

화상분석기와 CLSM을 이용한 침·활엽수 섬유의 배합비에 따른 인쇄화상 분석

이장호 · 박종문[†]

(2002년 7월 12일 접수; 2002년 8월 5일 채택)

Analysis of Printed Image Depending on Mixing Ratios of Softwood and Hardwood Fibers Using Image Analyzer and CLSM

Jang-Ho Lee and Jong-Moon Park[†]

(Received on July 12, 2002; Accepted on August 5, 2002)

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze how the fiber properties and mixing ratio of softwood and hardwood pulp affect on roundness of printed image. Softwood pulp and hardwood pulp were refined to 400 and 600mL CSF by Valley beater and handsheets of 70 g/m² basis weight were made at different mixing ratios of hardwood and softwood pulp. The roundness, dot area, and shape of the printed dot were measured by Image Analyzer. The depths and shapes of the acridine orange penetration into paper were measured by CLSM.

With higher mixing ratio of hardwood pulp, the paper showed higher air-permeability and better formation, especially at lower freeness. The roundness of the printed image became better and the dot size became smaller when the amount of hardwood pulp increased. Penetration depth of acridine orange by CLSM became greater and roundness increased to real circle when the amount of hardwood pulp increased. It was thought that higher mixing ratio of hardwood fibers resulted in efficient penetration by better formation with uniform micro-pore distribution and it increased roundness. It was thought that fiber properties and mixing ratio affected the structure of paper and the shape of the printed dot.

This study showed that the measurement of depth of the liquid penetration into paper without destruction and contact was feasible. Moreover, this method showed that the shape of the liquid penetration was measurable.

keywords : *printed-dot, roundness, formation, air-permeability, penetration depth*

• 충북대학교 농과대학 산림과학부(School of Forest Resources, College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea).

[†] 주저자(Corresponding author) : e-mail: jmpark@cbucc.chungbuk.ac.kr

1. 서론

현대는 정보화 사회이다. 정보화 사회로 바뀌어오면서 여러 가지 정보의 전달수단으로 다양한 매체가 발전하고 이용되고 있다. 방송이나 인터넷과 같은 통신 정보 전달매체가 이용되고 있고, 서적, 신문 등과 같은 문자와 그림 형태의 문서 정보 전달 수단도 많이 이용되고 있다. 문서 정보 전달의 주된 방법은 종이에 잉크를 이용하여 문자나 이미지를 인쇄하는 것이다.

문서 정보로 표현하는 방법의 기재로 이용되는 종이는 목재에서 얻어진 섬유를 균일한 분산을 위해 물과 혼합 시켰다가 다시 물을 제거하여 섬유간의 결합을 통한 네트워크를 형성시켜 만들게 된다. 이러한 종이의 특성은 침엽수와 활엽수 섬유의 배합비, 고해 처리 정도, 충전제 함량, 약품 처리 유무, 사용횟수 등에 따라서 영향을 받게 되고 그와 같은 조건들의 변화를 통해서 최종 목적에 부합하는 제품을 생산하는 것이다. 일반적으로 사용되는 인쇄용지는 크게 비도공지와 도공지로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 섬유의 특성에 따른 인쇄화상의 특성과 액체 침투 깊이를 관찰하고자 하였으므로 도공 특성에 따른 변화를 제외하기 위하여 비도공지를 이용하였다.

Kowalczyk 등¹⁾은 화상분석기를 이용하여 인쇄물 면적의 선명도를 측정하였고, perimeter로 문자의 위킹(wicking)과 페더링(feathering) 정도를 측정하였다. 공초점 현미경은 시료에 파괴나 손상을 입히지 않고 내부 구조의 특성을 나타내는 화상을 생성시켜주는 장치이다. Jang 등²⁾은 펄프 섬유의 절단면의 화상을 광학적으로 관찰하는데 CLSM을 이용하였고, 김 등³⁾은 고해 하중에 따른 섬유의 내부 피브릴화를 정량화하는 연구를 하였다. Moss 등⁴⁾은 fluorochrome를 이용하여 종이의 거칠음도 평가와 미세분의 분포 연구에 CLSM을 적용하였다. 이처럼 제지 분야에 화상분석기와 공초점 현미경의 사용이 활발히 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 화상분석기와 CLSM을 이용하여 인쇄된 화상을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

공시펄프는 침엽수 표백 크라프트 펄프와 활엽수 표백 크라프트를 사용하였다. 인쇄 잉크는 Hewlett Packard사의 흑색 수용성 잉크(870K)를 사용하였고,

염색 시약은 acridine orange를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 수초지 제작

실험실용 Valley beater를 이용하여 5.6kg, 하중 하에서 400, 600mL CSF가 되도록 고해하였다. 각각 고해한 침엽수 펄프와 활엽수 펄프를 0.3%로 희석한 후 평량 70 g/m²으로 초지하였다.

