

평판형 스캐너를 이용한 목재 수축률 측정¹

박 용 진² · 장 윤 성² · 양 상 윤² · 여 환 명^{2,3} · 이 미 립⁴ · 엄 창 득⁵ · 권 오 경^{4,†}

Wood Shrinkage Measurement of Using a Flatbed Scanner¹

Yonggun Park² · Yoon-Seong Chang² · Sang-Yun Yang² · Hwanmyeong Yeo^{2,3} · Mi-Rim Lee⁴ ·
Chang-Deuk Eom⁵ · Ohkyung Kwon^{4,†}

요 약

목재 이용의 측면에서 중요한 인자 중 하나인 수축률에 관한 다양한 연구가 수행되고 있다. 버니어 캘리퍼스를 이용하여 치수를 측정할 때, 목재 시편에 작용하는 외력에 의해 왜곡된 치수가 측정될 수 있고, 시편의 양이 많으면 치수 측정에 많은 시간이 소요된다. 스캐너를 이용하여 획득한 이미지로 치수를 측정하고, 수축률을 계산하면 외력이 작용하지 않아 치수 측정의 오류를 줄일 수 있고, 한 번의 스캔으로 여러 시편의 이미지를 획득하여 시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있다. 스캔 이미지 상에서 목재 시편과 배경 사이의 경계면을 뚜렷하게 구분할 수 있도록 threshold 방법을 적용하여 치수 측정을 용이하게 하였다. 이미지를 이용하여 측정된 목재 시편의 치수는 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정한 값보다 다소 크게 측정되었으며, 버니어 캘리퍼스보다 높은 정밀도로 수축률을 계산하기 위한 스캔 이미지의 최대 픽셀 길이는 0.053 mm/pixel인 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Wood shrinkage, an important study subject with regard to the use of wood, has long been studied by researchers. However, when the size of a wood specimen is measured, distortion must be taken into account, which can be accomplished by applying external force on the wood specimen. However, when measuring a large number of specimens, this technique can be a lengthy process. If the size is measured and the shrinkage is calculated from images acquired with a flatbed scanner, it is possible to reduce the error in the measurement and to shorten the measurement time because the images of many specimens can be acquired with one scan. To clearly establish the boundary between a wood

¹ Date Received September 29, 2014, Date Accepted November 7, 2014

² 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부. Department of Forest Sciences, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-921, Korea

³ 서울대학교 농업생명과학연구원. Research Institute of Agriculture & Life Science, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-921, Korea

⁴ 서울대학교 농생명과학공동기기원. National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University (Bldg. 201 Rm. 211), 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-921, Korea

⁵ 국립산림과학원 임산과학부. Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

[†] 교신저자(Corresponding author) : 권오경(e-mail: zoom@snu.ac.kr)

specimen and the background in a scan, an image threshold method was applied here. The size of a wood specimen measured by means of a scanner image was found to be longer than the value determined with a vernier caliper. The maximum pixel size of a scan image for highly accurate shrinkage calculations compared with the use of a vernier caliper was 0.053 mm/pixel.

Keywords : shrinkage, image analysis, flatbed scanner, threshold

1. 서 론

오늘날 전 세계적으로 환경문제가 중요한 문제로 대두되면서 친환경재료로서 목재의 이용이 크게 부각되고 있다. 목재는 다른 재료에서는 기대할 수 없는 촉감과 시각에서 따스한 느낌을 주는 등 사람의 감성과 부합되는 재료라는 미관상의 장점뿐만 아니라 가벼우면서도 강도와 강성이 크고, 열과 전기에 대해 절연성이 크며, 열전도성이 낮다는 등의 다양한 장점을 갖고 있다. 하지만 목재는 주위 공기의 상대 습도가 증가하면 흡습하여 팽창하고, 상대습도가 낮아지면 방습하여 수축하는 단점이 있다. 이러한 수축 / 팽윤 변형을 적절히 조절하지 못하면 목조 건축물이나 목가구와 같은 목제품 이용면에서 치명적인 결과를 초래할 수 있다. 따라서 목제품으로 이용되는 다양한 수종에 대한 수축률을 정량적으로 측정하는 연구가 오래 전부터 이어져 왔다(Kang *et al.* 2008b; Forest Products Laboratory 2010).

