

## 기능성 섬유를 활용한 한지의 제조

민준기\* · 조중연 · 신준섭 · 류운형

용인송담대학 제지·패키징시스템과

### 1. 서론

최근 정보화 및 디지털 시대의 도래로 새로운 정보매체의 하드카피에 적합한 특수지 및 산업용재 분야에서의 고기능성 종이 제품의 수요는 지속적으로 증가하고 있다. 이와 더불어 특수지의 원료로 기존의 목재 펄프의 한계를 극복하고 다양한 기능을 부여하기 위한 새로운 제지용 소재 개발에 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 목적으로 개발된 첨단 신소재 중의 하나가 텐셀(Tencel)이다. 텐셀은 1990년대 후반에 영국의 Courtaulds사가 개발한 소재로, 화학적 공정을 거치지 않고 물리적 방법으로 제조되기 때문에 그 제조과정에서 인체에 어떠한 해로운 물질을 발생시키지 않으며 환경오염을 시키지 않는 환경 친화적 무공해 섬유로 알려져 있다. 텐셀은 일반 목재 펄프를 amine oxide라는 무독성 용제로 용해하여 천연 셀룰로오스로 만들어 진다. 여기서 사용된 amine oxide는 완벽하게 회수되어지며 필터를 통과한 용액은 작은 구멍을 통과시켜 섬세한 필라멘트 형태로 되며 이 필라멘트를 물로 세척 후 건조시켜 amine oxide를 제거한다. 건조된 필라멘트에 crimp 처리하여 staple fiber가 되는 극히 단순한 공정을 거쳐 생산된다. 건조상태에서 텐셀섬유의 자체강도는 polyester 강도에 가깝고, 습윤 상태에서는 건조강도의 85%를 유지한다. 이러한 이유로 면방업체에 의류용 섬유 재료로 주목을 받고 있다. 텐셀섬유의 가장 중요한 또 다른 특성 중의 하나는 피브릴화(fibrillation) 효과가 일반 목재 펄프에 비해 매우 우수하다고 보고되고 있다. 텐셀섬유의 독특한 피브릴화 특성은 종이에 적용시 비표면적의 증가로 인한 흡착특성이 탁월한 지필의 형성을 가능케하여 높은 흡착능이나 여과능 및 균일하고 미려한 흡수능을 요하는 특수기능지에 응용할 수 있는 잠재력을 가진다고 할 수 있다.

한편 한지의 원료로 사용되는 닥섬유를 100% 사용시 섬유장이 길어 제반 강도는 우수하지만, 서화특성이 저하되는 문제가 발생되므로 이를 해결하기 위해 닥섬유를 일부 혼합하여 서화용지를 제조하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 이제까지 섬유용 신소

재로 사용되어 왔던 텐셀의 높은 흡수성과 피브릴 효과에 착안하여, 텐셀을 닥섬유와 혼용하여 한지의 필기성, 서화특성을 향상시키는 동시에 원료수급의 원활성을 부여할 수 있는 가능성을 파악하기 위한 기초 연구를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 텐셀 섬유의 고해 및 초지 특성 조사

영국 Courtaulds사에서 제조한 텐셀섬유를 5, 12, 30 mm의 섬유장 별로 구입하여 사용하였다. 텐셀 섬유는 Valley Beater를 사용하여 고해를 실시하였으며 고해 시간에 따른 고해도를 CSF 방식으로 측정하였고, 고해 효율을 높이기 위해 PAM과 PEO를 첨가하여 무침가와 비교하였다. 닥섬유는 칼 비터를 사용하여 섬유가 완전히 해리될 때까지 고해시켰다. 고해된 두 섬유를 일정 비율로 혼합하고 분산제로 PAM을 첨가 후, 소형 초지발로 가로뜨기(쌍발뜨기)하여 평량이 약  $30 \text{ g/m}^2$ 이 되도록 초지하였다. 제조된 한지는 압착기로 24시간 가압 탈수시킨 후 열판건조기로 건조하였다. 건조된 한지는 항온항습실(65% RH, 20℃)에서 24시간 보관 후 물성 시험용 시편으로 사용하였다.

