

경상북도 울진군 소광리 소나무의 가도관 길이 변이 분석¹

서정욱^{2,†} · 엄창득³ · 박소연^{3,4}

Study on the Variations of Inter-annual Tracheid Length for Korean Red Pine from Sokwang-ri in Uljin¹

Jeong-Wook Seo^{2,†} · Chang-Deuk Eom³ · So-Yeon Park^{3,4}

요약

목재재질을 결정하는 여러 인자들 중에 가도관 길이가 목재의 재질을 평가하는 한 인자로 사용이 가능한지 확인하기 위하여 울진군 소광리산 소나무의 가도관 길이를 분석하였다. 조사를 위하여 소광리에서 5영급(해발고 500 m) 임분과 9영급(해발고 900 m) 임분을 선발하였으며, 각 임분에서 3개씩의 임목을 선정하였다. 가도관 길이 측정은 조재와 만재부를 구분하여 실시하였다. 측정된 가도관 길이가 안정화되는 기간은 5영급은 약 25년이었으며, 9영급은 약 40년이였다. 만재부의 가도관 길이는 3.14(5영급)와 3.30(9영급) mm로 조재부의 2.98(5영급)과 3.15(9영급) mm보다 길었으며, 9영급의 조재와 만재부에 있는 가도관의 길이가 5영급보다 길었다. 하지만, 조재부와 만재부에 있는 가도관 길이의 비율은 5영급과 9영급 모두에서 0.96으로 동일하였다. 향후 다른 지역에 있는 소나무의 조재부와 만재부의 가도관 길이 비율과 비교분석 한다면 본 비율이 지역별 소나무의 재질 평가를 하는 인자로 사용이 가능한지 밝힐 수 있을 것이다.

ABSTRACT

This study was carried out to test the possibility that tracheid length of red pine growing in Sokwang-ri in Uljin could be used as one of variables to estimate its wood properties. For the study, forest stands of V (500 m a.s.l.) and VIII (900 m a.s.l.) age class plots were selected in the region, and three trees in each plot were investigated. The tracheid length was separately measured for early- and latewood. It took approximately 25 and 40 years for V and VIII age class stands, respectively, until the length was stabilized. The lengths in latewood were 3.14 (V age class) and 3.30 (VIII age class) mm, and in earlywood 2.98 (V age class) and 3.15 (VIII age class) mm. The lengths in latewood

¹ Date Received May 16, 2014, Date Accepted June 20, 2014

² 충북대학교 농업생명환경대학 목재·종이과학과. Department of Wood & Paper Science, College of Agriculture, Life, and Environment Science, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Republic of Korea

³ 국립산림과학원 임산공학부. Department of Forest Product Engineering, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Republic of Korea

⁴ 국민대학교 삼림과학대학 임산생명공학과. Forest Product & Biotechnology, College of Forest Science, Kookmin University, Seoul 136-702, Republic of Korea

[†] 교신저자(corresponding author): 서정욱(e-mail: jwseo@chungbuk.ac.kr)

therefore were longer than in earlywood and the lengths for VIII age class were longer than for V age class. However, the ratio between their lengths in early- and latewood was the same as 0.96 in all age classes. It might be verified whether this ratio can be used as a variable to test the wood property according to provinces by comparing it with others.

Keywords : tracheid length, wood property, red pine, ratio between tracheid lengths in early- and latewood, Sokwang-ri

1. 서 론

소나무(*Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki)는 경제적으로나 생태적으로 우리나라를 대표하는 수종이다. 생태적 분포를 살펴보면 수평적으로는 일본과 만주의 우수리강 유역까지 분포하고 있으며, 수직적으로는 따뜻한 곳을 좋아하는 생태적 특성 때문에 남부의 경우 해발고 1,150 m 이하, 중부는 1,000 m 이하, 북부는 900 m 이하에 분포하면서(Lee 1986; Kim 1993; Im 1995) 대부분 토심이 얇고, 암석이 많은 능선부에 위치하고 있다. 소나무림은 우리나라 산림 64% 중에 24%를 차지하는 수종으로 단일 수종으로는 가장 넓은 면적을 차지하고 있으나(KFRI 2008) 건축용재로서 가장 주목을 받고 있는 소나무의 주요 분포 지역은 금강산에서부터 남쪽으로 경상북도 울진, 봉화, 영양까지이다(KFRI 2012).