목재 수축현상을 관찰하는 통상적인 방법은 목재를 블록 상태에서 버니어 캘리퍼스를 사용하여 치수를 측정한다. 다음, 수축 / 팽윤량을 정량적으로 측정하는 것이다(Mun and Cha 2002; Kang *et al.* 2008a; Hwang and Park 2009). 이 방법에서 주로 사용되는 버니어 캘리퍼스는 목재와 같은 재료의 치수를 측정하는 경우 사용자에게 의한 외력으로 인해 값의 왜곡이 발생할 가능성이 있다.

반면에 이미지를 이용하여 목재의 치수를 측정하는 방법은 외력이 작용하지 않기 때문에 물리적인 외력에 의한 치수의 왜곡이 없으며, 화상 획득 장치에 따라 미시적인 측정과 거시적인 측정이 모두 가능한 이미지를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 또한 한번에 여러 시편의 이미지를 측정할 수 있기 때문에

치수 측정을 빠르게 진행할 수 있다. 이런 장점으로 인해 이미지 분석은 DIC (Digital Image Correlation) 방법에 적용하여 목재의 건조 중 변형이나 미시적 / 거시적인 수축률을 측정하는 방법들에 적용되고 있다(Keunecke *et al.* 2012; Peng *et al.* 2012; Hong and Kang 2013). 하지만 광학적인 측정 방법은 광 조건에 따라 측정결과에 큰 차이가 발생할 수 있으므로 빛의 방향과 양을 일정하게 조절하는 것이 중요하다. 또한 이미지 상의 치수가 픽셀 단위로 표현되기 때문에 한 픽셀의 크기가 얼마인지 정하는 작업이 반드시 필요하다. 한 픽셀의 크기는 ‘실제 목재의 치수’와 ‘이미지에서의 치수(pixel)’의 비율로 계산할 수 있다.

이미지를 이용하여 치수를 측정하는 방법은 측정하고자 하는 대상의 크기와 성격에 따라 고려해야 할 점이 매우 다양하다. 즉, 세포 수준의 미시적인 이미지를 분석하기 위해서는 현미경의 종류나 상이 맺히는 초점 등을 고려해야 할 것이고, 건축 구조물이나 건조 중인 실재재 등의 거시적인 이미지를 분석하기 위해서는 일반적으로 2개의 CCD 카메라와 시편에 조사되는 빛의 방향과 양이 조절되어야 한다. 본 연구에서는 한국산업규격의 목재 수축률 측정 방법에 따라 목재 수축률을 측정하기 위하여 스캐너를 이용하여 이미지를 얻고, 그 이미지를 통해 시편의 치수를 측정하여 수축률을 계산하는 방법에 대해 연구하고자 한다. 스캐너는 빛의 방향과 양이 항상 일정하게 유지할 수 있고, 한 번의 스캔으로 여러 시편의 이미지를 얻을 수 있으며, 이미지를 얻는 방법도 매우 간단하다는 장점이 있어 한국산업규격의 방법으로 수축률을 측정하는 데 적절한 방법인 것으로 생각된다. 또한 스캐너의 크기와 이미지 측정 환경 등을 고려하여 스캔 이미지로 측정된 목재의 치수 및 수축률 결과를 기존의 버니어 캘리퍼스를 이용하

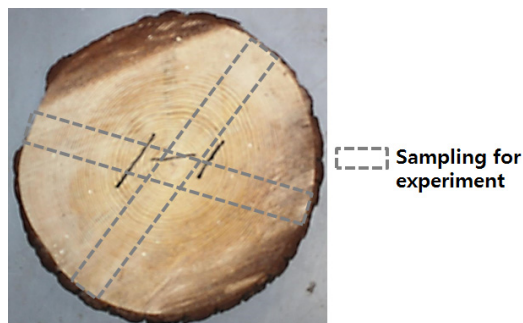


Fig. 1. A disk from *Pinus densiflora*.

