

화상분석법을 응용한 섬유장 및 섬유 조도 측정법 개발

배진한¹⁾ · 김철환^{2)†} · 박종열²⁾

(2002년 3월 15일 접수; 2002년 5월 21일 채택)

A New Method for Measuring Fiber Length and Fiber Coarseness Using Image Analysis Technique

Jin-Han Bae¹⁾, Chul-Hwan Kim^{2)†} and Chong-Yawl Park²⁾

(Received on March 15, 2002; Accepted on May 21, 2002)

ABSTRACT

A new method for measuring fiber length and fiber coarseness was developed using image analysis technique. Measured fibers were transferred to a glass slide on a filter paper placed on a wire of the laboratory paper machine. After staining the fibers on the slide, mean fiber lengths and coarseness were measured by a commercial image analysis software, named KS400. The resultant data obtained from the image analysis displayed a close correlation with those from FS-200 and also showed excellent reproducibility as well as those from FS-200. The length of synthetic fibers over 10 mm long could be readily measured by this new analysis technique. Finally, a substantial improvement in precision for measuring fiber length and coarseness was made with less operator's effort for a given time.

Keywords: Fiber length, Fiber coarseness, Image analysis technique, Synthetic fibers

1. 서론

현재 제지공장의 최종 산물인 종이의 물성에 가장 큰 영향을 미치는 인자들은 크게 세 가지 정도로 나눌 수 있는데, 핵심 원료인 펄프 섬유, 지필의 형성과 건조를 주관하는 초지기 및 초지시 사용되는 첨가물이다. 이들 인자들 중에서 원료에 해당하는 펄프 섬유는 종이의 특성을 결정하는 가장 기본적인 요인이고, 이러한 펄프 섬유의 특성에 따라 기기의 운전방법과 설비, 그리고 첨가되는 약품의 종류 및 특성이 결정되고

있다.

여기서 말하는 펄프 섬유의 특성은 일반적으로 섬유장 및 섬유 조도(coarseness)를 의미한다. 섬유장은 종이 강도, 종이 지합, 인쇄적성 등에 중요한 영향을 미치고, 섬유 조도는 섬유 유연성의 지표로서 이용되고 있다.¹⁻³⁾

현재 펄프 섬유의 특성을 분석하는 방법에는 다양한 측정 방법들과 측정기기들이 이용되고 있다. 먼저 수동으로 섬유장을 측정하는 방법에는 일정 크기의 눈금을 가진 와이어들을 통과하는 섬유들의 질량을 측정하

1) (주)삼양제지(SamYang Paper Co., Sangpyeung-Dong, JinJu, 660-340, Korea)

2) 경상대학교 산림과학부/농업생명과학연구원(Division of Forest Science/IALS, Gyeongsang National Univ., JinJu, 660-701, Korea)

† 주저자(Corresponding author): e-mail: jameskim@nongae.gsnu.ac.kr

여 섬유장을 측정 Bauer-Mcnette 섬유장 분류기와 Clark 섬유장 분류기⁹⁾, 유리 슬라이드 상에 정착된 섬유들의 화상을 투과 화상으로 확대 출력한 후 이들 섬유의 형상을 컴퓨터 마우스로 직접 그려가면서 300여 개 이상의 섬유에 대한 평균 섬유장을 측정하는 화상 분석법¹⁰⁾ 등이 있다. 이외에도 여러 가지 방법들¹¹⁻¹²⁾이 있지만 이들 방법들은 시간이 많이 소비될 뿐만 아니라 되거나 분석 결과의 정확성이 다소 떨어질 수 있고, 섬유 조도의 측정에는 한계가 있다. 이와는 달리 FS-200,¹³⁾ Fiber Quality Analyzer,¹⁴⁻¹⁵⁾ FiberLab¹⁵⁾ 등과 같이 고가의 자동 섬유성장 분석기들은 수 만개 이상의 섬유를 레이저 광원을 이용하여 섬유장과 섬유 조도를 불과 몇 분내에 측정할 수 있는 장점이 있지만 고가이기 때문에 대학 및 중소 제지업체에서는 구입이 어렵다는 단점이 있다.

따라서 분석장비의 국산화라는 거대한 명제 아래 원료 측면에서 원료 섬유에 대한 필수 측정 항목들인 섬유장 및 섬유의 조도와 관련한 정확한 정보를 제공할 수 있는 국산 분석시스템을 개발하기 위한 예비 단계로서 본 연구에서는 시판 중인 화상분석프로그램을 응용하여 새로운 섬유장 및 조도 측정법을 개발하고자 하였다. 물론 시판 프로그램은 섬유장 측정용으로 별도로 나온 것이 아니기 때문에 측정자에 의하여 섬유장 측정을 위한 프로그램으로 재구성되어야 한다.