### 2.2 텐셀 함유 한지의 물리적 특성 및 현미경적 구조 측정

상기의 조습 처리된 한지의 평량, 두께, 밀도, 열단장, 열단장중횡비, 신장율, 인열지수, 비파열강도, 내절도, 백색도 및 지합을 TAPPI 표준시험방법에 준해서 측정하였다. 또한 공초점 레이저 주사현미경(Confocal Laser Scanning Microscope, CLSM)과 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 한지 내의 섬유 분포, 개별 섬유의 형태 및 크기를 파악하였다.

### 2.3 텐셀 함유 한지의 서화특성 분석

#### (1) 먹피짐 특성

10 cc 주사기에 먹을 채운 후 5 cm 높이에서 한방울씩 한지에 떨어뜨려 먹이 완전히 퍼질 때까지 방치한다. 이것을 화상 분석기를 이용해 면적과 평균직경, 최대 최소 반지름, 원형비율, 이형율을 측정하였다.

화상분석에는 범미유니버스 제품인 BMI plus를 이용하였다. 이 프로그램은 CCD 카메라가 장착되어 있어 CCD 카메라를 통해 먹을 떨어뜨린 종이의 화상을 capture하였으며, capture된 화상은 흑백전환-> 이치화 -> 색반전 -> 자동계측의 과정을 거쳐 면적과 평균직경, 최대 최소 반지름, 원형비율, 이형율 등의 값을 얻었으며 다음과 같이 정의할 수 있다.

면적(A) : 흰색 물체의 픽셀 수

직경(D) : 면적으로부터 계산된다. 즉 물체를 원으로 보고 원의 평균직경으로 나타낸 직경이다.

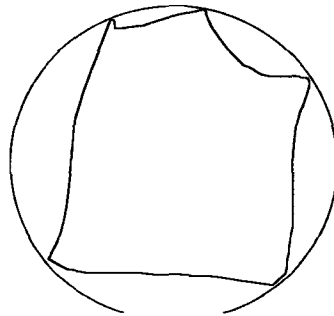
최소반지름(MinR) : 물체 중심에서의 최소거리

최대 반지름(MaxR) : 물체 중심에서의 최대 거리

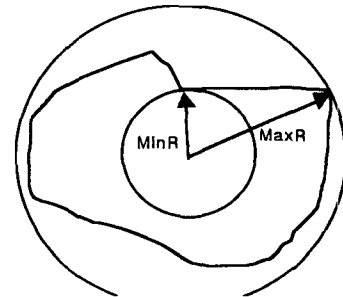
CR(원형비율) : 물체의 원형 비율로서 최소 반지름에 대한 최대 반지름의 비율

Cfill(이형율) : 물체의 이형율로써 물체의 면적을 그 물체의 외접원 면적으로 나눈 값

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$$



$$CFill = \frac{A}{\pi \times MaxR}$$



$$CR = \frac{MaxR}{MinR}$$

## (2) 목즙 흡수속도

공시재료의 흡수속도를 파악하기 위해 시험편을 15mm x 200mm의 스트립으로 재단하여 상단을 고정하고 시험편의 끝을 목즙에 담귀 10분 후에 목즙의 흡수 형태와 높이를 비교하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 텐셀의 고해 및 초지 특성

텐셀을 일반 닥섬유와 동일한 조건으로 칼 비터로 고해를 실시하고자 하였으나 섬유가 비터내에서 뭉쳐 고해가 진행되지 않았다. 이 문제를 해결하기 위해 실험실용 Valley 비터를 사용하여 섬유의 길이를 손상시키지 않는 범위 내에서 고해시간을 단계별로 증가시켜 적정 고해 시간을 선정하였다. 또한 텐셀섬유를 분산시켜 고해를 촉진시킬 목적으로 PAM(polyacryamide)과 PEO(polyethylene oxide)를 첨가하여 고해 효과를 관찰하였다. 텐셀의 섬유특성을 고해 진행중 1분 간격으로 확인한 결과 고해 시간이 약 8분 정도를 경계로 해서 섬유장이 급격히 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 고유의 섬유장을 유지시키는 최대한의 고해시간을 8분으로 정하여 고해도를 측정한 결과 5, 12, 30mm의 섬유장을 갖는 것이 각각 14, 17, 22 ° SR을 나타내었다. 텐셀을 물과 단독으로 혼합하였을 경우보다 분산제를 소량(0.01%) 첨가할 경우 고해시 섬유의 응집이 현저히 저하되었으며, 분산제 중에서는 PAM이 PEO에 비해 우수한 분산 효과를 나타냈다.

