

Image analysis에 의한 한지와 화지의 섬유 배향성 연구

한윤희[†], 에노마에 토시하루, 이소가이 아키라

The Study of Hanji and Washi Fiber Orientation using Image analysis
Yoon-Hee Han, Toshiharu Enomae, Akira Isogai

ABSTRACT

To estimate the manufacturing district and generation of ancient paper as a cultural property, fiber orientation is one of the criteria. Image analysis using fast Fourier transform with suitable modifications was demonstrated to be an effective means to determine angle and intensity of fiber orientation as a nondestructive method. Binarization process of microscopic images of paper surface and precise calculation for average Fourier coefficients as an angular distribution by linear interpolation were newly introduced in the procedures to improve the accuracy. This analysis method was applied to digital optical micrographs of paper surfaces. Korea and Japanese traditional hand making papers were well distinguished. Korea and Japanese papers made in the traditional ways showed its own characteristic orientation behavior in accordance with the motion of a bamboo wire.

Keywords : Image analysis, Hanji, Washi, Fiber Orientation, Fourier transform

● 동경대학교 사료편찬소(Historiographical Institutes of The University of Tokyo, Hongo7-3-1, Japan)

* 동경대학교 대학원 생물재료과학전공 제지연구실(Paper Science Laboratory, Department of Biomaterial Science, The University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Japan)

† 주저자(Corresponding author):E-mail: aquar11@naver.com

1. 서론

섬유 배향성이란 종이의 지학적 특성 등에서 커다란 영향을 주는 중요한 구조요인의 한가지이며, 제지분야에서는 섬유 배향성의 특성이 제품의 재질 및 품질 관리에 있어서 중시되고 있다. 이러한 섬유 배향성에 관한 연구를 본 연구에서는 문화재를 수리하는데 사용되는 수복지를 대상으로 실시하였다. 고문서, 사료, 회화 등의 종이 문화재를 보존하고 수리, 복원하는 것은 문화적 혹은 미술적 평가를 계승하기 위한 관점에서 중요하다. 이러한 회화, 고문서등을 수리하는 곳에 사용되는 한지는 원래의 지류 문화재와 가능하면 같은 특성을 유지하는 것이 바람직하다. 이를 위해 원래 문화재와 비슷한 특성을 가진 종이를 선택하기 위하여, 종이의 특성은 지합, 밀도, 색등의 다른 다수의 특성에 의존하고 있다. 본 연구에서는 특별히 종이 배향성에 주목하고 화지와 한지의 특징적인 섬유 배향에서 초지기술의 차이를 측정하기 위해 광택도, 초음파 전도속도 분석, Image analysis 등의 비교 분석을 실시하였다. 한지와 화지의 섬유 배향성을 통한 초지기술의 특성과 그 메커니즘에 대해 규명하였다. 무엇보다도 문화재에 사용될 수 있는 과학적이면서도 비파괴적인 Image analysis[1-5]에 주목하였다.

2. 재료 및 방법

한국과 일본의 전통적인 방법으로 만들어진 종이를 중심으로 살펴보기 위하여 다음의 대표적인 산지의 시료들로 실험을 실시하였다. 화지는 기후현 미농의 하세가와씨가 뜬 미농지(시료 H), 한지는 경기도 가평과 경상남도 의령에서 뜬 한지(각각 G와 U)를 시료를 가지고 비교, 분석하였다. 평량은 H가 61.2g/m², G가 56.9g/m², U는 51.7g/m²이었다. 두께는 H가 0.143mm, G가 0.158mm, U는 0.141mm이었다.