섬유장 및 섬유 조도는 종이의 지합, 인장 및 인열강도, 내절도, 불투명도 및 평활도 등 종이의 물리적·광학적 특성과 밀접한 관련이 있음이 잘 알려져 있다.¹⁻³⁾ 그리고 평균섬유장을 언급할 때는 일반적인 의미의 평균 섬유장을 의미하는 산술 평균섬유장(arithmetic mean fiber length), 미세 섬유가 섬유장에 미치는 영향을 배제한 길이가중치 평균섬유장(length-weighted mean fiber length)과 단일 섬유의 중량이 평균 섬유장에 미치는 영향을 나타내는 중량가중치 평균섬유장(weight-weighted mean fiber length)이 있는데 일반적으로 섬유장을 말할 때는 길이가중치 평균섬유장을 주로 사용한다.¹⁾ 그리고 섬유조도(fiber coarseness)는 섬유의 단위길이가 갖는 무게를 의미하며 그 단위는 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-1}$ 이다. 즉 섬유의 길이가 일정할 때 조도는 섬유 세포벽의 두께와 밀도에 큰 영향을 받기 때문에 기존에 많이 사용되어 오던 섬유 지름에 대한 섬유장의 비 대신에 섬유 조도가 섬유 유연성의 정도를 나타내는 지표⁸⁾로 사용되어 오고 있다.

현재에는 섬유장과 섬유 조도를 측정하기 위하여 자동 섬유 성장 분석시스템에 주로 의존을 하고 있지만, 이러한 기기를 갖추지 못한 곳에서는 화상분석법에 의

하여 섬유장과 섬유 조도를 측정하기 위한 시도^{10, 17-18)}들이 계속 되어 왔지만 아직까지는 신뢰할 만한 방법이 제시되지 못하고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 섬유장 및 섬유 조도를 측정하기 위한 자동측정기들은 여러 가지 형태로 제품화되어 있지만 이들 제품은 고가이기 때문에 사용 및 관리에 상당한 주의를 요할 뿐만 아니라 기기의 구입 자체가 현실적으로 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시판 중인 화상분석프로그램을 응용하여 간단히 섬유장 및 섬유조도를 측정할 수 있는 방법을 개발하여 이를 통해 얻어진 결과 값들의 정확성을 검증하기 위하여 Kajaani FS-200의 결과와 비교·분석하였다. 본 연구를 통해 개발된 방법의 신뢰성이 검증되었을 경우 국내의 제지업체, 연구소, 대학 등에서 매우 쉽게 사용할 수 있도록 섬유장, 섬유 컬 및 킹크, 그리고 섬유 조도까지 측정할 수 있는 시스템을 개발하여 보급할 계획이다.

2. 재료 및 방법

2.1 자료 조성

공시재료로는 캐나다산 Kinleith 침엽수 및 활엽수 표백 크라프트 펄프를 사용하였다. 실험실용 Valley beater(23 L)를 이용하여 TAPPI T 248에 의거하여 지료 농도 1.57%에서 10분 동안 해리시킨 후 여수도가 각각 700, 500, 300mL CSF가 되도록 고해하였다.

2.2 섬유 슬라이드의 제작

2.2.1 슬라이드의 세척 및 건조

펄프 섬유가 전이될 유리 슬라이드 (5×5cm)를 강력 세정액(Ultra Clean, DSP GR Reagent)이 용해 (5% v/v 농도)되어 있는 증류수에 24시간 정도 침지시킨 후 유리 슬라이드 상에 남아 있는 불순물과 유기성 얼룩을 제거하고, 이들 슬라이드를 흐르는 수도물에서 일차 세척하였다. 그리고 수도물을 통해 전이될 수 있는 불순물을 제거하기 위하여 증류수에서 최종 세척한 후 105 ± 2 °C의 항온 건조기 안에서 세워진 상태로 4시간 이상 건조시켰다. 건조된 슬라이드의 무게는 데시케이터에 실온까지 냉각시킨 후 소수점 넷째 자리(10^{-1} mg)까지 측정하였다. 건조된 슬라이드는 대

기 중의 불순물이 슬라이드 상에 달라붙지 않도록 밀봉 보관하였고, 슬라이드의 운반 중에도 실험자의 지문이 남지 않도록 위생 장갑을 낀 채 슬라이드의 가장 자리를 이용하여 운반하였다.

2.2.2 슬라이드 상으로 섬유 전이 및 염색

해리 및 고해된 펄프 섬유 100mL를 취하여 약 0.1%가 되도록 희석하였다. 이 자료로부터 150mL의 자료를 취하여 다시 약 0.002%로 희석하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 사각 수초지기의 와이어 상에 NO.2 여과지(25×25cm)를 올려놓고, 수초지기 안에 지료 분산기(baffler)를 넣고, 고무 호스를 이용하여 수초지기 안으로 물을 반쯤 채운 후 희석된 지료를 평량 0.1g/m²가 되도록 부었다. 여과지상에 섬유 네트워크가 균일하게 형성 되도록 Tappi T 205에 따라 지료