여 측정된 목재 치수와 수축률 결과와 비교하여 보다 정밀하게 목재 치수와 수축률을 측정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

경상북도 울진군 소광리 일대의 금강송 군락지에서 벌목한 소나무(*Pinus densiflora*)에서 직경 393.4 mm, 두께 59.4 mm 크기의 디스크를 채취하여 수축률 측정 시편을 제작하였다.

시편은 한국 산업 규격의 “목재의 수축률 시험 방법(KS F 2203)”에 따라 Fig. 1과 같이 시편의 횡단면에 방사방향과 접선방향이 시편의 모서리와 평행하도록 한 변의 길이가 20 mm인 정육면체 모양으로 20개 제작하였다. 제작된 시편의 횡단면에 방사방향과 접선방향으로 측정 기준선을 그어 동일한 위치에서 치수가 측정될 수 있도록 하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 이미지를 이용한 목재 수축률 측정

2.2.1.1. 스캐너를 이용한 목재 이미지 획득

시편의 이미지를 얻은 평판형 스캐너(perfection V200 photo, Epson, Japan)의 광전장치는 Epson MatrixCCD (12-line sensor)로 optical resolution은

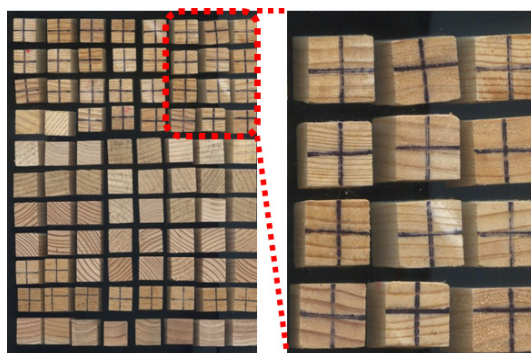


Fig. 2. Exposed side surfaces of specimen from a scanned image.

4,800 dpi이다. 유효 화소수는 40,800 × 56,160 픽셀이고, 스캔 가능한 면적은 216 × 297 mm로 일반적인 A4용지 크기이다. 스캔 가능한 이미지 형식은 흑백, 그레이(8 bit, 16 bit), 컬러(24 bit, 48 bit)이다.

시편의 횡단면을 얻기 위하여 스캐너의 평판과 섬유방향이 수직이 되도록 시편을 배치하고, 시편의 경계면이 뚜렷하게 드러나도록 하기 위하여 스캐너의 뚜껑은 덮지 않고 이미지를 얻었다. 획득된 화상에서 목재 시편은 밝게, 배경은 검정색이 되어 시편의 경계를 명확하게 구분할 수 있다. 스캐너를 이용하여 목재 시편의 이미지를 얻는 방법은 한번에 여러 시편의 이미지를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서 사용된 스캐너의 경우, 한 번의 스캔으로 최대 96개 시편의 이미지를 얻을 수 있었다. 하지만 시편의 모양과 스캔 원리상의 문제로 인하여 가운데 두 열을 제외한 나머지 여섯 열의 이미지에서 시편의 옆면이 측정되는 현상이 발생했다(Fig. 2). 시편의 옆면이 측정되면 치수 측정을 위한 경계면 설정이 불분명해지기 때문에 시편의 옆면이 측정되지 않는 가운데 두 열만을 이용하여 시편의 이미지를 획득하였다. 이미지의 정보는 24 bit 컬러로 이미지 정보 손실 없이 저장 가능한 TIFF (TIF)형식의 파일로 저장하였다.