2.2.2 종이 특성 분석

TAPPI standard T 410 om-98, T 220 sp-96과 T 547 pm-88에 의거 평량, 두께, 겉보기 밀도, 투기도를 측정하였다. 기공도는 수은 침투법을 이용한 Micromeritics사의 ASAP2405를 사용하여 측정하였다. 화상분석기와 ImagePro를 이용하여 지합 특성을 측정하였다.

2.2.3 망점 시료 제작

제조한 수초지에 흑색 수용성 잉크(HP 870K)를 사용하여 동일한 망점을 인쇄한 후, 9개의 망점을 각각 올려내어 슬라이드 글라스와 커버 글라스로 밀착시킨 시편을 제작하고 측정하여 평균값을 구하였다.

2.2.4 원형도 분석

화상 분석기로 촬영한 화상을 ImagePro(Ver. 2.0 Media Cybernetics, USA) 프로그램을 이용하여 각 분할선의 길이(l_i)를 측정한 후, 다음의 식을 통해 원형

$$\text{Roundness} = \left[\frac{l_5}{l_1} + \frac{l_6}{l_2} + \frac{l_7}{l_3} + \frac{l_8}{l_4} \right] \times 0.25$$

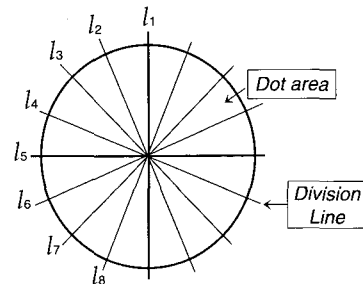


Fig. 1. Diagram of roundness.

도를 계산하였다.

2.2.5 CLSM을 이용한 두께 방향 침투 깊이 측정

증류수에 형광염료(acridine orange)를 용해한 용액을 비워둔 HP 870K 블랙 카트리지에 충전 후, 프린터를 이용하여 화상을 출력하였다. 화상의 침투깊이 측정을 위해 공초점 현미경을 이용하여 Z 방향으로 스캐닝 하여, 용액이 침투된 깊이를 관찰하였다

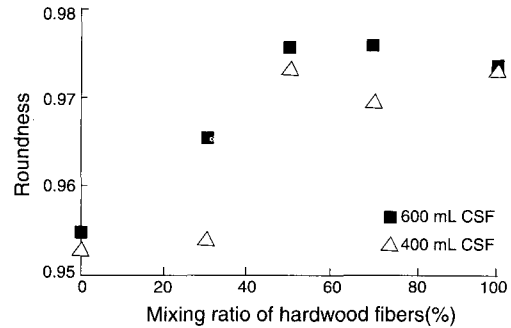


Fig. 2. Roundness of paper made of mixed pulps at different freeness.

3. 결과 및 고찰

여수도와 침·활엽수 펄프 배합비에 따른 실험결과는 Table 1과 같다. 뒤에서 언급하는 Fig. 2-Fig. 9의 데이터는 Table 1을 이용하여 그린 그래프이다.

3.1 원형도

3.1.1 고해도의 영향

잉크젯 인쇄 용지는 인쇄 잉크의 흡수가 빨라야 하고 브리딩과 위킹이 최소화 되어야 한다. 위와 같은 특성을 가지는 종이에 인쇄된 화상은 선명하게 나타나게 된다.⁵⁾

인쇄는 섬유로 구성된 종이 위에 잉크라는 매체가 전이되어 화상을 재현하는 것이다. 그러므로 인쇄는

섬유 형태와 특성에 관련이 있다. 잉크젯 프린터를 이용해 인쇄했을 때 침엽수와 활엽수의 혼합비에 따른 인쇄 망점의 원형도를 Fig. 2에 나타내었다. 먼저 활엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 원형도가 향상되며, 600mL CSF로 고해한 펄프로 초지한 종이보다 400mL CSF로 고해한 펄프로 초지한 종이보다 원형도가 우수한 것으로 나타났으며, 활엽수 펄프 첨가량 50~100%에서는 큰 차이가 없었다.