Digital Microscope DG-2(Scholar Co. Ltd)를 사용하여, 초지 초기의 상태의 종이 한 장 중에서 8군데씩을 정하여, 각 앞뒷면에 있어서 100배 배율의 현미경 렌즈로 촬영을 실시하였다. 영상의 중심부는 1024×1024화소부분을 잘라서, 영상에 41×41화소의 블록에 대해서 동적인 방법을 이용하여 2차화를 실시하였다. 이것은 조명의 그림자 등을 제거하기 위한 것이다. 2차원 푸리에 변환 후, 0도에서 180도의 각도를 2048등분을 하여 0~2047×180/2048도까지 2048개의 각 각도에 대해서 거리 (x 및 y의 주파수에서 얻어진

$\sqrt{n_x^2 + n_y^2}$ 에 해당) $r=2\sim 511$ 까지의 푸리에 계수(Fourier coefficients)의 진폭의 평균을 구하였다. 단, 극좌표에 변환하기 위해 XY좌표의 주변 4군데에서 거리에 충분한 수치를 가지고 거리에 대해서 계산하였다. 그리고 1024×1024의 영상수를 가진 표면사진에 동적에 의한 2치화를 실시하여 푸리에 변환을 실시한 뒤, 각 각도에 푸리에 변환 계수를 계산하여 섬유 배열의 방향과 배향강도를 측정하였다.

이것과 거의 똑같은 위치에서 동일 시료에 대하여 60도 광택도 및 초음파 전파 속도를 30도씩 돌려가며 측정하였다. 광택도는 투명도 및 반사광의 방향과 섬유의 방향이 일치하면 높게 나타난다. 초음파는 섬유에 닿아서 전파되므로 섬유의 방향이 있는 곳에서 가장 높은 전파 속도를 나타낸다.

3. 결과와 고찰

3. 1 Image analysis에 의한 한지와 화지의 섬유 배향성 연구 Fig. 1은 시료 H의 섬유 배향 분포를 얻기 위한 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용한 Image analysis의 예이다. 가장 오른쪽의 사진(a)은 시료의 현미경 사진으로 영상 분열법에 의한 동적인 2치화처리 영상(b)을 통해 푸리에 변환 후 파워 스펙트럼의 도면(c)이 된다. 최후의 각도(극좌표의 편각)에 평균 진폭을 얻었다. 더욱더 동일 시료 동일 면내에서 다른 위치 8군데에 대해서도 각각 평균 진폭을 적산한 뒤 그 면의 적산 섬유배향 분포도(d)를 얻었다.

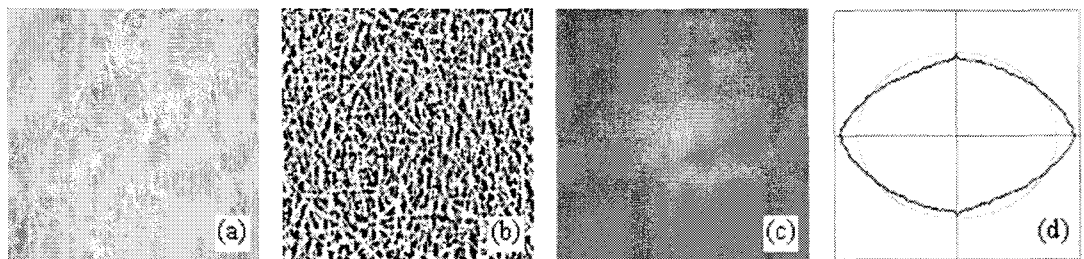


Fig. Micrograph of backside of Washi H with digital optical microscope (a), binary image (b), FFT spectrum (c), distribution diagram of overall fiber orientation (d).

이러한 배향 분포도는 그 면의 전체적(평균적)인 섬유 배향 특성을 나타낸다. 현미경

사진(a)은 전체적인 섬유 배향의 강도와 각도 중에서 가장 근접했던 영상을 한 예로 선택하였다. 섬유 배향분포도에서는 2개의 곡선이 그려나 있으나 하나의 커다란 선은 실제의 형태로 타원형에 접근해 있다. 이 예는 상당히 섬유 배향성 강도가 크고, 배향의 각도는 거의 90°가 되는 경우이다. 이 결과는 앞뒤로 물질과 움직임이 큰 일본 화지의 홀림 뜨기의 전통 기술을 그대로 반영한 것으로 보인다.