섬유장에 관계 없이 텐셀의 함유율이 20% 이상이 되면 습지 상에 텐셀 섬유간 미세 응집이 발생하여 제조된 한지의 지합이 저하되는 것이 관찰되었다. 따라서 현재의 고해 및 분산 방법으로는 텐셀의 혼초 비율을 10 - 20% 정도의 수준으로 유지하는 것이 적당하다고 판단된다.

### 3.2 텐셀 함유 한지의 물리적 특성

텐셀을 함유한 한지의 물리적 특성을 닥섬유만을 100% 사용한 개량한지 및 전통한지와 비교하여 table 1.에 나타내었다. 텐셀의 함유량이 증가할수록 한지의 인장강도, 파열강도, 인열강도가 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 섬유 자체의 강

도는 텐셀이 우수하나, 섬유는 피브릴화가 충분히 진행되지 못하여 섬유간 결합이 제대로 이루어지지 못한 것이 원인으로 판단된다. 이러한 해석은 SEM 사진을 통해서도 확인할 수 있었다. 또한 CONFOCAL 현미경 사진(Fig.3)에서 보는 바와 같이 텐셀은 섬유의 횡단면이 구형으로 이루어져 있어서, 섬유의 횡단면이 타원형의 형태를 갖고 있고, 섬유의 유연성이 상대적으로 높은 닥섬유에 비해 섬유간 결합 면적이 작을 수밖에 없다. 본 연구에서는 고해기로 Valley Beater를 사용하였는데 피브릴화를 유도하기 위하여 고해시간을 증가시킬 경우 섬유장의 급속한 저하가 발생하여 고해도를 증가시키는데 제한이 있었다. 따라서 텐셀을 한지에 성공적으로 적용시키기 위해서는 섬유의 길이는 유지하면서 점상고해를 통해 충분한 피브릴화를 유도하는 고해 방법을 개발하는 것이 무엇보다도 중요한 과제로 판단된다.

텐셀의 섬유장에 따라서 한지의 강도는 일정한 경향을 나타내지 않았는데, 이것은 고해전 개별 섬유의 길이보다는 고해 후 섬유의 구조가 한지의 강도에 더욱 많은 영향을 미치는 것으로 해석된다.

### 3.3 텐셀 함유 한지의 서화특성

목즙의 흡수거동이 화선지의 특성에서 어떠한 현상으로 나타나는가를 서예가와 동양 화가에게 알아본 결과, 붓의 터치(touch) 감각에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 즉 목즙의 흡수력이 지나치게 빠르거나 늦으면 붓 끝에 머물러 있는 목즙이 빨리 흡수되거나 늦어져 획을 긋는 속도를 조절하는데 어려움이 있음을 알 수 있었고, 표면이 너무 미끄러우면 터치 감각을 느낄 수 없어 강약을 조절하기가 어렵기 때문에 약간 거친 면을 선호하는 경향이 많았다. 목즙의 흡수속도 시험결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 텐셀을 첨가하므로 전반적으로 목즙 흡수속도가 증가하는 결과를 나타내었다.

화선지의 경우 주로 그림을 그리거나 글씨를 쓰는 것이 목적이므로 먹퍼짐성이 매우 중요시 된다. 붓글씨를 쓰는 경우 먹이 잘 퍼지게 되면 붓끝의 날카로움이 살아나지 않아서 뭉툭한 형태의 글씨가 되는 반면 먹이 잘 퍼지지 않는 종이는 조그만 붓의 움직임도 포착하게 된다. 이에 따라 화가나 서예가들 각자에게 잘 맞는 종류의 먹퍼짐성이 존재하게 된다. 또 붓이 잘 나가는 정도도 매우 중요하다. 붓이 쉽게 미끄러지는 종지와 잘 미끄러지지 않는 종지를 사용자는 구별할 필요가 있다. 현재까지 종지의 먹퍼짐성은 먹의 번짐의 형태를 육안으로 관찰하여 평가하는 방식을 사용하였으나 본 연