이것은 활엽수 펄프가 침엽수 펄프 보다 상대적으로 섬유장이 짧고 세포벽이 두꺼운 섬유로 구성되어 있어 종이의 밀도가 낮아 잉크 번짐이 적고, 두께 방향으로의 침투가 증가했기 때문이라고 생각된다. 고해의 영향을 적게 받은 활엽수 펄프 섬유로 초지한 종이는 본래 형태가 크게 변하지 않고 종이 구조내 미세한 공극이 많아 망점의 원형도가 더 우수하게 나타났다고 판

Table 1. Properties of paper and printing quality depending on freeness and mixing ratios of softwood and hardwood fibers

	600 mL CSF					400 mL CSF				
	Sw(%)	Hw(%)	Roundness	Formation index	Dot area(pixels)	Apparent density (g/cm ³)	Porosity(%)	Acridine roundness	Penetration depth (μm)	Air-permeability(sec.)
Sw(%)	100	70	50	30	0	100	70	50	30	0
Hw(%)	0	30	50	70	100	0	30	50	70	100
Roundness	0.9546	0.9654	0.9757	0.9758	0.9735	0.9529	0.9542	0.9734	0.9694	0.9729
Formation index	0.064	0.0625	0.062	0.0615	0.0611	0.0639	0.0631	0.0615	0.0612	0.0603
Dot area(pixels)	130,828	128,237	125,553	124,665	122,157	134,050	130,962	129,300	127,961	123,978
Apparent density (g/cm ³)	0.6849	0.6579	0.5921	0.6140	0.5665	0.7487	0.7424	0.7234	0.7278	0.7093
Porosity(%)	56.1	57.7	59.4	66.2	61.8					
Acridine roundness	0.9291	0.9402	0.9420	0.9432	0.9529	0.9292	0.9330	0.9438	0.9422	0.9457
Penetration depth (μm)	99.9	102.3	107.5	106.7	110.9	90.6	91.9	92.9	93.0	102.3
Air-permeability(sec.)	14.4	8.0	5.0	3.7	2.0	124.6	95.0	47.4	34.0	20.8

단된다.

이는 동일 여수도로 고해하였을 때 섬유의 특성 변화는 침엽수 섬유가 활엽수 섬유보다 고해 후의 특성 변화가 더 크게 일어났기⁶⁾ 때문이라고 판단된다. 활엽수 섬유를 50% 이상 첨가한 후에는 원형도의 변화가 거의 없는 것은 침엽수 펄프 혼합을 감소와 함께 침엽수 펄프의 단섬유화와 유연성의 증가로 활엽수 섬유 특성을 나타내는 영역이 지배하게 되어 원형도에 있어서 큰 차이를 보이지 않았다고 생각된다.

고해도 400mL CSF로 혼합 초지한 종이에 인쇄된 망점의 원형도는 고해도 600mL CSF로 고해된 종이고와 마찬가지로 침엽수 펄프 100%로 만들어진 종이고보다 활엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 원형도가 향상됨을 알 수 있었다. 고해도 600mL CSF의 경우와 마찬가지로 활엽수 펄프 50% 이상 첨가에서는 큰 변화가 없음을 나타내었는데 이 또한 장섬유인 침엽수 펄프의 혼합량 감소와 고해로 인한 단섬유화 및 유연성의 증가로 활엽수 펄프의 역할을 대신해 주고 있기 때문이라고 생각된다. 따라서 활엽수 펄프를 50% 이상 첨가 하게 되어도 원형도 향상에는 큰 효과가 없음을 알 수 있었다.