한편 Fig. 2 한지의 경우 섬유배향 분포도가 타원에 가까운 형이며, 어떤 방향에서도 섬유가 배향성이 없다. 섬유 배향 강도는 1.02로 상당히 낮다. 섬유 배향 각도를 보면 약 2°(x축의 정방향을 0°방향으로서 반시계 방향으로 돌린다)로 피크가 있다. 이것은 2°방향과 직교하는 92°에 섬유가 배향하고 있다는 것을 표시하나, 섬유배향 강도가 상당히 낮기 때문에 이 경우는 무배향으로 보는 것이 바람직하다. 계산상에서 섬유배향 각도가 반드시 얻어지지만, 이 각도는 특별히 의미가 없다. 단 섬유 배향이 1.10이상이면 강한 배향, 1.05이하이면 무배향이라고 볼 수 있다.

이것을 생각하였을 때 각 시료에 대한 Fig. 1은 발이 닿은 면(Screen side)과 물을 버린 면(Top side)에 대한 섬유 배향 특성을 나타낸다. 발이 닿은 면에 관한 어떤 시료에서든 1.16~1.22의 강한 섬유 배향 강도를 나타냈다. 또한 섬유 각도는 모두 90°이었다. 이러한 90°의 각도는 종이를 뜨는 사람이 발틀을 전후 방향으로 흔들기 때문에 이것이 반영된 결과이다. 이에 반하여 한지 G, U의 경우는 섬유 배향 강도가 낮았으며, 거의 1에 가까웠다. 이는 앞물질 후에 옆물질을 하는 한지의 홀림 뜨기 전통 기술의 특성이 그대로 드러난 결과이다. 특히 이러한 독특한 무배향성은 한지 도구의 발틀이 일본 발틀과는 다른 막힘이 없는 평면형이므로 사방에 단이 있는 갓힌 형태의 틀로 만든 일본 화지에 비해 지물의 이동이 매우 자유로운 요인도 그 원인 중의 하나라고 사료된다.

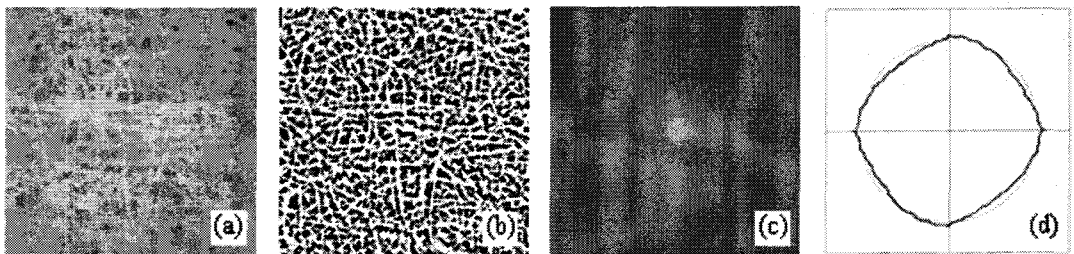


Fig.2 Micrograph of backside of Hanji G with digital optical microscope (a), binary image (b), FFT spectrum(c), distribution diagram of overall fiber orientation (d).

3. 2 광택도에 의한 한지와 화지의 이방성

60° 광택도의 이방성을 나타낸다. 어떤 것이든 광택이 높은 건조시 평활한 판에 붙였던 면을 측정치로 하였다. 한지와 화지는 초지 후에 도침처리(일종의 칼렌더링과 비슷)라는 처리를 실시하는 경우가 있는데, 현대의 한지, 화지에서는 거의 이런 공정은 행하지 않고 있으며, 이러한 처리를 하지 않기 때문에, 공간이 큰 구조를 가진 한지와 화지는 보통 양지 보다 상당히 낮은 광택도를 가지고 있다. 이방성의 관점에서 섬유 배향성을 비교하면 그 수치는 매우 낮다.

