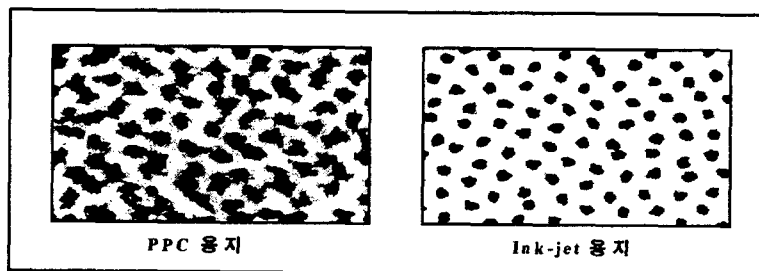


그림 1. PPC용지와 대표적인 잉크젯 도공지의 망점 비교

실제로 사용해 보면 잉크가 완전히 침투하지 않고 표면에 잔류되어 응집되기 때문에 불량하고 좋지 못한 발색이 된다(주사전자현미경사진을 그림 2에 나타내었다).

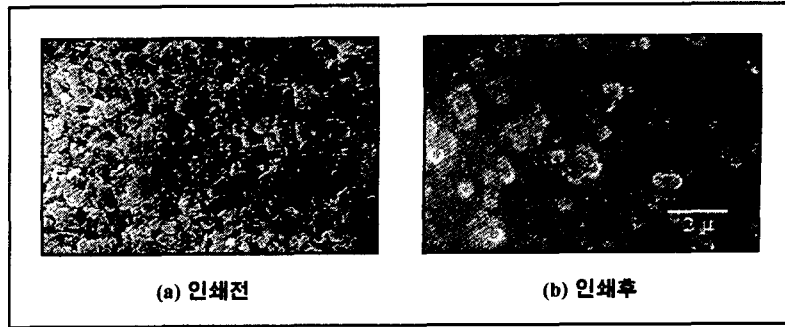


그림 2. 보통 도공지표면의 원상태와 잉크젯으로 민판인쇄한 후의 표면상태

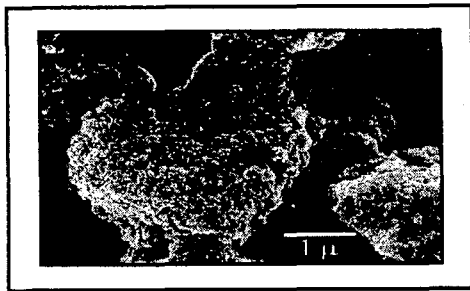


그림 3. 잉크젯용 도공지의 도공면

그래서 잉크젯용에는 친수성이고도 다공성의 도공층이 필요하다. 실제로 잉크젯용 안료와 바인더로는 실리카겔과 친수성 바인더(폴리비닐 알콜이 많다)가 많이 사용되고있다. 이러한 종류의 종이에 잉크가 미세한 공극에 빠르게 침투하고, 작고도 색 농도가 높은 도트가 만들어진다(그림 1, 3).

## 2. 잉크젯 용지의 흡수성 평가

잉크젯용지의 품질은 실제로 프린터로 인쇄해 보면 알 수 있지만, 이것이 불충분한 때에는 어떤 원인에 기인된 것인지를 아는 것이 제품설계 및 품질관리를 위해 중요하다. 그 중에서도 잉크젯 용지표면의 흡액 속도를 평가하는 것은 중요하다. 앞에서 기술한 바와 같이 잉크젯 용지에서는 친수성 도공이라고 하는 특수한 처리가 행해지고 있기 때문에, 그 표면특성의 평가에는 보통의 종이와는 다른 방법이 필요하게 된다. 일반적인 인쇄용지의 흡수, 내수성은 사이즈도라고 하는 용어로 표현되고 있으며, 여러 가지의 평가방법이 있지만 일반적으로 간편한 스테키토법이 많이 이용되고 있다. 그러나, 이 방법은 종이를 두께방향으로 침투하는 것을 평가하는 것이기 때문에, 두께의 영

향을 받거나 또는 안료도공과 같은 표면처리를 행한 종이의 표면특성을 평가하는 것은 불가능하다.

이와 같은 특성을 평가하는 유효한 방법으로 브리스터 측정법(그림 4)이 있는데, 이는 짧은 시간내의 흡액거동을 측정하는 방법으로 1968년에 Bristow가 개발하였다. 이 방법은 작은 직사각형 모양(폭 1mm, 길이 15mm)의 개구부(슬릿트)를 갖는 흡액 헤드에 일정량의 액체를 넣고 이것을 종이에 접촉시켜 일정속도로 표면을 주사하고, 액체가 전이되면서 만들어진 띠모양의 흡수면적으로부터 전이량을 결정한다. 헤드박스의 슬릿트 폭을 회전 휠의 속도로 나눈 것이, 종이 위의 한점이 액체에 접촉한 시간이 되기 때문에, 회전 휠의 속도를 여러 가지로 변화시키면 수밀리초~수초의 범위로 접촉시간을 바꾸면서, 액체의 흡수곡선을 그릴수 있다. 특히 횡축을 시간의 평방근으로 해서 결과를 표현한 것을 「브리스터 곡선」이라고 부른다(그림 5).