분산기(baffler)로 교반하였다. 물을 최소의 진공으로 배수하여 섬유를 여과지 상에 정착시킨 후 여과지상에 세정된 유리 슬라이드를 올려놓고, 압착기에서 3.5kgf/cm²의 압력으로 30초 동안 압착하여 섬유를 유리 슬라이드로 전이시켰다. 이 때 Fig. 1에서 보는 바와 같이 압착기 상에서 흡취지, 유리슬라이드, 섬유가 정착된 여과지, 흡취지의 순서로 올려놓았다. 이렇게 해서 얻은 유리 슬라이드는 각 여수도별로 각각 4개를 만들었고, 유리 슬라이드 상에 전이된 섬유를 50~60℃ 온도의 건조 플레이트 상에서 완전 건조시킨 후 소수점 넷째 자리까지 칭량할 수 있는 전자저울을 이용하여 섬유가 전이된 슬라이드의 무게를 측정하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 무게 측정 후 섬유의 구분을 용이하게 하기 위하여 Toluidine Blue와 Borax가 1:1로 혼합된 염색액으로 슬라이드 상의 섬유를 약 5분간 염색하였다. 염색된 섬유와 슬라이드에는 과량의

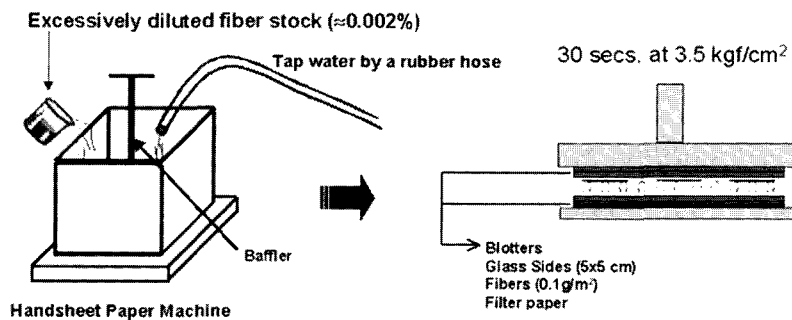


Fig. 1. Transferring procedure of pulp fibers to glass slides.

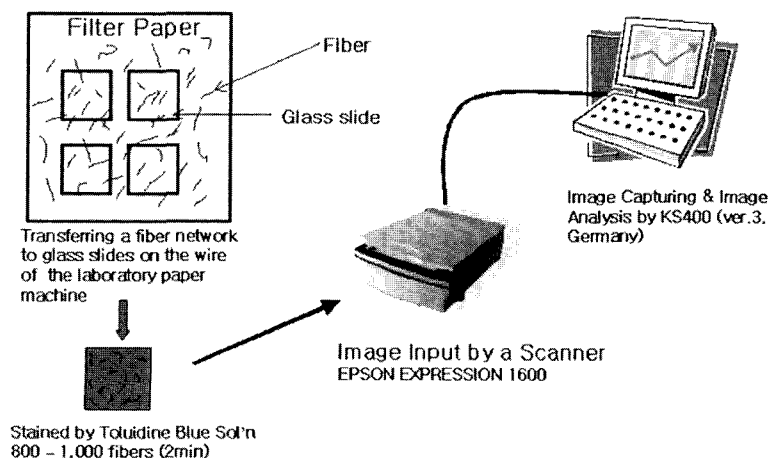


Fig. 2. Procedure for fiber staining and image capture.

염색 시약이 남아 있기 때문에 섬유가 전이된 슬라이드의 반대 면이 흐르는 수돗물을 향하도록 한 후 과량의 염색 시약을 제거하고, 최종적으로 증류수가 담긴 비커에 슬라이드를 넣어 염색 시약을 완전히 제거하여 슬라이드 상에 남겨진 오염원을 제거하였다.

2.3 섬유장 분석

2.3.1 화상입력장치 및 섬유장 측정 원리

유리 슬라이드 상에 전이된 섬유들의 화상은 EPSON EXPRESSION™ 1600 스캐너를 이용하여 600 dpi의 해상도에서 스캔하여 얻었고, 섬유장 측정을 위해 사용된 화상분석 프로그램은 Carl Zeiss Vision사의 KS400(ver.3, Germany)을 이용하였다. 스캐너와 KS400이 장착된 컴퓨터는 Intel Pentium III 866 MHz, Hard disk 40G byte, RAM 256 Mbyte, Winfast Geforce2 MX 32 Mbyte Graphic card, 삼성 SyncMaster 900p 19" 모니터가 설치된 컴퓨터를 이용하였다.

화상분석 프로그램을 이용하여 섬유장을 측정하는 원리는 스캐너를 통해 디지털 화상으로 입력된 섬유영상을 통해 먼저 섬유 자체의 면적(A)과 원주(P)를 계산하였다. KS400은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 단일 섬유의 형상을 사각형으로 인식하여 다음과 같은 공식을 적용하면 식 (1)이 얻어지고, 여기서 얻어진 b 값을 섬유장(FL)으로 계산하였다.