경상북도 울진군 소광리에서 자라는 소나무는 목재 색깔이 누런 붉은색이고, 수간이 전봇대처럼 곧아 황장목이란 이름으로 조선시대부터 철저히 보호되어 왔다(KFRI 2012). 오랜 과거부터 우수한 목재로 인정을 받아 온 소광리산 소나무는 그 우수성을 과학적으로 증명하기 위하여 다양하게 연구되었다. 심재화 연구에 의하면 소광리산 소나무의 심재율은 60% (Kim *et al.* 1999) 또는 70% (Kim *et al.* 2014) 이상으로 일반 소나무보다 높고, 기건 밀도는 일반 소나무에 비하여 20% 이상 높고, 단위면적(1 mm²)당 수직수지구는 40% 이상 많았다(Kim *et al.* 2014). 이외에도, 보다 과학적인 분석을 위하여 가도관 길이 분석(Park *et al.* 2006)과 셀룰로오스 상대결정화도와 결정 폭(Eun *et al.* 2008)이 조사되었으며, Kwon *et al.* (2013)은 경제적이면서도 신속하고 정확히 마이크로피브릴 경사각을 측정할 수 있는 방법을 제시하

기도 하였다.

본 연구는 목재재질을 결정하는 여러 인자들 중에 가도관 길이가 목재의 재질을 평가하는 한 인자로 사용이 가능한지 확인하기 위하여 수행되었다. 조사 지역은 목재재질이 우수한 울진군 소광리이며, 영급 또는 임분의 지형학적 위치를 고려하기 위하여 영급과 해발고가 다른 두 임분을 선정하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지 개황 및 공시재료

경상북도 울진군 소광리에서 자생하고 있는 소나무의 재질을 평가하기 위하여 5영급과 9영급 소나무 임분에서 각각 10본과 8본의 우세목으로부터 지름 12 mm의 생장편을 추출하였다. 5영급 임분의 사면은 남동쪽이며, 해발고는 500 m이다. 반면 9영급 임분은 사면 방향이 남서쪽이며, 해발고는 900 m로 5영급 임분보다 400 m 높은 곳에 위치하고 있다.

5영급 임분에서 채취된 소나무 생장편의 평균 연륜은 49년이며, 평균 수고와 흉고지름은 각각 14.1 m와 32.0 cm이다. 9영급의 경우, 평균 연륜은 91년으로 5영급보다 42년 많았으며, 평균 수고와 흉고지름은 각각 16.1 m와 45.9 cm로 5영급에 비하여 각각 2 m 높고, 13.9 cm 두꺼웠다. 수간에서 연륜 생장편의 추출 위치를 설정할 때는 임분의 경사에 따른 압축이상재 발생을 고려하기 위하여 사면의 수직방향에서 실시하였다(Seo and Park 2002).

2.2. 연륜 측정 및 크로스데이팅

채취된 연륜 생장편의 연륜측정 위하여 목재세포가

Table 1. Information on experimental trees (*Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki)

Plot	ID	Age (year)	DBH* (cm)	Height (m)	Aspect (°)	Lat/Long/m a.s.l.
1	P1-1	47	33.0	19.2	115 (SE)	36°59'58.17" N
	P1-2	46	30.8	13.9	171 (SE)	129°12'0.58" E
	P1-3	51	31.0	11.0	167 (SE)	500
2	P2-1	93	39.0	15.0	236 (SW)	37°01'21.07" N
	P2-2	54	46.0	13.5	260 (SW)	129°10'21.86" E
	P2-3	84	41.7	15.3	256 (SW)	900

*: DBH= Diameter at breast height

상하로 주행하도록 하여 L자형 나무막대에 접착제를 이용하여 고정하였다. 고정된 생장편의 횡단면에서 선명한 연륜경계 이미지를 획득하기 위하여 면도날을 이용하여 표면을 깎아내었다. 이미지 획득은 스캐너를 이용하여 실시하였으며, 연륜폭 측정은 WinDENDRO™ (Régent Instrument Inc. 캐나다) 프로그램을 이용하여 0.001 mm까지 측정하였다(Seo 1999).