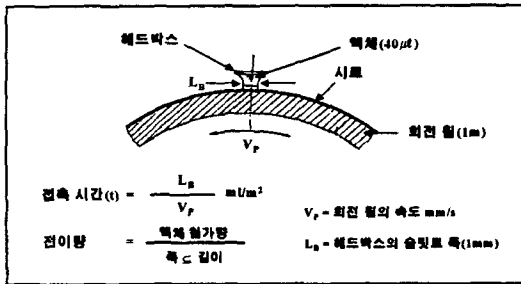


그림 4. Bristow 측정장치의 원리

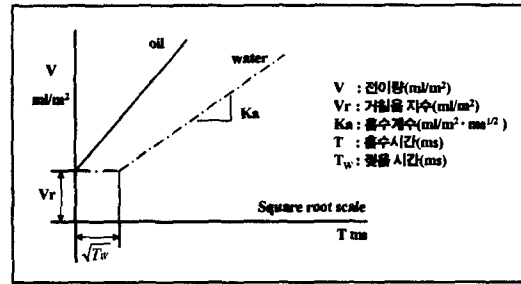


그림 5. Bristow 곡선

브리스터법은 물 이외의 액체에도 적용가능하고 종이의 인쇄, 가공적성의 평가에도 유용하지만 측정에 상당히 시간이 걸리는 점과 커다란 시험편이 필요하다는 단점있다. 최근 이 방법을 컴퓨터 제어에 의해 자동화한 「동적주사흡액계」가 개발되어, 신속·간편한 측정이 가능하게 되었다. 이것을 이용하면 종이·도공지 표면의 단시간내의 흡액거동을 상세하게 추적하는 것이 가능하다.

< 동적주사흡액계(DSA)의 측정원리 >

브리스터법은 일정량의 액체를 넣은 급액헤드를 종이시료위를 일정속도로 직선상으로 주사하여 액체를 종이에 전이시켜 액체가 흡수된 부분의 면적을 측정하여 단위면적당 흡수량을 정한다. 이 때문에 주사속도를 바꿀 때마다 2cm×60cm 정도크기의 가늘고 기다란 시험편을 준비하여 필요한 점의 숫자만큼의 측정을 반복해야한다(보통 8점

정도). 그러나 DSA측정법은 직경 20cm정도의 시료를 턴테이블(turntable)위에 자석으로 고정시키고 액체 공급 헤드(폭 1mm, 길이 5mm)를 접촉시켜 시료위를 나선상으로 주행시킨다. 흡액속도는 헤드에 연결된 capillary내의 meniscus의 이동량으로부터 자동계측된다. 어느시점의 주사속도, 흡액량, 헤드 개구부의 형상으로부터 액체와 시료의 접촉시간 및 단위시간당의 흡액량을 계산하여 접촉시간의 평방근으로 plot한다. 이러한 처리는 전부 실시간(real-time)으로 행해져 컴퓨터 화면에 표시된다. 1회 측정에 5-10분이 소요되며 최고 23개의 데이터를 얻을 수 있다. 그림 6에 DSA장치의 원리를 나타낸다.

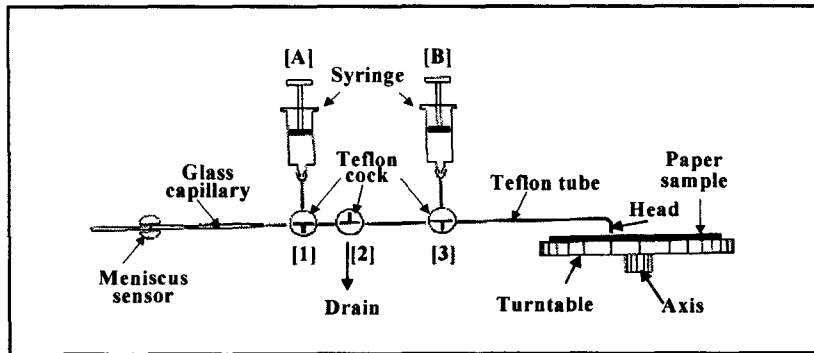


그림 6. 동적주사흡액계(DSA)의 원리

### 3. 잉크젯용지의 흡액거동과 인쇄특성

#### 3.1 용지표면의 흡액거동

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.