$$\therefore b = \frac{\sqrt{P^2 - 16A}}{4} \quad (1)$$

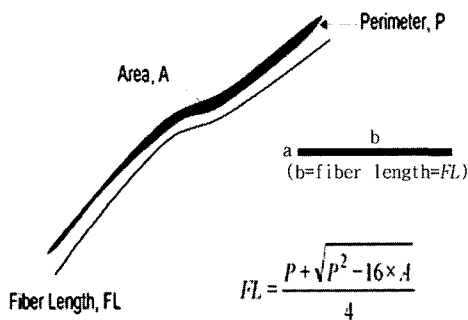


Fig. 3. Principal theory of fiber length measurement by image analysis.¹⁹⁾

2.3.2 섬유장 및 섬유 조도 산출

섬유장 측정에 이용된 평균 섬유장의 산출 공식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Arithmetic Mean Fiber Length}(L_n) \\ = \frac{\sum n_i L_i}{\sum n_i} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Length-weighted Mean Fiber Length}(L_l) \\ = \frac{\sum n_i L_i^2}{\sum n_i L_i} \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Weight-weighted Mean Fiber Length}(L_w) \\ = \frac{\sum n_i L_i^3}{\sum n_i L_i^2} \quad (4) \end{aligned}$$

식 (2)는 산술평균섬유장(L_n), 식 (3)은 길이가중치 평균섬유장(L_l), 그리고 식 (4)는 중량가중치평균섬유장(L_w)이다. 조도 측정을 위해서는 식 (5)¹⁹⁾를 사용하였고, 이 식에서 알 수 있는 바와 같이 섬유 조도의 계산에는 슬라이드 상에 전이된 총 섬유의 중량(mg), 슬라이드 상에 전이된 총 섬유의 개수와 이들 섬유의 중량가중치평균섬유장을 이용하였다. 여기에서 총 섬유의 중량은 섬유가 유리 슬라이드 상에 전이되기 전후의 무게 차이를 통하여 구하였고, 총 섬유의 개수 및 중량가중치평균섬유장은 스캐너를 통해 입력된 섬유 슬라이드 화상을 이용하여 측정할 수 있었다.

$$C = \frac{W \times 10^3}{n \times L_l} \quad (5)$$

C = Coarseness(mg/m)
 n = Total number of pulp fibers on a slide
 W = Oven-dried Weight of pulp fibers on a slide(mg)
 L_l = Length-weighted mean fiber length (mm).

고해가 진행될수록 단섬유와 미세섬유의 수가 증가하기 때문에 많은 수의 섬유가 측정에 포함되었고, 각 섬유장 측정에 이용된 섬유의 개수는 슬라이드 당 500~1,000개 정도였다.

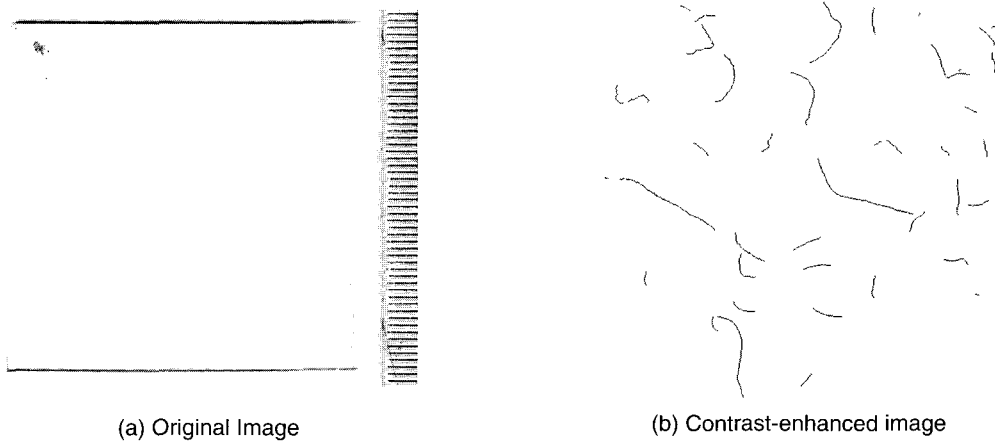


Fig. 4. Original image captured by the scanner and its contrast-enhanced image.

3. 결과 및 고찰

3.1 섬유장 측정을 위한 화상 처리 과정

Fig. 5의 (a)는 스캐너를 통해 입력된 최초의 화상으로서 염색액이 완전히 세척되지 않아서 유리 슬라이드의 일부가 매우 오염되어 있는 것을 관찰할 수 있었다. 불완전한 세척은 슬라이드 상에서 염색된 섬유와 배경 사이의 구분을 힘들게 하기 때문에 섬유장 측정 시 오차를 크게 할 수 있다. 따라서 평균 섬유장을 측정할 때에는 섬유 슬라이드 화상 중에서 섬유와 배경 사이의 구분이 명확한 슬라이드를 이용하여 분석에 이용하였다. Fig. 4의 (b)는 슬라이드의 최초 화상에 contrast enhancement를 부여하여 밝은 색은 더욱 밝게, 어두운 색은 더욱 어둡게 보이게 함으로써 염색된 섬유들의 구분이 더욱 명확해지도록 한 화상이다.