Table 1. Conditions of scanning resolution and pixel size

Setting	Scanning resolution (dpi)	Pixel size (mm/pixel)
1	200	0.127
2	360	0.070
3	480	0.053

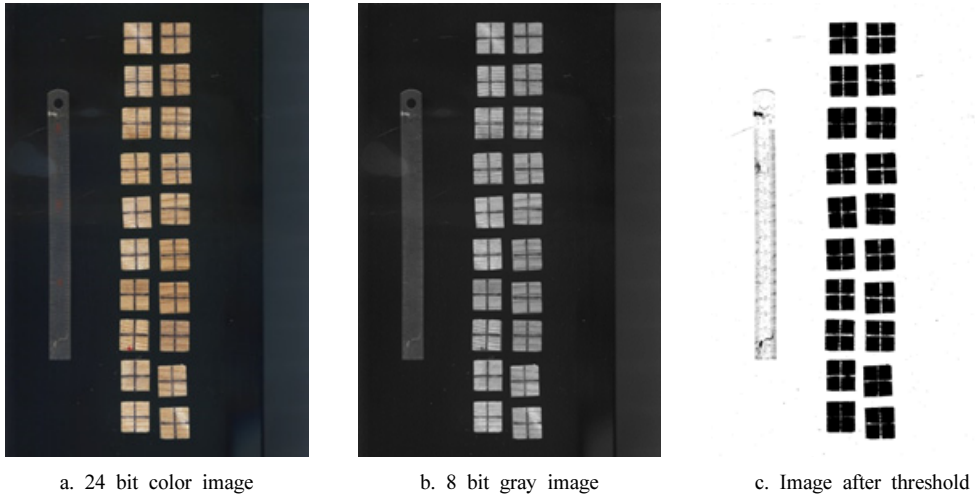


Fig. 3. Image transform procedure for measurement of length.

2.2.1.2. 최적 스캔 인자 결정을 위한 이미지 정보 분석

스캐너뿐만 아니라 모든 광학장치를 이용하여 얻어진 디지털 이미지의 치수 단위는 픽셀이다. 디지털 이미지 상의 길이는 픽셀의 개수를 세어 결정할 수 있으며, 픽셀의 개수와 한 픽셀이 대표하는 물리적 크기를 곱하여 치수나 면적을 측정할 수 있다. 평판형 스캐너에서 획득한 이미지의 픽셀 크기는 해상도 및 스캔 비율에 의해서 결정된다. 해상도는 이미지의 정보 양을 결정하는 인자로서 dpi (dots per inch) 단위로 표현되고, 스캔 비율은 인쇄 시 이미지의 확대/축소를 결정하는 인자이다. 치수 측정의 정확도와 정밀도를 높게 유지하면서 적절한 크기의 이미지 파일을 생성하는 조건을 찾아야 한다.

적절한 해상도를 결정하기 위하여 다른 해상도에서 이미지를 획득한 후, 시편의 수축률을 계산하였다. 실험에 사용한 해상도 조건과 이에 따른 픽셀 길

이는 Table 1과 같다.

2.2.1.3. 치수 측정을 위한 화상 처리

24 bit 컬러 형식으로 얻어진 이미지는 어떠한 보정도 없이 치수 측정이 가능하지만 치수 측정의 정밀도를 높이기 위하여 threshold 방법을 적용하여 이미지를 변환하였다(Fig. 3).

Threshold 방법을 적용하기 위하여 우선 24 bit 컬러 이미지(Fig. 3a)를 상용 이미지 프로그램인 ImageJ를 이용하여 8bit gray 이미지(Fig. 3b)로 변환하였다. 이 작업은 이미지 상의 모든 픽셀을 0부터 255까지 값으로 단순화함으로써 목재와 목재가 아닌 부분의 경계값을 결정하기 위한 선행 작업이다. 변환된 8 bit gray 이미지는 목재 시편과 배경 사이의 값을 경계값으로 하여 threshold 방법을 적용하여 목재 시편은 검정색으로, 그 외의 모든 배경은 흰색으로 변환하여 목재 시편과 바탕의 경계면 결정을 용이하게 하였다.