구에서는 Image Analyzer를 사용하여 먹퍼짐 면적, 먹퍼짐 직경, 최소반지름, 최대반지름, 원형비율 및 이형을 등을 통해 보다 정확하고 과학적인 방법에 의해 먹퍼짐성을 평가하였으며 그 결과를 table 2에 나타내었다. T5-10%의 경우 기존 한지에 비해 원형비율과 이형을 모두 다소 우수하게 나타나, 섬유장이 작은 텐셀섬유를 소량(10% 내외) 닥섬유와 혼합초지하여 한지의 서화특성을 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다. 참고로 원형비율은 먹퍼짐의 이방성을 나타내주는 계수로 먹퍼짐이 원형이 아니고 타원형으로 나타나게 되는데, 이때 최대반지름을 최소반지름으로 나누어 줄 때 이 값을 원형 비율이라고 부른다. 원형으로 먹퍼짐이 일어날 때 원형비율은 1.0이 되고 타원형일 때는 1.0보다 크게된다. 이형율은 가상의 원에 대한 변형 정도를 나타내는 개념으로 먹퍼짐이 일어난 후 끝부분이 얼마나 곱게 형성되었는지를 나타낸다. 값이 1.0에 접근할수록 먹이 곱게 퍼짐을 알 수 있다.

#### 4. 결론

섬유용 신소재로 최근에 개발된 텐셀의 특성을 응용하여 한지의 소재로서의 가능성을 모색하였다. 이를 위해 닥섬유와 텐셀을 혼합하여 한지를 제조하고 이들의 서화특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 텐셀을 한지에 효과적으로 적용하기 위해서는 텐셀의 섬유장을 최대한 유지시키면서 섬유의 퍼브릴화를 유도하는 새로운 점상 고해(wet beating) 방법의 개발이 필요하다.
- 2) 텐셀 함유 한지의 강도가 닥섬유만으로 구성된 한지에 비해 전반적으로 저하되었는데, 차후 텐셀의 고해 방법의 최적화를 통해 개선 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 섬유장이 비교적 짧은 텐셀을 10% - 20% 정도 닥섬유와 혼합하여 초지하므로 목줄 흡수 속도, 먹퍼짐성 등 한지의 서화특성을 개선할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.
- 4) 강도보다는 서화특성이 중요한 품질변수인 화선지에 텐셀을 15% 정도 닥섬유와 혼합하여 제품화가 가능할 것으로 생각되며, 10% 정도의 원료비 절감 효과를 기대할 수 있었다.

Table 1. Physical Properties of Hanjis made from stocks with different portion of Tencel

	grammage (g/m <sup>2</sup> )	thickness (mm)	density (g/cm <sup>3</sup> )	breaking length (km)	tear index (mN · m <sup>2</sup> /g)	burst index (kgf/cm <sup>2</sup> · m <sup>2</sup> /g)	folding endurance (No)	formation index
T5-10%	36	0.172	0.210	0.6385	6.52	7.75	38.0	127
T5-20%	31	0.183	0.170	0.785	6.65	8.47	25.5	128
T5-30%	34	0.159	0.210	0.66	5.23	7.55	197.5	128
T12-10%	32	0.178	0.180	0.64	6.65	8.95	76.0	128
T12-20%	34	0.189	0.180	0.57	6.65	8.10	59.0	127
T12-30%	37	0.225	0.165	0.575	5.61	7.90	19.0	129
T30-10%	25	0.119	0.210	1.13	9.08	11.50	145.5	128
T30-20%	33	0.163	0.200	0.755	5.70	7.99	50.5	129
T30-30%	34	0.207	0.162	0.775	4.62	7.57	29.5	127
modified hanji	32	0.137	0.230	1.03	9.20	8.45	119.5	129
traditional hanji	28	0.117	0.240	1.03	7.79	9.83	223.0	128

Table 2. Printing and writing properties of Hanjis containing Tencel

	ink absorption area (mm <sup>2</sup> )	diameter (mm)	min. radius (mm)	max. radius (mm)	Circular ratio	Circular filling
T5-10%	73.4	9.7	4.3	5	1.19	0.85
T5-20%	70.4	9.5	4.1	5	1.29	0.80
T5-30%	92.0	10.8	4.6	6	1.34	0.76
T12-10%	66.1	9.2	3.8	6	1.47	0.69
T12-20%	54.6	8.3	3.5	5	1.43	0.72
T12-30%	56.7	8.5	3.7	5	1.34	0.75
T30-10%	72.3	9.6	4.0	6	1.39	0.74
T30-20%	74.2	9.7	4.2	5	1.29	0.81
T30-30%	61.1	8.8	3.9	5	1.25	0.83
modified hanji	75.0	9.8	4.3	5	1.27	0.81
traditional hanji	78.2	10.0	4.2	6	1.41	0.72