일반적으로 디지털 평면 화상은 최소 화소 단위인 픽셀(pixel)로 나타나는데, 그 픽셀의 gray value는 256가지(0~255)의 값으로 표시된다. 즉, 0으로 가까이 갈수록 짙은 회색이나 검정색 계통의 색들이 나타나고, 255쪽으로 가까이 갈수록 흰색 계통의 색이 나타난다. 곧 0은 완전 검정, 255는 완전 흰색을 의미한다. Contrast 처리를 하게 되면 섬유는 "255"의 값에 가깝게 표시되고 섬유를 제외한 배경은 "0"에 가깝게 나타난다. 그러나 contrast 처리를 수행하였을 지라도 Fig. 5의 (b)는 여전히 다양한 gray value를 갖는 디지털 흑백 화상의 속성을 띠고 있다. 화상분석에 의한 섬유장 측정을 수행하기 위해서는 최초 화상의 컬러 정보를 완전 흰색(gray value 255)과 완전 검정(gray value 0)의 값으로 나타내어야 한다. 즉, 섬유

는 완전 흰색(0), 배경은 완전 흑색으로 전환시켜 섬유장 측정시 흰색으로 처리된 섬유들만 인식하여 섬유장 계산에 이용된다. 일반적으로 화상에서 나타나는 화소 값(gray value)을 0과 255의 두 값으로만 나타내기 위한 화상 처리 과정을 "threshold processing"이라 한다. Threshold 처리를 한 화상은 0과 255의 gray value만으로 나타나기 때문에 일반적으로 binary image라 하기도 한다. 이 단계에서는 섬유 염색 후 세척 과정 중에 완전히 제거되지 않은 미세 얼룩과 큰 오염원들도 gray value 0으로 함께 표시될 수 있다. 섬유 외 기타 오염원들은 화상분석 프로그램 중의 scrap 기능을 적용하여 모두 제거가 가능하였다. 만약 겹쳐진 섬유들이 존재한다면 수동으로 이들 섬유를 잘라 주거나 제거해야 되지만 잘려진 일부 섬유들은 실제

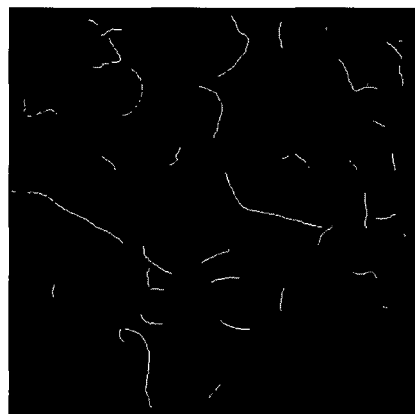


Fig. 5. Binary image used for measurement of fiber length.

섬유보다 짧아질 수도 있기 때문에 적절한 방법이 아닐 것으로 사료되었다. 또한 scrap 기능에 의하여 곁친 섬유들을 제거하는 방법은 슬라이드 상에 놓여진 실제 섬유의 수를 감소시키는 원인을 제공하기 때문에 섬유 조도 측정시 오차 값을 크게 할 수 있는 요인이 될 수 있을 것이다. 따라서 최초 섬유 슬라이드 제작 당시 곁친 섬유들이 나타나지 않도록 섬유 농도의 양을 적절하게 조절해 주는 것이 매우 중요하였다.

Fig. 5는 실제 섬유장 측정시에 사용되는 이진 화상을 보여주는데, 화상분석프로그램은 이러한 이진 화상 중에서 흰색 부분만을 섬유로 인식하여 섬유장을 측정하였다.

3.2 섬유장 측정을 위한 보정 처리 (calibration)

섬유장 측정 시에 mm 단위로 보정된 픽셀 값을 사용하지 않으면 섬유장의 단위가 픽셀 값으로 나타난다. 따라서 섬유장 측정 전에 픽셀 값을 mm 단위로 환산한 후 섬유장을 측정하여야만 mm 단위로 측정된 평균 섬유장 값을 얻을 수 있다. 단위 보정 방법을 위해서 Fig. 4의 (a)와 같이 스캐너를 통해 입력된 눈금이 선명하게 인식되는 30cm 자의 화상을 이용하였다. 화상분석프로그램이 지닌 단위 보정 기능을 이용하여 Fig. 4의 (a)에 나타난 자의 화상 위에 마우스 커서를 가져가서 마우스에 의해 그려진 자의 실제 길이를 단위 보정란에 입력하면 화상분석프로그램은 자동으로 실제 픽셀 값을 mm 단위로 보정하여 섬유장을 측정하게 된다.¹⁹⁾

3.3 평균 섬유장 및 섬유 조도 측정

화상분석프로그램으로 사용된 KS400은 2.3.1절에서 설명한 방법에 따라 섬유장을 측정한다. 이 때 위에서 설명한 모든 기능들은 측정자에 의해서 KS400을 통해 하나의 프로그래밍으로 나타낼 수 있기 때문에 각 섬유 슬라이드를 측정할 때 위의 과정을 수동으로 반복하지 않고서도 측정자에 의해 만들어진 프로그램을 통해서 자동으로 500~1000개의 섬유에 대한 각각의 길이를 약 30초 내에 측정할 수 있었다.

섬유장 측정을 통해서 나타난 값들은 산술평균, 길이가중치평균, 중량가중치평균, 0.2mm 이하의 미세분 함량 등이었고, 이들 값들은 MS-Excel로 보내어져서 도수분포곡선이나 누적도수분포곡선의 형태로 나타낼 수 있었다. 각 섬유 슬라이드에 대하여 얻어진 섬유 개수 및 길이가중치평균섬유장을 이용하여 섬유 조도 계산에 이용하였다.