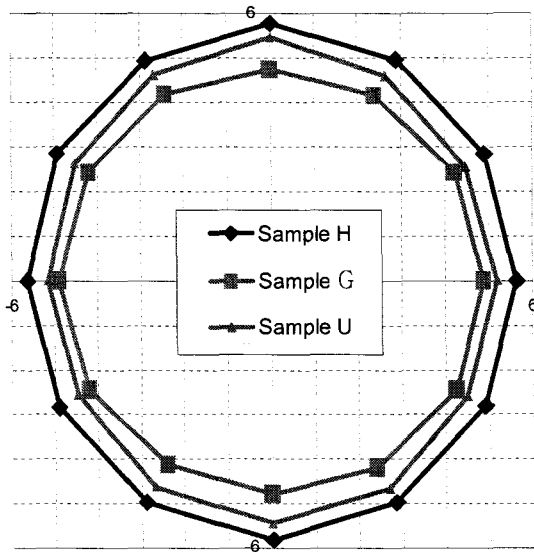


Fig. 3 Anisotropy of 60°gloss of contemporary handmade papers

지와 화지의 경우 100% 0도 방향에 향해 있는 발틀 자체의 이방성이 종이 표면이 형상에 남아 있기 때문에 반사율의 이방성은 섬유 배향의 이방성을 반영하지 않는다고 사료된다.

Fig. 3를 보았을 때, 시료 H는 1.0에서 거의 등방향, 시료 G는 0.95로서 횡방향으로 배향, 시료 U는 종방향으로 배향하고 있다. 단, 종방향은 종이를 뜨는 장인에서 볼 때 전후 방향을 의미한다. 여기서의 결과는 광택도의 이방성에서 화지의 섬유 배향을 특정하지 못한다는 것을 의미한다. 양지에서는 Abe[6]에 의한 연구에 의하면 광반사율에 의해서 종이 표면의 섬유 배향성을 특정하는 방법을 제안하고 있으나, 한

3. 3 초음파 전도 속도 분석에 의한 한지와 화지의 이방성

현대의 한지와 화지에 대한 이방성을 살펴보기 위해, 초음파 전도 속도의 이방성에 대해 실험하였다. Fig. 4는 초음파 전도 속도의 이방성을 나타낸다. Fig의 최대치가 0°방향, 90°방향에서도 초속 4km가 되도록 3종류의 현대 한지와 화지에 대해서 각도별로 조사한 결과이다. 시료 H와 U는 90°방향에 피크가 나타났다.

이에 반해 G의 경우 거의 원에 가까운 타원형의 피크가 나타났다. 또한 시료 H는 U와 비교했을 때 약간 작은 피크를 보였으며, 2중배향을 하고 있는 것을 알 수 있었다. Fig. 1(d)에서는 이러한 경향이 보이지만 타원 근처에서는 이러한 이중경향의 정보를 잃어버린다.