각 연륜에 정확한 생육연대를 부여하기 위하여 크로스데이팅을 실시하였다(Schweingruber 1988; Stokes and Smiley 1996). 크로스데이팅이란 동일한 환경에서 생육하고 있는 임목들의 연륜폭 성장경향을 이용하여 위연륜이나 실연륜을 찾아냄으로써 각 연륜에 정확한 생육연대를 부여하는 것이다. 이러한 것이 가능한 이유는 동일한 환경에서 자라는 임목들은 시대별로 독특한 연륜성장패턴을 공유하기 때문이다(Park and Seo 2000). 연륜에 부정확한 연대가 부여될 경우 연륜별 상호 비교연구 시에 결과 값에 오류가 발생되기 때문에 연륜을 이용한 모든 연구에서는 반드시 필요한 과정이다. 통계적 방법으로 크로스데이팅을 확인하기 위하여 DPL (Dendrochronology Programs Library) 중에서 Cofecha 프로그램(Holmes 1983)을 사용하였다.

본 연구는 Table 1과 같이 각 임분에서 크로스데이팅이 잘 된 3개의 생장편을 이용하여 실시하였다.

2.3. 시료준비 및 가도관 길이 측정

지름 12 mm인 생장편(Fig. 1a)을 연륜별로 조재와 만재를 고려하여 칼로 재단(Figs. 1b~1c)하였다. 재

단된 절편들로부터 가도관을 해리하기 위하여 Schurz 용액에 48시간 이상 담가두었다(Fig. 1d). 48시간 후에는 Schurz액에 담겨 있는 가도관이 해리가 될 때까지 100℃의 수조에 담그고, 흔드는 과정을 실시하였다. 해리된 가도관들은 증류수를 이용하여 세척하였으며, 정확한 가도관 길이 측정을 돕기 위하여 Methylene blue로 염색(Fig. 1e)하고 프레파라트를 제작(Fig. 1f)하여 측정에 사용하였다. 측정은 각 연륜에서 조재와 만재를 구분하여 30개씩의 가도관을 선택한 후, 현미경 화상분석 프로그램을 이용하여 0.01 mm 단위로 실시하였다(Fig. 1g).

2.4. 상관관계 분석

가도관 연대기 상호간 선형관계를 조사하기 위하여 상관관계분석을 실시하였다. 본 분석을 이용하여 매해 변하는 기후가 각 임목의 가도관 길이 변이에 얼마만큼의 영향을 주는지를 간접적으로 평가하였다. 이때, 미성숙재 부분은 상관관계 분석에서 제외하였다. 미성숙재 부분을 성숙재와 함께 포함하여 상관관계 분석을 할 경우 미성숙재에서 성숙재로 발전하는 동안 모든 임목에서 나타나는 일반적인 생물학적 곡선이 결과 값에 영향을 주기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 연륜별 가도관 길이