Table 1은 화상분석법에 의해 측정된 침엽수 크라프트 펄프와 활엽수 크라프트 펄프의 평균 섬유장, 미세섬유의 함량 및 섬유 조도를 보여주고 있다.

Table 1과 Table 2에서 보는 바와 같이 화상분석법과 FS-200를 통하여 측정된 산술평균섬유장, 길이가중치평균섬유장, 중량가중치평균섬유장 및 미세섬유의 함량에 이르기까지 침엽수 및 활엽수 섬유들의 평균섬유장은 상당히 높은 유사성을 보여 주었다. 이러한 유사성은 상관계수를 통해서 더욱 쉽게 알 수 있는데 활엽수 섬유의 중량가중치 평균섬유장을 제외하고는 화상분석법과 FS-200를 통해 측정된 두 평균섬유장 사이에는 0.88 이상의 높은 상관 관계를 보여 주었다. 따라서 화상분석법을 이용한 섬유장 측정법은 FS-200과 같은 섬유장 자동측정 장비에 준하는 정확

Table 1. Data comparison between image analysis and FS-200 applied for fiber quality analysis of softwood bleached kraft pulp fibers

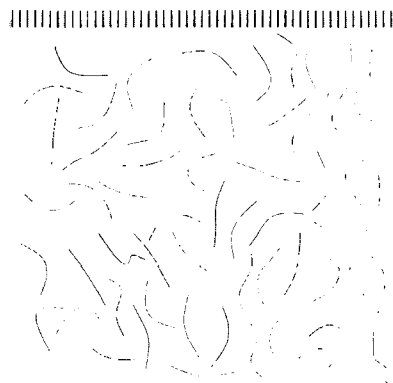
	Freeness (ml CSF)	Arithmetic (mm)	Length-weighted (mm)	Weight-weighted (mm)	Fines (%, ≤ 0.2mm)	Coarseness (mg/m)
Image Analysis	740	1.07	1.98	2.7	23.74	0.126
	560	0.62	1.1	1.65	28.06	0.156
	370	0.53	1.08	1.56	37.25	0.160
FS-200	740	1.1	2.06	2.61	22.58	0.192
	560	0.66	1.32	1.83	28.79	0.208
	370	0.47	0.92	1.34	32.85	0.192
Correlation Coeff.(=R ²)		0.98	0.89	0.90	0.90	0.16

Table 2. Data comparison between image analysis and FS-200 applied for fiber quality analysis of hardwood bleached kraft pulp fibers

	Freeness (ml CSF)	Arithmetic (mm)	Length-weighted (mm)	Weight-weighted (mm)	Fines (%, ≤0.2mm)	Coarseness (mg/m)
Image Analysis	650	0.59	0.81	1.08	10.56	0.100
	560	0.48	0.75	1.09	25.02	0.099
	370	0.42	0.63	0.86	30.63	0.160
FS-200	650	0.59	0.75	0.86	13.82	0.062
	560	0.47	0.68	0.82	23.64	0.095
	370	0.41	0.61	0.77	37.97	0.118
Correlation Coeff.(=R ²)		1	0.96	0.77	0.88	0.64

성으로 섬유장을 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 섬유 조도 측정에 있어서는 화상분석법과 FS-200 사이에 상관 관계가 매우 낮게 나왔는데 이는 측정 방법에 의한 오류에 기인한 것으로 사료되었

다. FS-200의 경우 섬유의 함수율을 고려하지 않은 상태에서 대기 중에 방치된 펄프 섬유의 중량을 측정하여 FS-200에 그대로 입력함으로써 측정하였고, 화상분석법에 의한 조도 측정 시에는 섬유를 건조 플레이트 상에서 완전히 건조시킨 후 유리 슬라이드 상의 섬유 중량을 이용하였다. 이는 섬유 조도의 단위 (mg · m⁻¹)를 고려한다면 조도는 함수율에 의한 영향을 크게 받을 수 있기 때문에 위의 결과 값에 대해서는 함수율을 고려한 화상 분석법이 더욱 정확한 조도 값 일 것으로 추정되었다.



(a) Original image



(b) Binary image

Fig. 6. Synthetic fibers with around 10mm long.

3.4 화상분석법에 의한 섬유장 측정의 신뢰성 검증

섬유장 측정 프로그램에 의해 측정된 펄프 섬유의 평균 섬유장 산출 방법이 갖는 정확성과 재현성을 검증하기 위하여 약 10mm 정도로 자른 합성섬유를

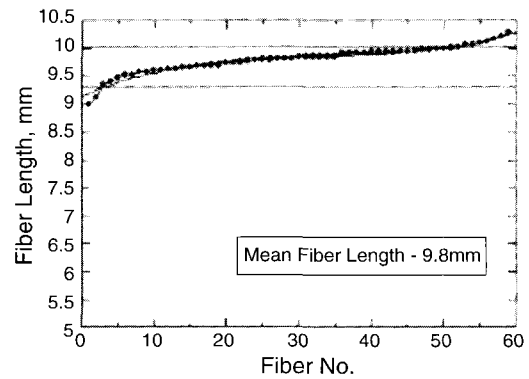


Fig. 7. Binary image of synthetic fibers with known length.