표 1에 나타내는 바와 같이 비잉크젯용 제품으로 PPC용지와 클레이 도공 아트지, 잉크젯용지로 7종류의 대표적인 등급을 선정하여 동적주사흡액계(dynamic scanning absorptometry, DSA)를 이용하여 종이의 표면에서 단시간동안 내에 일어나는 흡액 거동과 잉크젯 프린터를 사용하여 인쇄한 인쇄망점의 화상분석을 통해 흡액특성과 인쇄품질간의 상관관계를 살펴보았다.

표 1. 종이사료의 종류와 특성

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

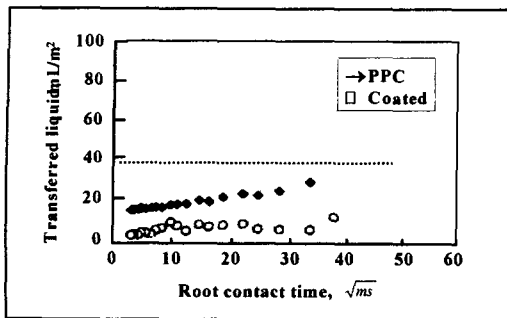


그림 7. 비잉크젯용지(PPC)와 클레이 도공지의 흡액거동

각 시료의 주사 흡액곡선을 살펴보면 잉크젯용지의 경우(그림 8과 그림 9) 비잉크젯 등급(그림 7)에 비해 단시간 동안의 흡액량(吸液量)이 현저하게 많다. 특히 클레이를 도공한 아트지는 거의 물을 흡수하지 않는 것을 알 수 있다. 잉크젯용지의 경우 100밀리초 정도(그림의 횡축은 밀리초의 평방근) 이내에서 현저한 흡액 특성을 나타내고 있지만 곡선의 형태는 제품에 따라 상당한 차이를 나타내고 있다.

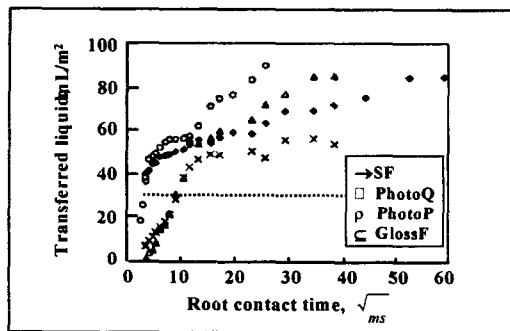


그림 8. 잉크젯도공지 및 필름에서의 흡액거동(E brand)

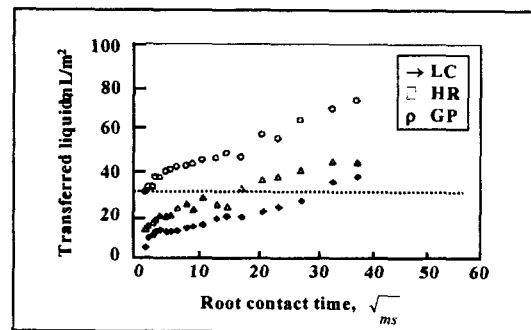


그림 9. 잉크젯도공지 및 필름에서의 흡액거동(C brand)

시료 중에는 광택 처리한 것과 광택 처리하지 않은 제품이 있지만 흡액곡선(吸液曲線)의 경우 광택 처리 유무에 의한 차이는 발견되지 않는다. 이 중에서 저가격의 미도공품(C-LC)은 PPC용지와 비슷한 외관을 갖고 있으며 흡액거동에서도 특별한 차이를 나타내지 않았다.

Gloss F는 기재(基材)가 다른 것과 달리 플라스틱의 필름이기 때문에 물의 침투가 도공층에만 한정되고 있다(횡축의 값으로 20 이후는 거의 수평이다). 이와 같이 잉크젯트용지의 경우가 친수성의 액체를 빨리 흡수한다는 사실이 주사 흡액측정기에 의한 실험을 통해 명백하게 밝혀졌다.

### 3.2 인쇄 망점의 화상 해석

각 시료에 잉크젯트 프린터를 이용하여 인쇄를 행한 후, 얻어진 인쇄물의 망점 사진을 비교해 보면(그림 10~그림 12), PPC용지의 경우 망점(dot)의 형상이 많이 흐트러졌을 뿐 아니라 망점의 색도 옅기 때문에 二值化(binimize)시키면 망점의 면적이 작아지게 된다. 실제로 컬러 화상의 인쇄결과도 잉크젯트 용지에 비해 농도가 낮고 선명도(鮮明度)가 떨어진다.