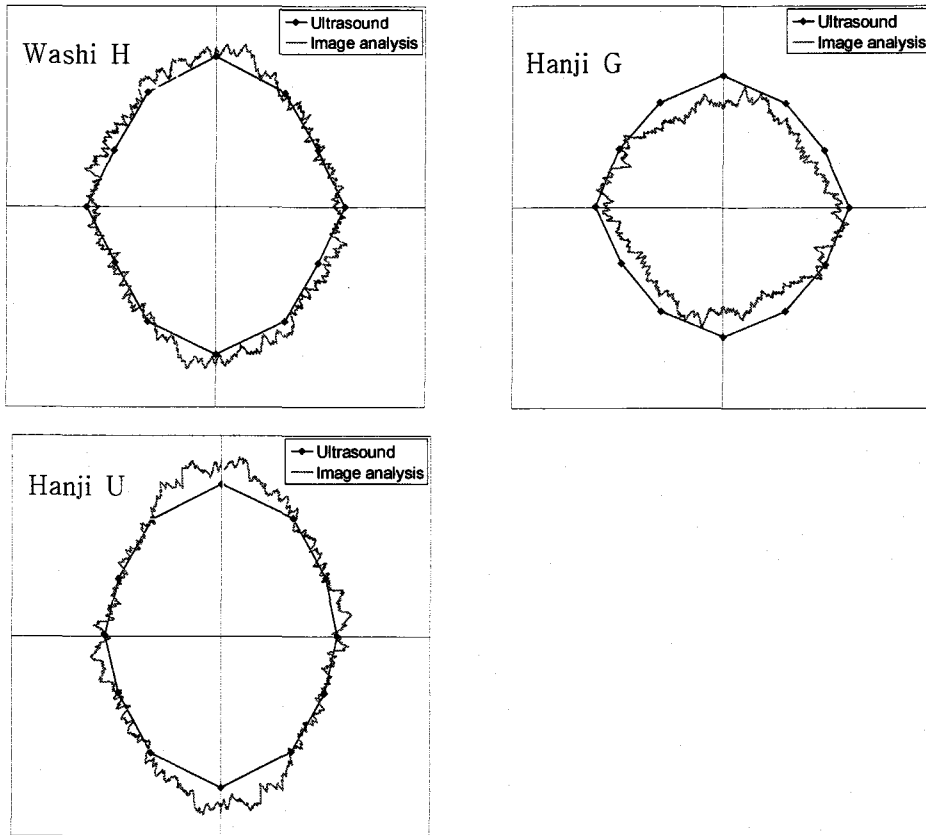


Fig. 4 Hanji G, U and Washi H Ultrasound and Image analysis result

4. 결론

광택도의 분석 결과 섬유 배향성 연구에는 어려움이 있어 보인다. 그러나 초음파 전도 속도 분석법과 Image analysis의 분석은 양자 모두 섬유 배향 강도에 대한 상관이 있었다. 초음파 속도 분석법은 비교적 전달이 빠리되는 면을 통해 초음파가 전도되기 때

문에 통상적으로 섬유 배향 강도가 크다. 그러나 초음파 전도 속도 분석은 종이에 흔적이 남는다는 단점과 종이의 앞뒤의 판별에는 사용할 수 없으므로 역시 종이의 구조적인 특징을 파악하기 위한다는 점에서는 Image analysis가 정보양이 많다고 사료된다. 그러므로 본 연구를 통하여 비파괴 분석인 Image analysis가 문화재 분석을 위해서는 유용하다는 결론에 도달하였다

1. Image analysis의 분석 결과, 화지 시료 H는 섬유 배향성 강도가 높은 앞뒤 물질을 해서 종이를 만들어낸 홀림 뜨기 기술이라는 것을 알 수 있었다.

2. Image analysis의 분석 결과, 한지의 시료인 G의 경우 U에 비해 제대로 만들어진 한지의 전통 기술을 잘 나타내고 있는 시료였으며, 섬유 배열 강도가 낮은 무배향성을 나타냈다. 이는 앞으로 물질을 한 뒤 옆으로 물질을 해서 만든 홀림 뜨기 기술이라는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 한지와 화지의 영상 처리 분석을 통해 고대 제지 기술의 차이를 밝혀내기 위한 방법에 대해 살펴보기 위한 첫 실험이다. 그 결과 장인의 전통적인 기술에 대하여 영상 처리 분석을 통하여 그 특성을 규명할 수 있었다. 앞으로도 꾸준한 연구를 통하여 시대적, 지역적 차이의 구별이 가능한가에 대해서 문화재를 통해 응용 연구를 해 나갈 예정이다.

인용 논문

1. Niskanen, K. Kajanto, I. and Pakarinen, P., "Paper structure" (Chapter 1), "Paper Physics", Vol 16 of the Papermaking Sci. and Tech. Series, TAPPI press, Atlanta (2001).
2. Niskanen, K.J. and Sadowski, J.W., "Evaluation of some fibre orientation measurements", J. Pulp and Paper Sci. 15(6): 220-224 (1989).
3. Yang C.F., Crosby C.M., Eusufzai A.R.K. and Mark R.E., "Determination of paper sheet fiber orientation distributions by a laser optical diffraction method", J. Applied Polymer Sci. 34(3) 1145-1157 (1987).
4. Han, Y.-H., Enomae, T., Isogai, A. and Yamamoto, H., "Estimate of Hand-Making Processes of Asian Traditional Papers, Hanji and Washi, by Fiber Orientation

Analysis", *Studies in Conservation*

5. Enomae, T., Han, Y.-H. and Isogai, A., "Nondestructive Determination of Fiber Orientation Distribution of Paper Surface by Image Analysis", *Nordic Pulp and Paper Research Journal*

6. Abe Y., Todoroki, H., Takeuti, N., and Sakamoto, A.(1995) : "Measurement method of fiber orientation on paper surface", *Japan Tappi J.* 49(5), 849.