연륜별 가도관 길이는 연륜이 증가함에 따라 5영

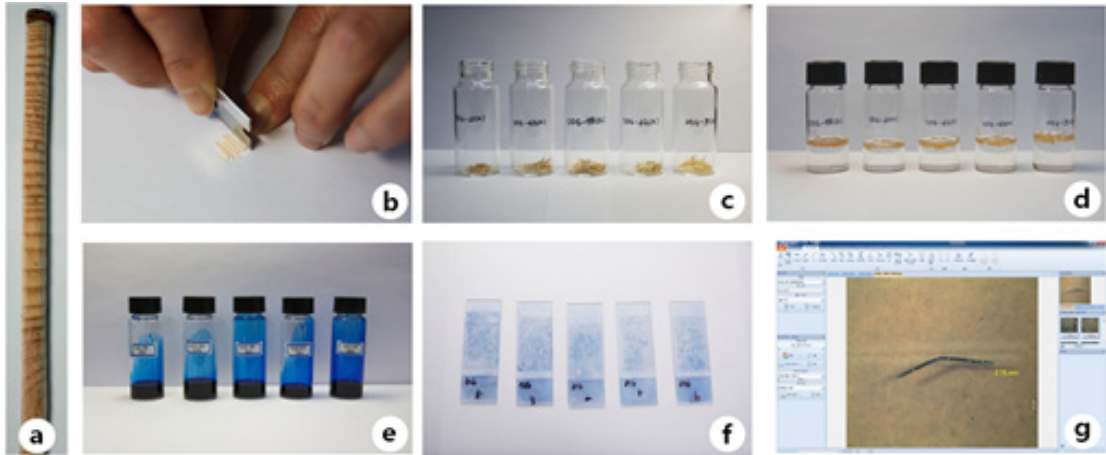


Fig. 1. Sample preparation for the measurement of tracheid length. a: increment core (\varnothing 12 mm), b: splitting tree rings in longitudinal direction considering early- and latewood, c: split sticks in bottles for early- and late-wood sorted according to the calendar year, d: macerating split sticks in Schurz solution, e: staining tracheids in Methylene blue, f: tracheids on slide glasses for measurement, g: measuring tracheid length.

급과 9영급 모두에서 길어지는 것이 관찰되었다(Fig. 2). 가도관의 길이가 안정화되는 기간은 5영급의 경우 약 25년이 소요되었으며, 9영급의 경우 약 40년이 소요되었다. 이는 Park *et al.* (2006)이 춘천시 덕두원에서 실시한 동일한 연구 결과인 11년보다 길었지만, KFRI (2010)의 연구에 의하면 봉화군 춘양면에서 채취한 소나무 시료로 실험한 결과 약 25년에서 안정화되는 것으로 관찰되어 본 연구의 5영급 실험결과와 동일하였다. 두 임분 간 비교에서는 9영급 임목들이 5영급 임목들에 비하여 안정화되는 기간이 상대적으로 길었다. 9영급 임분의 해발고가 5영급 임분의 해발고에 비하여 400 m가 높고 사면방향이 다르다(Table 1). 해발고 또는 위도가 높아지게 되면 평균온도가 내려가게 되어 임목이 자랄 수 있는 기간이 짧아지고(Prislan *et al.* 2011), 생장에 있어서 온도에 대한 의존도도 높아진다(Häkkinen *et al.* 1995; Seo *et al.* 2008). 이러한 생육환경의 차이가 두 임분에서 생육하고 있는 소나무들이 성숙재로 도달하는 기간을 결정하는데 영향을 주었을 것이라 판단된다.

5영급 임목의 조재부 가도관의 평균길이는 2.98 mm였으며, 만재부의 평균길이는 3.14 mm로 만재부

의 가도관 길이가 조재부의 가도관 길이보다 길었다(Fig. 2). 9영급에서도 5영급에서와 같이 만재부가 3.30 mm로 조재부(3.15 mm)보다 긴 것으로 관찰되었다. 영급별 비교에서는 9영급이 5영급 임목들에 비하여 조재와 만재의 가도관 평균 길이가 긴 것으로 조사되었다. 성숙재 부분만을 이용한 비교에서도 조재부의 경우 9영급이 3.36 mm로 5영급의 3.25 mm 보다 길었으며, 만재부에서도 9영급이 3.50 mm로 5영급의 3.37 mm보다 길었다. 가도관 길이에 큰 변화가 없는 영급별 성숙재간 차이 역시 임분 간 지형적 특성에 따른 차이로 판단된다.

3.2. 가도관 연대기 상호간 상관관계 분석

동일 임목에서 조재부와 만재부의 가도관 길이로 작성된 연대기 상호간 상관관계를 분석하였다. 그 결과, P1-3을 제외하고는 상관계수가 0.34를 넘었으며, 통계적으로 유의한 결과를 나타내었다(Table 2). 이 결과로 보아 매년 가도관 길이의 변화는 조재와 만재 구분 없이 동일하게 이루어짐을 알 수 있었다.