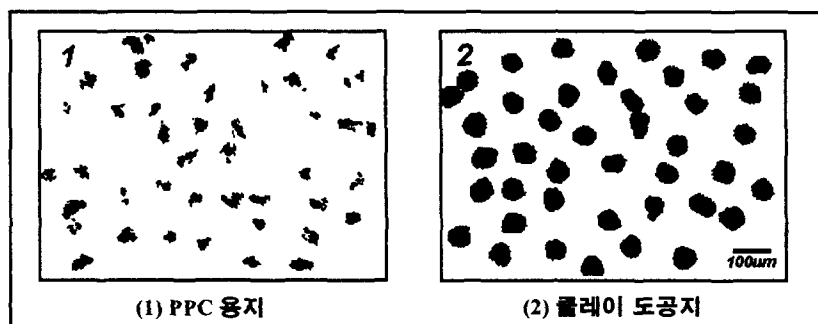


그림 10. 비잉크젯트 용지(PPC용지, 클레이도공지)의 망점

같은 非잉크젯트 등급이라도 아트지의 경우는 깨끗한 원형 망점을 나타내고 있다. 그러나 이 망점은 잉크젯트용지의 망점보다 상당히 크다(그림 11, 12). 이것은 아트지의 경우 그림 12에서 볼 수 있듯이 잉크를 전혀 흡수하지 않기 때문에 잉크가 표면에 퍼지면서 건조되어 형성된 망점이 크게 되었기 때문이다. 이 때문에 아트지에 인쇄한 컬러화상은 다른색 잉크가 서로 섞여서 극도로 품위가 저하된 형태의 인쇄 화상을 나타내고 있다.

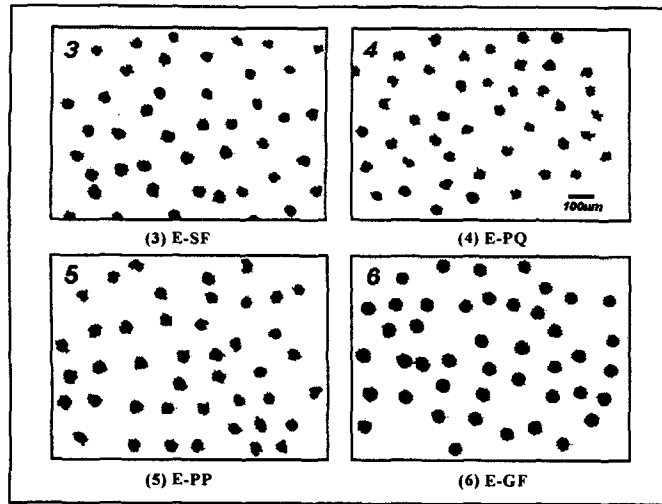


그림 11. 잉크젯트 용지 및 필름의 망점(E brand)

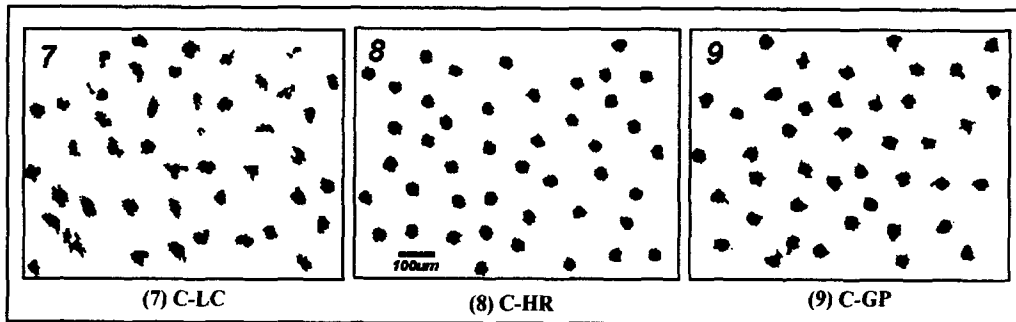


그림 12. 잉크젯트용지의 망점(C brand)

잉크젯트 용지의 경우 미도공지의 C-LC는 형상의 흐트러짐(feathering)이 현저하지만 PPC용지보다는 확실한 윤곽을 나타내며, 화상도 PPC용지보다 선명하다. 도공된 제품은 모두 원에 가까운 균일한 망점을 보이고 있다. 그 중에서도 광택필름(No. 6, E-GF)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. 4, 5, 9)의 망점은 작고 선명하지만 약간의 페더링(feathering)을 보이고 있다. 광택처리된 제품의 형상이 이와 같이 흐트러지는 이유는 칼렌더링 처리과정에서 할열이 생겼기 때문이라고 분석된다. 그러나 이 정도의 흐트러짐은 육안으로 느낄 수 있는 품질에는 영향을 미치지 않고 광택 처리에 따른 화상의 선명도가 현저하게 나타나고 있다.