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

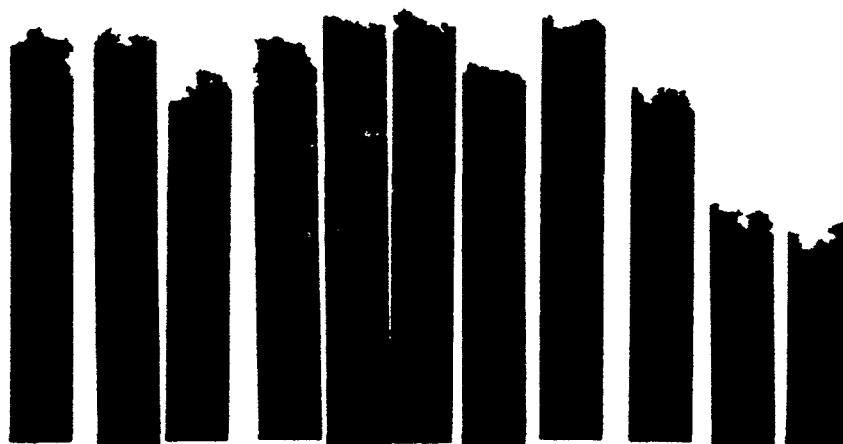
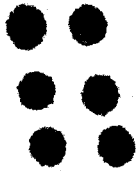


Fig. 1. Absorption rate of China ink

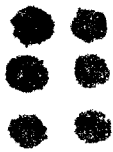
\* 1 : T5-10%, 2 : T5-20%, 3 : T5-30%, 4 : T12-10%, 5 : T12-20%, 6 : T12-30%  
7 : T30-20%, 8 : T30-30%, 9 : modified hanji, 10 : traditional hanji, 11  
T30-10%



T5-10%



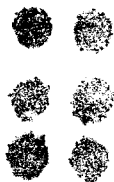
T12-10%



T5-20%



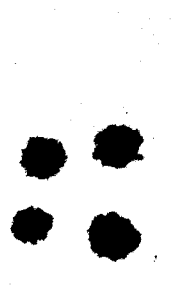
T12-20%



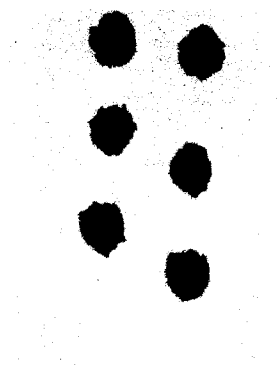
T5-30%



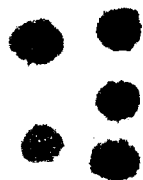
T12-30%



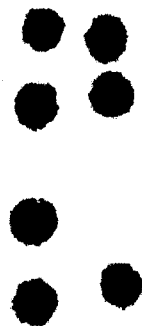
T30-10%



traditional hanji



T30-20%



modified hanji



T30-30%

Fig. 2. Effect of Tencel contents on shapes of Ink blots on Hanjis

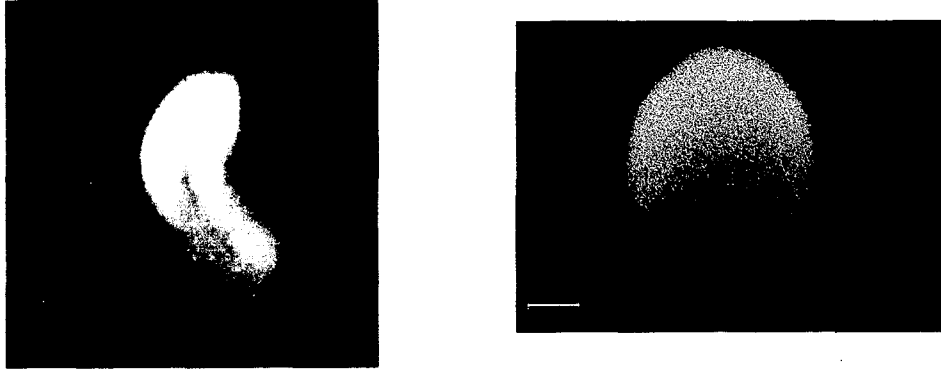


Fig. 3. The cross sectional images of paper mulberry fiber(left) and Tencel(right) by CLSM