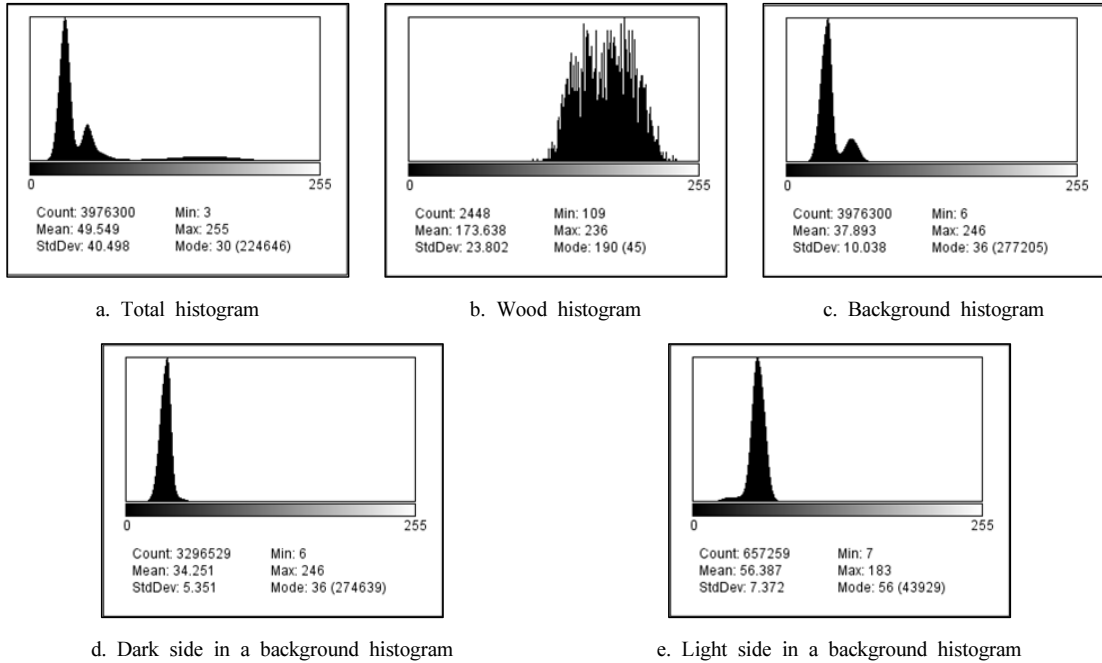


Fig. 4. Histograms of 8 bit gray image for deciding boundary condition.

Fig. 4는 목재 시편과 배경의 경계값을 결정하기 위하여 부분별 히스토그램 값을 측정한 결과이다. Fig. 4a는 Fig. 3b의 전체 히스토그램으로 3개의 피크가 있다. 왼쪽부터 순서대로 배경의 어두운 부분, 배경의 밝은 부분 그리고 목재 시편 부분을 나타낸다. 배경은 실험에 사용된 스캐너의 구조에 의해 어두운 부분과 밝은 부분으로 나뉘었는데 각각의 평균값은 34.251, 56.387이었다. 목재 부분은 심/변재 및 춘/추재의 영향으로 히스토그램 분포가 배경에 비해 넓게 나타났으며 109~236의 범위에 있고, 평균값은 173.638이다. 실험에 사용되는 스캐너, 사용된 시편의 수종, 함수율 상태 등에 따라 히스토그램의 범위는 달라질 수 있기 때문에 시편의 치수 측정 전에 실험 조건을 고려하여 경계값을 결정해야 할 것이다. 본 연구에서는 배경 히스토그램의 평균과 배경 히스토그램의 표준편차를 고려한 아래의 식에 따라 threshold 경계값을 목재 히스토그램의 최소값과 배경 히스토그램의 최대값의 사이인 80으로 결정하였다. 여기에서 k 는 실험 조건에 따라 변동가능한 상

수로서 본 연구 조건에서는 3을 적용하였다.

$$\text{경계값} = \text{배경 히스토그램의 평균} + k \times \text{배경 히스토그램의 표준편차}$$

2.2.1.4. 이미지를 이용한 목재 시편 치수 측정

Threshold 방법을 적용한 이미지를 ImageJ 프로그램을 이용하여 방사방향 및 접선방향의 양 끝점 사이의 픽셀 개수를 측정함으로써 방사방향 및 접선방향의 치수를 측정하였다(Fig. 5).