### 3.3 흡액거동과 인쇄특성

흡액곡선으로부터 실제의 잉크 방울이 종이에 흡수되는 시간을 평가해 보면, 먼저 망점 평가에서 가장 작고, 원에 가까웠던 No. 8(C-HR)의 망점의 크기는 약  $60\mu\text{m}$ 이다. 이 경우 종이에 부딪힌 잉크 방울이 거의 그대로 망점을 형성한다고 생각할 때 잉크방울의 직경을  $60\mu\text{m}$ 라고 가정하면 잉크방울의 체적을 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 표 2와 같이 된다. 단지 이것은 물일 경우의 값이며 10~20%의 습윤제를 포함하고 있는 잉크의 침투는 물보다도 빠를 것으로 생각된다.

표 2. 각 용지에 따른 잉크방울의 흡수시간 및 망점의 영향인자들

No.	Product name	Feature	Ink droplet absorption time, $\text{ms}^{0.5}$	Area	Shape factor
1	PCC	Uncoated	45(*)	60.4	0.46
2	Art	Clay coated, gloss	$\infty$	227.5	0.77
3	E-SF	Mat coated	3.0	107.3	0.76
4	E-PQ	Gloss coated	3.0	95.0	0.76
5	E-PP	Gloss coated	11	115.3	0.76
6	E-GF	Gloss coated film	11	138.7	0.89
7	C-LC	Uncoated	42(*)	94.7	0.52
8	C-HR	Mat coated	7	96.1	0.85
9	C-GP	Gloss coated	30	104.0	0.71

\* : From extrapolated water absorption curve

그러나 여기서는 종이 표면의 흡액특성을 나타내는 지표로서 위에서 구한 시간을 「잉크방울 흡수시간」으로 하여 망점의 해석에 적용하고 있다. 잉크 방울 흡수시간과 앞에서 설명한 망점의 특성을 plot하면 그림 13과 같이 된다. 일반적으로 흡수가 빠를수록 면적이 작을 것으로 예상할 수 있지만 실제로는 그렇게 나타나지 않는다(그림 13a). 이것은 잉크 방울의 옆으로 퍼짐이 액체와 표면의 접촉각, 표면 거칠기, 수용층 내부의 공극구조 등 다수의 인자에 의해 영향을 받기 때문이라고 생각된다. 이것에 대해 진원도는 흡수시간과 단순히 부의 상관관계를 보여 흡수가 늦어지면 불규칙하게 된다(그림 13b).



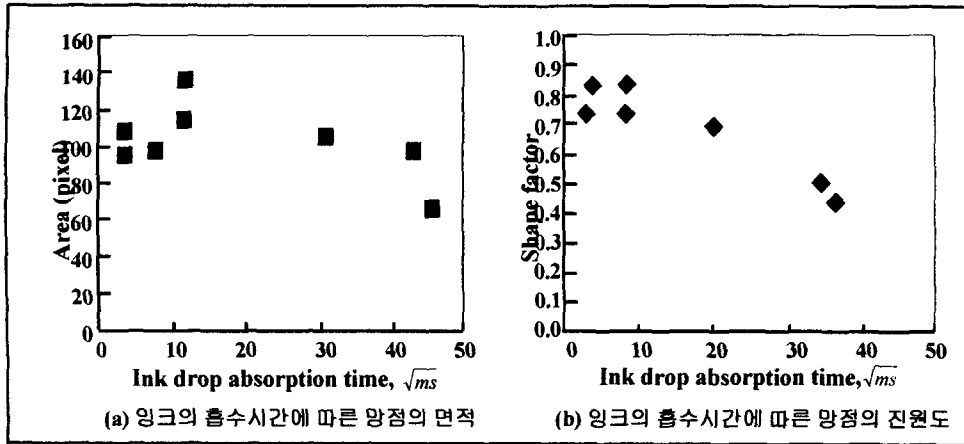


그림 13. 잉크흡수시간에 따른 망점의 면적 및 진원도

#### 4. 잉크젯트 도공층의 표면특성

무광택(E-SF) 및 광택(E-PP)의 잉크젯트용 도공층의 표면을 SEM사진(저배율)으로 살펴보면(그림 14) 후자는 전자에 비해 전체적으로 평활하지만 할열모양이 관찰되고 있음은 주목 할 만하다. 이것은 칼렌더링 처리할 때 생긴 것으로 할열을 따라 잉크가 확산되어 앞에서 언급한 페더링(feathering)의 원인이 된다고 생각된다. 같은 시료의 고배율 사진(그림 15)을 보면 커다란凹凸의 유무 차이는 있지만 모든 경우 5~10nm 크기의 실리카겔의 초미립자가 2차응집하여 미세한 공극을 갖는 수용층을 만들고 있다. 광택처리된 제품은 할열이 형성된 부분이외는 균일하고 평활한 면을 갖고 있는 것을 알 수 있다.