하지만 동일 임분 내 임목 상호간 비교에서는 상관계수가 높지 않았으며, 통계적으로도 유의하지 않

Table 2. Linear relationships between tracheid-length time series of early- and latewoods in mature wood

Age Class	5			9		
ID	P1-1	P1-2	P1-3	P2-1	P2-2	P2-3
Correlation coefficient	0.46	0.92	0.93	0.92	0.77	0.67
P-value	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Table 3. Linear relationships between tracheid-length time series of individual trees for Age Class 5 (left) and 9 (right)

	P5-1	P5-2	P5-3		P9-1	P9-2	P9-3
P5-1	1	0.64	0.52	P9-1	1	-0.07	0.04
		< 0.01	< 0.01			0.59	0.73
P5-2	0.65	1	0.30	P9-2	-0.11	1	0.85
	< 0.01		0.06		0.38		< 0.01
P5-3	0.31	0.27	1	P9-3	0.21	0.87	1
	< 0.05	0.08			0.09	< 0.01	

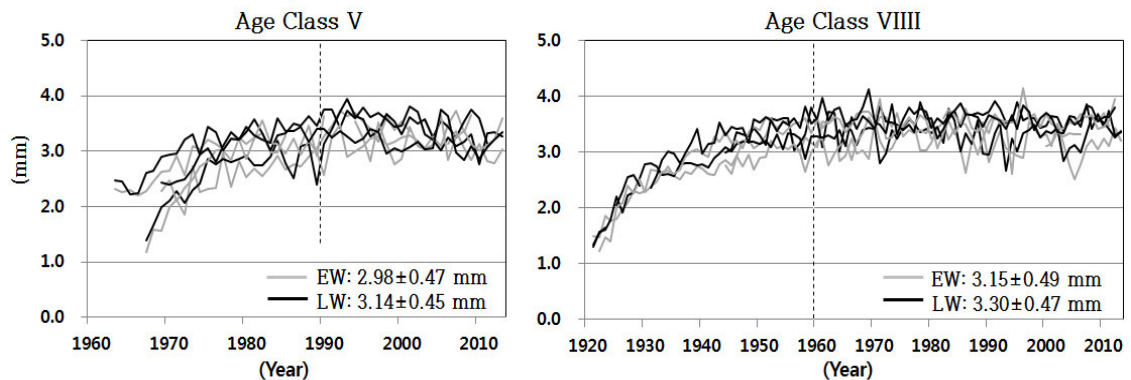


Fig. 2. Annual variations of tracheid length in early- and latewood. Dotted line indicates the border between juvenile and mature woods (EW: earlywood, LW: latewood).

았다(Table 3). 이러한 결과의 원인은 각 임목의 일 년 단위 가도관 길이 변화는 외부 환경 변화에 따른 것이 아니라 각 임목이 갖는 생물학적 특성 또는 연구지의 소나무가 갖는 특성에 의하여 결정되는 것이라 판단된다. 외부의 어떤 환경이 각 임목의 가도관 길이를 결정하는 중요한 인자라면 모든 임목의 연간 가도관 길이 변화 경향은 동일할 것이기 때문이다.

3.3. 조 · 만재부의 가도관 길이 비율

연륜증가에 따른 가도관 길이 변화는 뚜렷하였으나, 동일 연륜 내 조재부의 가도관 길이와 만재부의 가도관 길이 비율은 0.96(조재/만재, 전체 평균값)으로 동일하였다. 표준편차는 0.09(영급5)와 0.07(영급9)로 영급5가 다소 높았다(Fig. 3). 조 · 만재부의 가도관 길이 비율이 매년 차이가 있었으나 측정된 모든 기간의 평균값이 동일한 이유는 임령 또는 임분의