2.2.2. 버니어캘리퍼스를 이용한 목재 시편 치수 측정

이미지를 이용한 목재 시편의 치수 측정 결과의 대조군으로 버니어 캘리퍼스(CD-20CP, Mitutoyo)를 이용하여 0.01 mm의 정밀도로 시편의 치수를 측정하였다(Fig. 6).

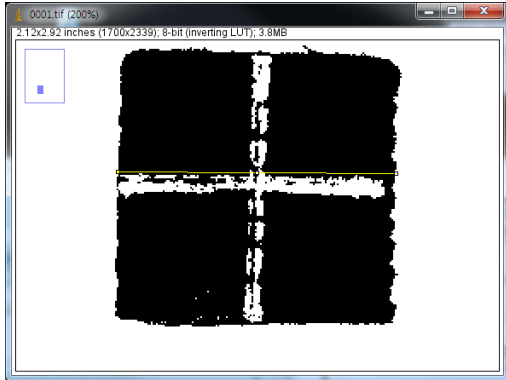


Fig. 5. Measurement of length from image.

2.2.3. 목재 수축률 측정

목재의 수축률은 기건 수축률과 전수축률을 측정하였고, 각각의 수축률을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\text{방사방향 기건 수축률}(S_{RA}) = \frac{l_{RG} - l_{RA}}{l_{RG}} \times 100(\%)$$

$$\text{접선방향 기건 수축률}(S_{TA}) = \frac{l_{TG} - l_{TA}}{l_{TG}} \times 100(\%)$$

$$\text{방사방향 전수축률}(S_{RO}) = \frac{l_{RG} - l_{RO}}{l_{RG}} \times 100(\%)$$

$$\text{접선방향 전수축률}(S_{TO}) = \frac{l_{TG} - l_{TO}}{l_{TG}} \times 100(\%)$$

여기에서 S 는 수축률, l 은 길이(치수), R 은 방사방향, T 는 접선방향, G 는 생재 상태, A 는 기건 상태 그리고 O 는 전건상태를 의미한다.

제작된 시편을 증류수에 침지시킨 상태에서 ‘감압(10분)-가압(10분)’의 과정을 5회 반복하여 포수시킴으로써 생재 상태를 가정하여 시편의 치수를 측정하였다. 이때 시편의 함수율은 139.40 (\pm 37.37)%였다. 생재 상태의 치수 측정이 끝난 시편을 온도 20°C, 상대습도 65% RH인 항온항습기에서 항량에 도달하였을 때 시편의 치수를 측정하였고, 이때 시편의 함수율은 8.18 (\pm 0.27)%였다. 기건 상태의 치수 측정이



Fig. 6. Measurement of length with vernier calliper.

끝난 시편은 온도 105 \pm 2°C인 건조 오븐에 넣고 완전히 전건 시킨 다음 전건 상태의 치수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 치수 측정 결과

버니어 캘리퍼스 및 세 가지 조건으로 스캔한 이미지로부터 치수를 측정한 결과는 Table 2와 같다. 버니어 캘리퍼스를 이용하여 치수를 측정하는 경우 치수 측정을 위해 불가피하게 외력이 작용하기 때문에 스캔 이미지를 이용하여 치수를 측정하는 경우보다 작게 측정되었다. 따라서 수축률에 영향을 미치는 외력이 작용하지 않는 이미지를 이용하여 치수를 측정하여 수축률을 계산하는 것이 외력이 작용하는 버니어 캘리퍼스를 이용하여 치수를 측정하여 수축률을 계산하는 것보다 정확한 수축률 값인 것으로 생각된다.

동일한 상태에서 스캔 조건만 변화시킨 채 얻은 이미지를 통해 측정된 치수도 다소 차이를 나타내는 것으로 나타났다. 이는 스캔 조건에서의 해상도와 스캔 비율에 따라 목재 시편의 경계면을 어느 정도로 정밀하게 분석하느냐에 따른 차이인 것으로 보인다. 따라서 픽셀 길이가 가장 작은 설정3으로 스캔한 이미지로부터 얻은 치수가 실제 목재 치수에 가장 가까운 것으로 생각된다.