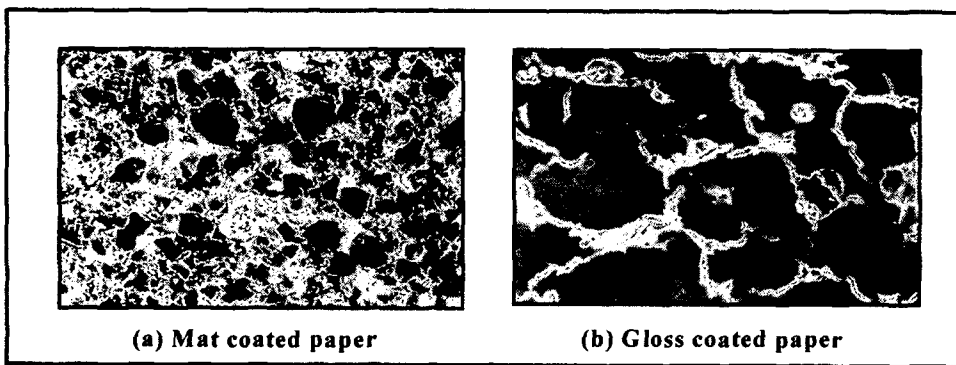


그림 14. 잉크젯트도공지의 주사전자현미경(SEM)사진

이상과 같이 광택 처리된 제품과 무광택 처리된 제품의 특징은 다른 시료의 경우도 마찬가지로 나타나고 있다. 또한 광택필름(E-GF)의 표면과 단면을 살펴보면(그림 16) 알루미늄의 초미립자로 구성되어 있으며 상당히 균일한 수용층을 만들고 있다. 이와 같이 균일한 수용층이 형성된 경우 원형이면서 균일한 망점을 만드는데 적합한 것이다.

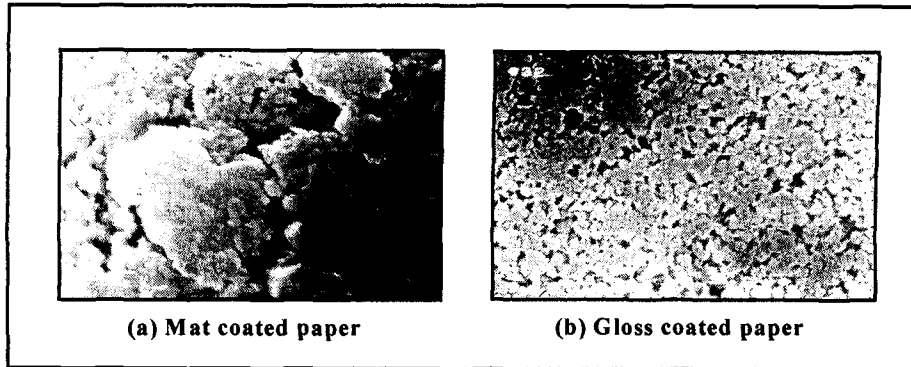


그림 15. 잉크젯도공지의 주사전자현미경(SEM)사진(코배율).

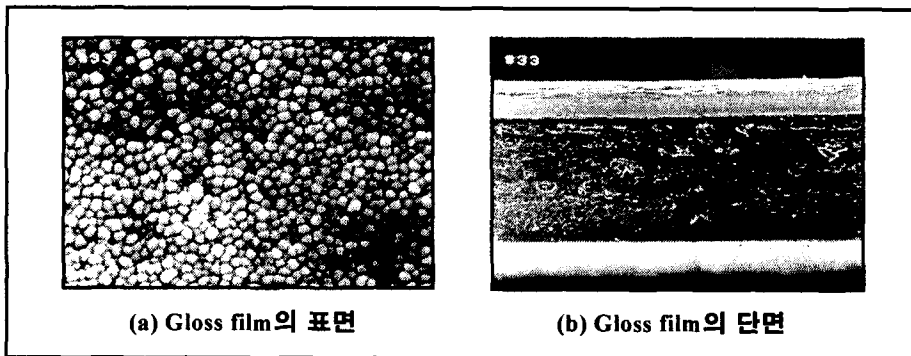


그림 16. 잉크젯용 광택필름표면 및 단면의 주사전자현미경사진

주사전자 현미경 관찰로부터 PPC용지, 오프셋 인쇄용지, 잉크젯 용지 및 잉크젯 필름의 표면구조를 검토한 결과 다음과 같이 분류할 수 있다(그림 17).