3.1.2 겉보기 밀도의 영향

600, 400mL CSF로 고해하여 혼합 초지한 종이의 겉보기 밀도와 원형도의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 겉보기 밀도는 흡수와 인쇄적성과 같은 특성에 영향을 미친다.⁷⁾ 그러므로 종이는 내부 구조에 따라서 잉크와 같은 액체와 접촉할 때 Z 방향의 흡수와 침투에 영향을 받게 된다. 활엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 밀

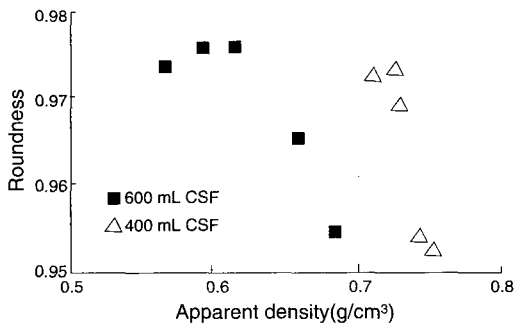


Fig. 3. Comparison of roundness and apparent density of paper made of mixed pulps at different freeness.

도가 낮아졌다. 이것은 침엽수 펄프가 활엽수 펄프 보다 고해가 유리하여 섬유의 피브릴화(fibrillation) 및 내강의 찌그러짐이 향상되어 양호한 섬유간 결합을 형성하므로써 활엽수 펄프 단독으로 초지한 것보다 밀도가 높았다. 원형도는 침엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 불량하게 나타났다. 이것은 침엽수 펄프로 초지한 종이는 치밀한 구조를 가지고 있기 때문에 잉크가 내부로 침투되기보다는 섬유 표면을 따라 거동하기 때문에 불균일한 원형을 나타내게 되었다고 생각된다. 활엽수의 펄프의 경우 침엽수 펄프 보다 섬유장이 짧고 종이내의 공간이 충분하므로 종이 표면으로서 균일한 확산뿐만 아니라 두께 방향으로 흡수가 증가되어 침투 및 이동거리가 보다 짧고 균일한 원형도를 나타냈다고 판단된다.

3.1.3 지합의 영향

Fig. 4는 지합과 인쇄 망점의 원형도의 관계를 나타내었다. 인쇄용지와 필기용지의 중요한 특성인 지합은 종이 내의 섬유 분포의 균일성을 측정하는 것으로, 불균일성(nonuniformity)으로 나타낸다.⁷⁾ 따라서 지합 지수가 작을수록 우수한 지합을 나타낸다. 전체적으로 지합의 변화를 살펴보면 지합은 활엽수 첨가량이 증가할수록 향상되는 것으로 나타났으며, 고해도 400mL CSF가 600mL CSF 보다 지합이 우수한 것으로 나타났다. 또한 지합이 향상됨에 따라서 인쇄 망점이 원형에 가까워진다는 것을 알 수 있었다. 지합이 향상됨에 따라 미세한 공극 구조가 많아져 균일한 잉크의 흡수, 분포로 망점의 원형도가 높아지는 것으로 판단된다.

고해도 600mL CSF로 혼합 초지한 종이의 경우 활

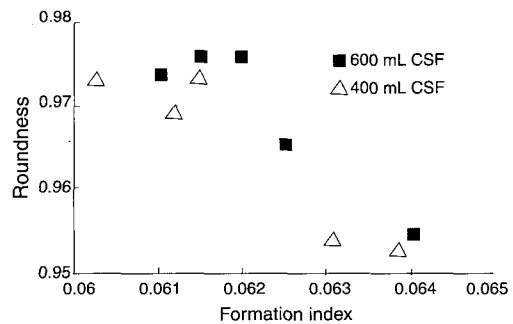


Fig. 4. Comparison of roundness and formation index of paper made of mixed pulps at different freeness.

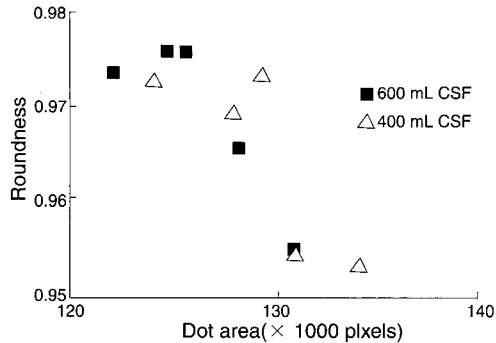


Fig. 5. Comparison of roundness and dot area of paper made of mixed pulps at different freeness.