Table 2. Radial and tangential lengths from the scan images and with the vernier calliper

Drying state and fiber direction		Scan image (mm)			Vernier calliper (mm)	
		Setting 1 (0.127 mm/pixel)	Setting 2 (0.070 mm/pixel)	Setting 3 (0.053 mm/pixel)		
Oven-dried	Radial direction	Average	20.00	19.84	19.90	19.42
		Standard deviation	0.20	0.19	0.18	0.27
	Tangential direction	Average	19.76	19.92	19.79	19.46
		Standard deviation	0.33	0.33	0.34	0.29
Air-dried (25°C, 65% RH)	Radial direction	Average	20.26	20.18	20.08	19.62
		Standard deviation	0.18	0.20	0.20	0.26
	Tangential direction	Average	20.39	20.45	20.27	19.86
		Standard deviation	0.37	0.36	0.35	0.23
Green	Radial direction	Average	20.63	20.65	20.63	20.07
		Standard deviation	0.20	0.19	0.21	0.21
	Tangential direction	Average	21.49	21.47	21.44	21.06
		Standard deviation	0.23	0.23	0.24	0.15

3.2. 수축률 측정 결과

스캔 이미지를 이용하여 측정한 수축률과 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정한 수축률 결과를 Table 3에 정리하였다. 세 가지 스캔 조건으로 얻은 이미지를 통해 측정한 수축률이 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정한 수축률에 비해 다소 크게 측정되었다. 이는 버니어 캘리퍼스를 이용하여 시편의 치수를 측정할 때 작용한 외력에 의해서 목재 시편의 치수가 다소 작게 측정되었기 때문에 수축률 또한 작게 계산된 것으로 생각된다. 기존의 연구 결과에서 제시한 소나무의 전 수축률은 방사방향 4.88%, 접선방향 9.11%로 이는 이미지를 이용하여 측정한 수축률에 더 가까운 값이다(Kang *et al.* 2008b). 따라서 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정한 수축률보다는 스캔 이미지를 이용하여 측정한 수축률이 더 정확한 것으로 생각된다. 각각의 설정 방법에 따라 측정한 수축률에서도 서로 차이를 나타내는데 이는 스캔 조건에 따

라 시편의 경계면을 어떻게 결정하느냐에 따른 차이인 것으로 생각된다.

수축률 측정 결과의 정밀도를 비교하기 위해 표준편차를 평균값으로 나눈 값인 변이계수를 계산하여 비교하였다. 변이계수는 측정방법이 다른 두 경우의 정밀도를 비교할 때 사용되는 개념으로 그 값이 낮을수록 더욱 정밀하다는 의미를 갖는다. 스캔 이미지를 이용해 측정한 수축률에서 변이계수는 픽셀 길이가 짧아질수록 변이계수 또한 작아지는 것을 확인하였다. 이는 픽셀 길이가 짧아질수록 보다 정밀한 수축률 측정이 가능하다는 것을 의미한다. 특히 픽셀 길이가 0.053 mm/pixel 이하일 경우 모든 조건에서 버니어 캘리퍼스보다 변이계수가 낮은 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 스캐너 이외에 다른 기종의 스캐너나 그 외의 광학장비를 이용하여 얻은 이미지의 픽셀 길이를 0.053 mm/pixel 이하로 조정한다면 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하는 것보다 정밀하게 수축률을 측정할 수 있을 것으로

Table 3. Shrinkage from green to air-dry and total shrinkage from the scan images and with the vernier calliper