1) 비·미 도공형

PCC 용지나 일부 잉크젯용 도공지는 종이 표면에 섬유가 노출되어 있다. 잉크젯 용 미도공지의 경우 이러한 섬유사이에 소량의 도공입자가 존재하지만 감촉은 PPC용지와 아주 비슷하고 양면인쇄가 가능한 종이가 많다.

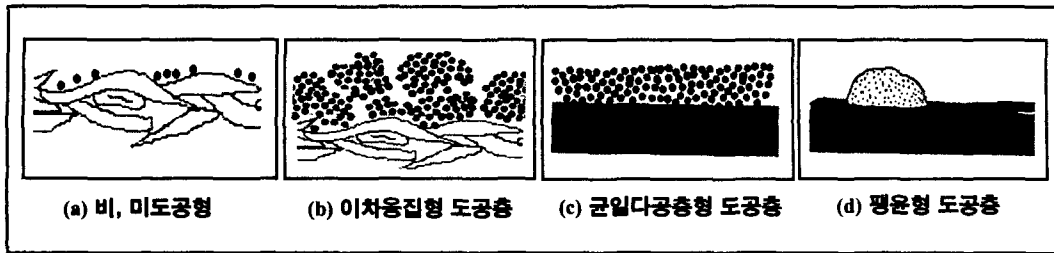


그림 17. 잉크젯용지의 표면구조

## 2) 클레이 도공형

이것은 오프셋 인쇄용 아트지에서 볼 수 있는 도공층이다. 실제로 공극이 별로 존재하지 않고 클레이 사이는 소수성의 라텍스 입자가 있다. 따라서 흡액성은 대단히 나쁘고 잉크젯 인쇄에는 적합하지 않다.

## 3) 2차 응집형 도공층

잉크젯 용지의 대부분은 무광택(매트) 도공이 이루어 지지만 이 도공층은 액체 흡수성이 좋은 안료 미립자가 다수 응집된 조대입자로 형성되어 있다. 전이된 액체는 이 입자 사이의 공극으로 부터 빠르게 도공층 내부로 침투하고 바로 응집입자 내의 미세한 공극으로 흡수된다.

## 4) 균일 다공층형 도공층

잉크젯용 필름은 원지층에 따라 OHP 필름과 광택필름 2종류로 분류된다. OHP 필름은 투명 PET표면, 광택필름은 백색 PET 표면에 각각의 잉크 수용층을 도공한 것이다. 이 2종류의 잉크젯용 필름은 균일 다공층형과 팽윤형으로 나누어진다. 균일 다공 구조의 도공층은 표면이 평활한 필름(평활필름)이 사용된다. 표면은 실리카 입자가 긴밀하게 배열되어 있어 미립자 사이에 형성되는 공극은 매우 균일한 다공구조로 이루어져 있다. 접촉한 액체는 빠르게 흡수되어 이 도공층을 포화시키기 때문에 발색성과 해상도가 뛰어나다.

## 5) 팽윤형 도공층

잉크젯용 필름 중에도 표면의 촉감이 까칠까칠한 필름(粗面필름)이 이에 해당하며 도공층은 겔상의 막으로 되어 있어 잉크와 접촉하면 일단 팽윤된다. 인쇄과정에서는 팽윤된 도공층위의 잉크가 건조되면서 표면 위의 요철은 소실된다.

SEM-EDXA로 잉크젯 용지 표면의 원소분석 측정결과를 살펴보면 No. 6(E-GF)은 알루미늄이기 때문에 다른 것과는 전혀 다른 원소조성으로 구성되어 있다(그림 18). 잉크젯 용지는 전부 클레이나 탄산칼슘 대신에 실리카겔을 사용하고 있다. 이것은 미도공 잉크젯 제품인 No. 7의 경우도 마찬가지이며 이 경우는 내첩 안료로서 사용하고 있는 것으로 사료된다.

실리카겔을 사용하는 것은 도공층 및 원지층의 친수성을 극대화시키는 것 이외에 굴절율을 떨어트려 투명도를 높이는 효과가 있다. 그러나 종이 자체로는 불투명도가 필요하기 때문에 그 기능은 원지층의 안료가 담당하고 있다. SEM-EDXA로 검출되는 깊이는 0.2~0.3 $\mu$ m이기 때문에 원지층의 조성은 나타나지 않을 것으로 사료된다.