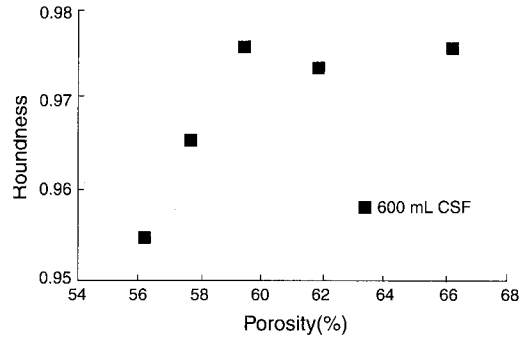


Fig. 6. Comparison of roundness and porosity of paper made of mixed pulps at 600mL CSF.

엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 지합과 원형도가 향상되는 것으로 나타났다. 활엽수 펄프는 상대적으로 침엽수 펄프보다 섬유장이 짧기 때문에 초치시에 섬유간 엉김보다는 분산이 더 효과적으로 일어나 침엽수 펄프보다 좋은 지합 특성을 나타냈다. 또한 종이 표면에 인쇄된 잉크는 섬유를 따라 퍼지게 되는데 섬유가 짧은 활엽수 펄프를 많이 사용했을 때 그 퍼짐이 적고 섬유의 분포가 균일하게 되어있어 원형도가 우수하게 나타난 것으로 생각된다.

섬유간 결합이 증가하여 치밀한 종이구조를 형성하면 미세한 공극에서 모세관현상에 의하여 잉크의 이동이 크게 일어나 원형도가 떨어지고 망점 면적이 커진다고 판단된다.

3.1.4 망점 면적과 원형도의 상호관계

600, 400mL CSF로 고해하여 혼합 초치한 종이의 인쇄 망점 면적과 망점의 원형도의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 활엽수 섬유 첨가량이 증가함에 따라 원형도는 향상되었고, 망점 면적은 감소하였다. 인쇄 시 잉크는 표면의 섬유를 따라 퍼짐과 종이 두께방향으로 침투하는 현상이 발생하게 된다. 활엽수 펄프의 첨가량이 증가함에 따라 종이 구조가 bulk하게 되어 인쇄 시 잉크의 두께 방향으로의 침투가 증가하여 침엽수 펄프의 첨가량이 많은 경우보다 잉크의 퍼짐이 적어 망점 면적이 작게 나타났다고 생각된다. 아울러 망점 면적이 작아질수록 원형도는 향상되는 것으로 나타났다.

3.1.5 기공도의 영향

기공도는 구멍을 가지고 있는 물질에서 나타내며, 물질의 전체 부피에 대한 공극이 차지하고 있는 부피의 비로 나타낸다.⁶⁾ Chapman⁶⁾은 작은 표면적을 가진 공극이 여러 개 있어 공극의 부피가 큰 경우 잉크젯 잉크의 빠른 세팅이 이루어진다고 하였다. 이는 공극량이 많은 경우에는 인쇄된 망점의 면적이 작아지는 결과와 일치한다.

600, 400mL CSF로 고해하여 혼합 초치한 종이의 기공도와 원형도의 관계를 Fig. 6에 나타내었다. 기공도는 원형도의 경우와 마찬가지로 활엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 증가되는 경향을 나타냈다. 이러한 결과로 미루어 보아 활엽수 펄프의 첨가량이 증가하면 종이내의 공극이 많아지게 되고, 인쇄 시 잉크의 표면상의 퍼짐뿐만 아니라 두께 방향으로의 침투가 용이한 조건을 가지게 되어 인쇄 후의 원형도가 더 우수하게 나타났다고 판단된다.

3.1.6 투기도의 영향

투기도는 일정량의 공기가 종이의 두께 방향으로 통과한 시간을 나타내며, 종이 내부의 공극 수, 크기, 형태, 공극 분포에 따라서 상대적인 구조적인 특성을 나타내게 된다.⁷⁾

600, 400mL CSF로 고해하여 혼합 초치한 종이의 투기도와 원형도의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 활엽수 펄프 첨가량의 증가는 투기도와 원형도의 향상을 가져왔다. 이것은 활엽수 펄프 첨가로 인해 종이 내부의 공극이 증가하였다는 것을 나타내며, 이런 구조적

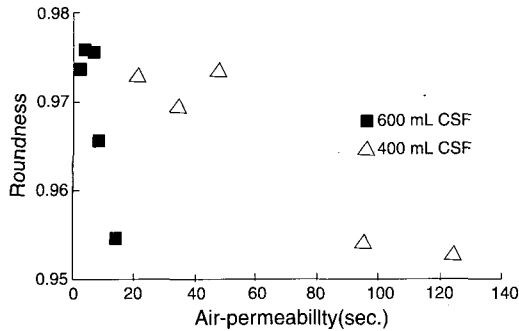


Fig. 7. Comparison of roundness and air-permeability of paper made of mixed pulps at different freeness.