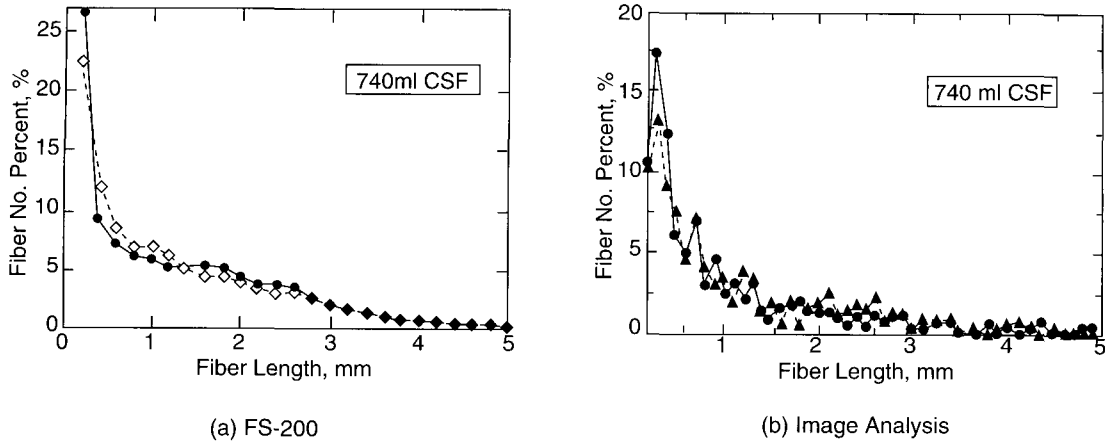


Fig. 8. Reproducibility comparison by measuring methods of fiber length.

Fig. 6의 (a)에서 보는 바와 같이 5×5 cm 크기의 투명 셀로판 위에 실제 펄프 섬유와 유사하게 컬(curl)을 주어 붙인 후 섬유장 측정시 사용했던 프로그램을 이용하여 동일한 방법으로 합성섬유의 길이를 측정하였다. 측정된 섬유들의 섬유장 분포 곡선은 Fig. 7과 같고, 이들 섬유의 평균 섬유장은 9.8mm로 나타났다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 섬유장은 전체적으로 9~10.5mm 범위 내에서 존재하지만, 대부분의 섬유가 9.5~10mm 범위 내에서 측정되었다. 측정자가 합성섬유를 자를 때 약 10mm가 되도록 잘랐지만 합성섬유를 자르는 동안의 오차를 고려한다면 화상분석법을 통하여 측정된 평균 섬유장은 섬유가 갖는 본래의 길이와 거의 유사하게 측정된 것으로 추정할 수 있었다. 이는 화상분석법에 의한 섬유장 측정 방법이 신뢰할 만한 섬유장 측정법으로 이용될 수 있음을 보여주는 중요한 결과라 할 수 있겠다. 뿐만 아니라 먼 섬유나 합성섬유와 같이 섬유장 자동측정 장치로는 측정할 수 없는 두꺼운 세포벽을 갖는 장섬유(10mm 이상)에 대해서도 화상분석법으로 섬유장과 조도를 쉽게 측정할 수 있기 때문에 FS-200과 비교해서 한편으로 더욱 유리한 면을 가지고 있었다.

3.5 섬유장 분석법의 재현성 검증

섬유장 분석 방법에 따른 재현성을 검증하기 위하여 동일 섬유에 대해서 화상분석법과 FS-200에 의하여 섬유장을 반복 측정하였다. Fig. 8의 (a)는 FS-200에 의해 두 번 측정된 해리된 침엽수 펄프 섬유의 섬유장

분포곡선이고, Fig. 8의 (b)는 화상분석법으로 두 번 측정된 해리된 침엽수 펄프 섬유의 섬유장 분포곡선을 보여주고 있다.

동일 섬유에 대하여 반복 측정된 섬유장 분포 곡선을 통하여 각 측정 방법이 갖는 재현성의 정도를 예측할 수 있는데, FS-200과 화상분석법에 의해 측정된 분포곡선 모두 매우 유사한 형태의 분포를 나타내었다. 물론 화상분석법에 의하여 측정된 섬유장 분포 곡선이 FS-200에 비하여 다소 불규칙한 형태를 나타내고는 있는데, 이는 측정된 섬유 개수의 차이에 비롯된 것으로 예측할 수 있다. FS-200은 약 1×10^{-4} g 정도의 펄프 섬유에 대한 섬유장을 측정하면 20,000개 이상의 섬유장을 측정하지만, 화상분석법은 각 섬유 슬라이드에 대하여 500~1,000개 정도의 섬유장을 측정한다.