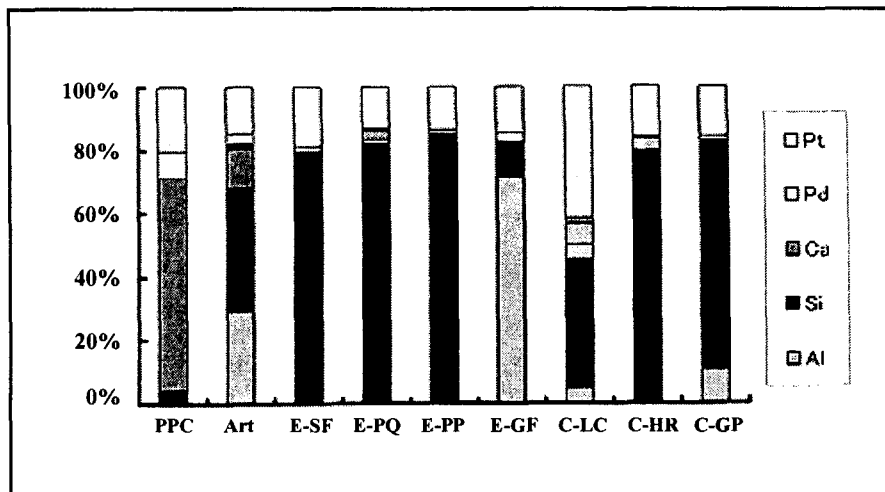


그림 18. SEM-EDXA에 의한 종이사료표면의 원소 분석

### 5. 잉크젯용지의 개발동향과 전망

잉크젯용지중 보통 등급은 가격이 싸지만 도공량이 적고 감촉이나 인쇄품질이 일반종이에 가깝다. 중급품은 백색도가 높고 인자의 발색도가 양호하지만, 통상 매트도공지이다. 그러나 잉크젯의 성능을 나타내는 칼라화상, 특히 칼라사진의 출력에는 작업 후 광택이 크게 인상(印象)을 좌우한다. 따라서 최근에는 광택도공의 제품이 다수 제공되고 있다. 이 등급은 모두 인자품위는 상당히 높지만 일반적으로 가격이 비싸기때문에 손쉽게 이용할 수 있는 상황은 아니다. 이것은 잉크젯 도공의 특수성에서 오는 제약으로 보인다. 다시 말해 보통의 안료 도공에서는 판상의 클레이 입자가 밀집된 도공층

을 만들기 때문에 평활한 표면을 얻기 쉽고, 또한 도공 후에 카렌더 처리를 행하여 광택을 부여하는 것이 가능하다. 이것에 비해 잉크젯 도공에서는 흡수성이 요구되어 다공질의 실리카를 이용하기 때문에 표면이 거칠게 된다. 그리고 열가소성의 소수성 라텍스를 바인더로 이용하는 것이 어렵기 때문에 카렌더 처리에 의한 광택화가 어렵다. 이 때문에 잉크젯용지의 경우는 도공 직후에 경면롤에 의해 누르면서 건조하는 캐스트 도공으로 행하지 않으면 안된다. 이 방법은 일반적으로 저속에서의 작업으로 생산성이 매우 낮아 가격상승의 요인이된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 친수성 뿐만 아니라 열가소성 도공층의 개발이 요구된다.

인쇄 품질면에서는 내수성, 내후성 및 뒤비침의 방지가 최대의 과제이다. 인쇄된 부분의 내수성을 높이기 위해 잉크를 분사하기 전에 그 부분에 내수화제를 도포하는 방법이 실용화 되고 있다. 또 잉크젯은 아니지만 열전사 프린터에서 인쇄전에 투명한 수용층을 종이에 도포하여 평활도와 발색성을 상당히 개선시키고, 더욱 인쇄후에 투명한 층을 도포하여 광택을 부여하는 방식을 실용화하고 있다. 이것은 열전사의 잉크(토너)와 같은 테이프리본으로부터 전사되는데 이와 같은 방법은 잉크젯에도 응용할 수 있는 가능성이 있다.

잉크젯 인쇄는 현재 개인용 컴퓨터의 인쇄수단으로 많이 활용되고 있지만, 다른 방식(칼라 레이저, 열전사)도 품질 및 단가면에서 착실하게 진보하고 있다. 이것과 비교했을 때 잉크젯인쇄의 이점은 프린터가 소형이고 가격이 저렴하다는 점을 들 수 있다. 각 사무실, 가정 등의 공간사정을 생각하면 소형이라는 것도 상당한 의의를 갖고 있으며 잉크젯은 앞으로도 개인용 컴퓨터의 출력수단으로서 주도적인 위치를 계속해서 점유하게 될 것이다. 속도면에서는 모든 방식간에 큰 차이는 없지만 잉크젯방식의 경우 헤드를 대형화시키면 고속화도 가능하다. 궁극적으로는 왕복운동을 하지않는 전폭헤드에 의해 운전기에 해당하는 속도를 얻을 수 있다. 이 경우에는 현재의 것보다도 잉크의 급속한 정착(흡수·건조)이 필요하기 때문에 수용층의 특성에 대해서도 새로운 기술개발이 요구될 것이다.