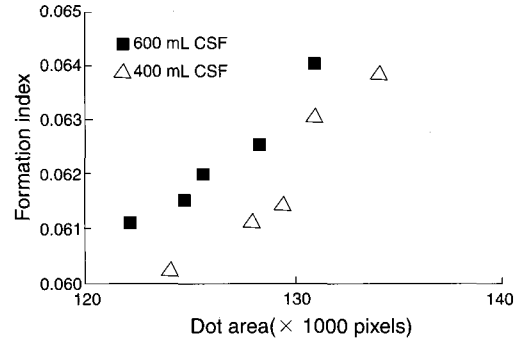


Fig. 8. Comparison of dot area and formation index of paper made of mixed pulps at different freeness.

인 특성으로 인해 인쇄 시 잉크의 두께 방향으로의 침투가 더 용이해진 결과로 판단된다.

3.2 지합과 망점 면적의 관계

600, 400mL CSF로 고해하여 혼합 초지한 종이의 망점 면적과 지합과의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 활엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 지합이 향상되고, 망점의 면적이 작아지는 것으로 나타났다. 이런 현상은 지합에 영향을 주는 섬유 특성의 특성에서 찾아 볼 수 있다. 침엽수 펄프 보다 상대적으로 단섬유인 활엽수 펄프가 첨가됨으로서 섬유의 분산이 효과적으로 일어나게 되어 지합이 향상됨과 동시에 인쇄된 잉크의 퍼짐이 감소하여 망점의 면적이 작게 나타난 것으로 생각된다.

3.3 형광염료 인쇄 망점 원형도와 침투깊이

3.3.1 원형도

고해도 600, 400mL CSF의 펄프로 혼합 초지한 종이에 형광염료인 acridine orange 용액을 프린터를 이용 인쇄한 후 측정된 원형도를 Fig. 9에 나타내었다. 인쇄 잉크의 경우와 동일하게 활엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 종이 내부의 공극이 많아지게 되고, 섬유장이 침엽수 펄프에 비해 상대적으로 짧기 때문에 형광염료의 표면 확산 및 두께 방향으로의 침투가 균일하게 개선되어 원형도가 향상되었기 때문이라고 생각된다.

3.3.2 침투 깊이

고해도 600, 400mL CSF의 펄프로 혼합 초지한 종이에 형광 염료 용액으로 인쇄한 후 CLSM을 이용하여 관찰한 침투 깊이를 측정한 결과와 이미지를 Fig. 9, Fig. 10에 나타내었다. Patrick 등¹⁰⁾은 액체 이동의 새로운 방법을 찾는 과정에서, CaCO₃ tablet의 표면에 떨어뜨린 액체가 기공도가 높은 경우에는 액체의 침투 깊이가 더 깊게 들어간다는 사실을 알았으며, 깊이에 대한 표면의 퍼짐 거리의 비가 작아진다는 것을 밝혀내었다. 인쇄 잉크의 경우와 동일하게 활엽수 펄프의 첨가량이 증가할수록 용액의 침투 깊이가 증가되는 것으로 나타났다. 이것은 앞에서 언급한 것처럼 활엽수 펄프 첨가량 증가에 따른 종이의 구조적

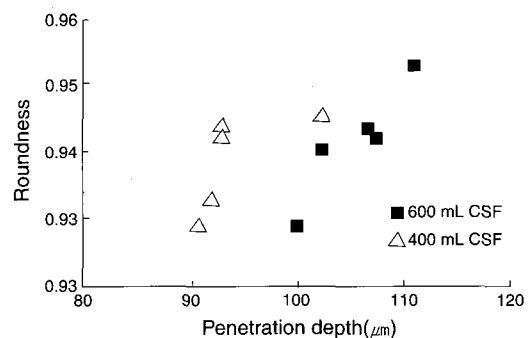


Fig. 9. Comparison of roundness and penetration depth of acridine orange dot image of paper made of mixed pulps at different freeness.