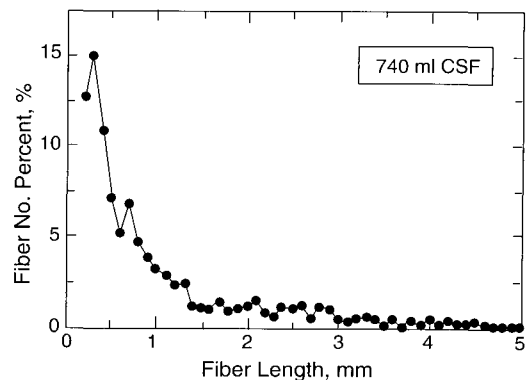


Fig. 9. Fiber length distribution measured by the image analysis technique.

따라서 화상분석법에 의해 측정된 섬유의 개수가 FS-200에 비하여 훨씬 적기 때문에 불규칙한 형태의 섬유장 분포 곡선을 보인 것으로 사료된다. 그러나 사각수 초지기의 여과지 상에 형성된 섬유 네트워크에 대하여 약 6장의 섬유 슬라이드를 만들 수 있기 때문에 이들 슬라이드에서 측정된 섬유 길이를 하나의 곡선에 나타내면 Fig. 9와 같이 부드러운 형태의 곡선을 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 화상분석법을 응용한 섬유장 및 섬유 조도 측정법을 개발하였다. 측정 방법의 신뢰성 검증을 위해 기존의 고가 장비인 Kajaani FS-200의 결과 값과 비교 분석하였다. 화상분석프로그램은 일정 크기의 유리 슬라이드에 전이된 섬유들에 대하여 산술 평균섬유장, 길이가중치평균섬유장, 무게가중치평균 섬유장 및 섬유조도를 빠른 시간 내에 측정할 수 있었다. 이들 값들에 대한 신뢰성 검증을 위해 FS-200으로 측정된 결과 값들과의 상관 계수를 구하였을 때 0.88 이상의 높은 상관 관계를 보였다. 재현성 검증을 위하여 동일 섬유 시료에 대하여 반복 측정된 섬유장 분포도도 화상분석프로그램은 FS-200에 준 하는 재현성을 나타내었다. 뿐만 아니라 FS-200에서 측정할 수 없었던 매우 긴 길이를 갖는 합성섬유도 화상분석법을 통하여 쉽게 쉽고 빠르게 측정할 수 있었다.

인 용 문 헌

1. Paavilainen, L., "Importance of particle size - fiber length and fines - for the characterization of softwood kraft pulp", Paperi Ja Puu 72(5): 516-526(1990).
2. Kerekes, R. J., and Carolyn, J. S., "Effects of fiber length and coarseness on pulp flocculation", Tappi 78(2): 133-139(1995).
3. Seth, R. S., and Page, D. H., "Fiber properties and tearing strength", Tappi 71(2): 103(1988).
4. Page, D. H., and Seth, R. S., "The elastic modulus of paper, II. The importance of fibre modulus, bonding, and fibre length", Tappi 63(6): 113-116(1980).
5. Dodson, C. T. J., "The effect of fiber length distribution on formation", JPPS 23(7): J74-J76(1992).
6. Deng, M., and Dodson, C. T. J., "Paper - an Engineered Stochastic Structure", TAPPI PRESS, Atlanta: 1-52(1994).
7. Page, D. H., "A Theory for the Tensile Strength of Paper", Tappi 52(4): 674-681(1969).
8. Paavilainen, L., "Importance of cross-dimensional fiber properties and coarseness for the characterization of softwood sulphate pulp, Paperi Ja Puu 75(5): 343-345(1993).
9. Tappi Test Methods, T233 cm-95, Fiber length of pulp by classification.
10. Clay, G. A., "Automatic fiber length measurement by image analysis", UMIST Ph.D. thesis(1988).
11. Tappi Test Methods, T232 cm-85, Fiber length of pulp by projection.
12. Tappi Test Methods, T271 om-97, Fiber length of pulp and paper by automated optical analyser.
13. Bichard, W., and Scudamore, P., "An evaluation of the comparative performance of the Kajaani FS-100 and FS-200 fiber length analysers", Tappi 65(12): 149-154(1988).
14. Robertson, G., Olson J., Allen P., Chan, B. and Seth, R., "Measurement of fiber length, coarseness, and shape with fiber quality analyser", Tappi 82(10):93-98 (1999).
15. Carvalho, M. G., and Marins, P. J., "A comparative study of two-automated techniques for measuring fiber length", Tappi 80(2): 137-142(1997).
16. Tiikkaja, E., and Sopenlehto, T., "Next generation fiber length measurement", The 26th Int. Seminar on Pulping and Papermaking Technology of KTAPPI, 2-3 June : 11-15(2000).
17. Jordan, B. D., Nguyen, N. G., and Page, D. H., "An image analysis procedure for pulp coarseness determinations", Paperi ja Puu 62(11): 691-701(1982).
18. Clarke, B., Ebellling, K. I., and Kropholler, H. W., "Fiber coarseness: a new method for its characterization", Paperi ja Puu 67(9): 490-499(1985).
19. Kim, C-H., Park, J-Y., and Bae, J-H., "Measurement of fiber length and coarseness by image analysis technique", KTAPPI Paper Technology Seminar, Nov. 1: 87-96(2000).