Shrinkage and fiber direction		Scan image (mm)			Vernier calliper (mm)	
		Setting 1 (0.127 mm/pixel)	Setting 2 (0.070 mm/pixel)	Setting 3 (0.053 mm/pixel)		
Shrinkage from green to air-dry (25℃, 65% RH)	Radial direction	Average	3.35	3.76	3.13	2.27
		Standard deviation	1.10	1.00	0.80	0.65
		COV*	0.329	0.266	0.257	0.286
	Tangential direction	Average	6.00	5.97	6.10	5.66
		Standard deviation	1.03	0.89	0.76	0.81
		COV	0.171	0.149	0.125	0.143
Total shrinkage	Radial direction	Average	4.16	4.60	3.97	3.27
		Standard deviation	1.11	1.03	0.94	0.80
		COV	0.267	0.224	0.212	0.245
	Tangential direction	Average	8.11	7.99	8.09	7.57
		Standard deviation	1.31	1.13	1.14	1.08
		COV	0.162	0.141	0.141	0.142

*COV : Coefficient of variation

생각된다.

4. 결 론

스캐너를 이용하여 목재 시편의 치수를 측정하고 수축률을 계산하는 방법에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

목재 시편의 이미지를 정밀하게 얻기 위하여 시편은 스캐너의 평판 위 가운데에 시편이 서로 겹치지 않게 두 줄로 위치시키고, 경계면을 뚜렷하게 하기 위하여 스캐너의 뚜껑은 덮지 않은 상태에서 스캔한 이미지를 이용하여 목재의 치수 및 수축률을 측정하는 방법을 정립하였다. 스캔 이미지를 이용하여 측정된 목재의 치수와 수축률의 정확도 및 정밀도는 픽셀 길이에 영향을 받고, 이는 해상도로 조절할 수 있다. 정확도 및 정밀도를 높이면서 스캔 이미지 파일의 용량을 최소화할 수 있는 적절한 조건을 찾기 위하여 세 가지 조건의 픽셀 길이에서 목재의 치수를

측정하고 수축률을 계산한 결과 픽셀 길이가 작을수록 측정의 정밀도는 증가함을 확인하였다. 또한, 0.053 mm/pixel 이하의 조건에서 버니어 캘리퍼스를 이용하는 방법보다 정밀하게 수축률을 측정할 수 있음을 확인하였다. 많은 양의 누적 데이터를 필요로 하는 수축률 시험을 스캔 이미지를 이용하여 진행하면 치수 측정 시간을 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 특히, 치수 측정을 컴퓨터 프로그램을 이용하여 자동화시킨다면 훨씬 더 빠르게 목재의 치수를 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립산림과학원 연구과제 지원 사업에 의하여 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Forest Products Laboratory. 2010. Wood Handbook - Wood as an engineering material (Centennial Edition). United States Department of Agriculture Forest Service. Madison.
- Hong, S., Kang, H. 2013. Measuring strain variation of pretreated wood during drying using optical measurement system. 2013 Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting. 44-45.
- Hwang, K., Park, B. 2009. Effect of cross-sectional dimension on the shrinkage property of korean red-pine wood. Journal of The Korean Wood Science and Technology 37(3): 231-238.
- Kang, C., Junji, M., Kang, W. 2008a. Observation of shrinkage Features of cross sectional surface of wood by LV-SEM. Journal of The Korean Wood Science and Technology 36(3): 17-23.
- Kang, C., Kim, N., Kim, B., Kim, Y., Byeon, H., So, W., Yeo, H., Oh, S., Lee, W., Lee, H. 2008b. Wood Physics and Mechanical Properties. HyangMunSa, Seoul, Korea.
- Keunecke, D., Novosseletz, K., Lanvermann, C., Mannes, D., Niemz, P. 2012. Combination of X-ray and digital image correlation for the analysis of moisture-induced strain in wood: opportunities and challenges. European journal of wood and wood products 70(4): 407-413.
- Korean Standards Association. 2004. Method of shrinkage test for wood. KS F 2003.
- Mun, S., Cha, J. 2002. Effect of cyclic moisture content changes on shrinkage and thermal conductivity in domestic *quercus acutissima carr.* and *larix kaempferi carr.*. Journal of The Korean Wood Science and Technology 30(4): 41-50.
- Peng, M., Ho, Y., Wang, W., Chui, Y. H., Gong, M. 2012. Measurement of wood shrinkage in jack pine using three dimensional image correlation (DIC). Holzforschung 66(5): 639-643.