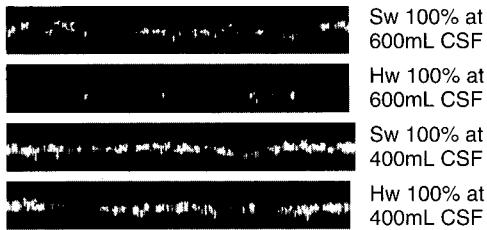


Fig. 10. Image showing penetration depth image of paper using CLSM(dark gray at the top of paper: image of acridine orange, white at the bottom of paper : image of paper).

특성 변화에 의한 것으로, 종이 내부의 기공도가 점점 증가하여 다공성 구조를 나타내므로 액체의 내부로의 침투가 좀더 효과적으로 발생하였기 때문이라고 생각된다.

고해도 차이에 따른 형광 염료의 침투 깊이를 관찰한 결과, 인쇄 잉크의 경우와 동일하게 고해도가 증가할수록 밀도가 증가하므로 인쇄 침투 깊이가 감소하는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

화상분석기와 공초점 현미경을 이용하여 섬유의 특성과 침엽수, 활엽수 펄프의 혼합비가 인쇄 특성에 어떠한 영향을 미치는지 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 침엽수 펄프와 활엽수 펄프 혼합비를 달리한 수조지에 인쇄된 망점의 원형도는 활엽수 펄프 첨가량이 증가할수록 우수하게 나타났다.
2. 고해가 적게 행하여진 600mL CSF의 경우가 400mL CSF보다 인쇄된 망점의 원형도가 우수하게 나타났다.
3. 활엽수 펄프 첨가량이 증가할수록 지합이 향상되는 결과를 나타내었고, 지합이 우수 할수록 원형도가 우수하게 나타났다.
4. 활엽수 펄프 첨가량이 많은 종이에서 기공도와 투기도가 우수하게 나타났고, 이러한 구조적인 특성을 가지는 종이에 인쇄된 망점의 원형도는 향상되는 결과를 나타내었다.

5. CLSM을 이용한 형광염료로 인쇄한 경우, 망점의 형광염료 침투 깊이는 활엽수 펄프 첨가량이 많은 종이에서 침엽수 펄프 첨가량이 많은 종이보다 더 깊게 침투되었다. 또한 형광염료 인쇄 망점의 원형도는 활엽수 펄프 첨가량이 많은 종이에서 우수하게 나타났다. 동일한 양의 액체가 종이에 접촉할 때 활엽수 펄프 첨가량이 많아 종이 구조가 bulk한 경우에 균일한 확산과 두께 방향으로 침투가 크게 발생하여 우수한 원형도를 나타내었다.

인 용 문 헌

1. Kowalczyk, G. E. and Trksak, R. M., Image analysis of ink-jet quality for multi use office paper, *Tappi J.*, 81(10):181-190(1998).
2. Jang, H. F., Robertson, A. G., and Seth, R. S., Optical sectioning of pulp fibers using Confocal Laser Scanning Microscopy, *Tappi J.*, 74(10):217-219(1991).
3. 김서환, CLSM을 이용한 섬유와 종이물성에 미치는 섬유벽 두께의 영향, 충북대학교 대학원 석사학위 논문 (1999).
4. Moss, P. A., Retulinen, E., and Paulapuro, H., *Paperi Puu*, 75(1-2):74(1993).
5. Boylan, J. R., Using polyvinyl alcohol in inkjet printing paper, *Tappi J.*, 80(1):68-70(1997).
6. 이진호, 섬유의 특성에 따른 종이의 물리적, 파괴학적 특성변화, 충북대학교 대학원 석사학위 논문 (2002).
7. Scott, W. E., Abbott, J. C., *Properties of Paper: an Introduction*, TAPPI Press, p.56-61 (1995).
8. Niskanen, K., *Paper Physics*, TAPPI Press, Atlanta, GA., p.91 (1998).
9. Chapman, D. M., Coating structure effects on inkjet print quality, 1997 Coating Conference, TAPPI Press, Atlanta, GA., 73-93(1997).
10. Patrick A. C., Schoelkopf, G. J., Spielmann, D. C., Matthews, G. P., and Ridgway, C. J., Fluid transport into porous coating structures: some novel findings, *Tappi J.*, 83(5):77-78 (2000).