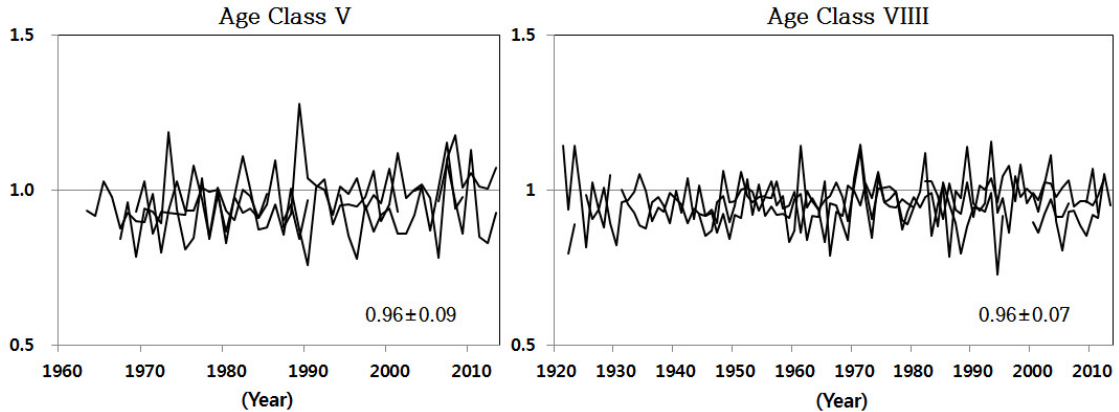


Fig. 3. Ratio between tracheid lengths in early- and latewood.

차이와 조·만재의 가도관 길이 비율 사이에 신뢰할 만한 연관성이 없기 때문일 것이다. 소광리 내에 임령과 임분이 다른 소나무로부터 동일하게 획득된 0.96이라는 가도관 길이의 조·만재 비율은 이 지역 소나무가 갖는 여러 가지의 통일된 해부학적 특성 중 한 인자일 가능성을 보여 준 결과라고 판단된다.

4. 결 론

목재의 기초 물성을 결정하는 여러 요인들 중에 가도관의 길이를 영급, 임분 그리고 조재부와 만재부를 고려하여 분석하였다. 그 결과, 가도관 길이가 안정화되는 기간은 5영급은 25년, 9영급에서는 40년이 었다.

영급별 조재부와 만재부에 있는 가도관 길이에도 차이가 있었다. 5영급과 9영급 조재부에 있는 가도관 길이는 각각 2.98과 3.15 mm였으며, 만재부에 있는 가도관 길이는 각각 3.14, 3.30 mm였다. 전체적으로 9영급에 존재하는 가도관 길이가 5영급보다 길었다. 가도관이 안정화되는 기간의 차이로 발생하는 평균값 변이를 고려하여, 가도관 길이가 안정화된 이후의 측정치만을 이용하여 상호 비교한 결과에서도 조재부의 경우 9영급이 3.36 mm으로 5영급의 3.26 mm보다 길었으며, 만재부의 경우에서도 9영급이 3.50 mm로 5영급의 3.37 mm보다 길었다.

외부 환경인자와 가도관 길이 변이와의 관계를 분석하기 위하여 같은 임분 내에 임목 간, 그리고 서로 다른 임분 간 길이 변이 경향을 비교하였다. 비교를 위해서 상관관계 분석을 이용하였다. 그 결과, 모든 비교에서 유의성 있는 결과를 획득할 수 없어서 외부 환경이 가도관 길이 변이에 큰 영향을 주는 인자가 아님을 확인할 수 있었다. 반면, 동일 임목 내에 조재부와 만재부의 가도관 연간 변이는 유의성 있는 결과를 보여주어, 동일 임목, 동일 연륜 내에서 조재부와 만재부에 있는 가도관 길이의 연간 변이는 유사한 것으로 나타났다.

영급, 연륜, 조재부와 만재부에 따라서 가도관 길이는 차이를 보여주었다. 하지만, 조재부와 만재부의 가도관 길이간 비율에서는 가도관 길이가 안정화되는 경향을 찾아 볼 수 없었으며, 두 영급의 평균값은 0.96으로 동일하였다. 동일한 실험을 다른 지역의 소나무에 적용하여 비교분석 한다면 조재부와 만재부의 비율이 특정 지역을 대표할 수 있는 지수로 활용될 수 있는지를 확인할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Eun, D.J., Kwon, S.M., Kim, N.H. 2008. Variation of fine structure of wood cellulose within stems of 3 commercial softwood species grown in

- Korea. Journal of The Wood Science and Technology 36 (1): 12-20.
- Häkkinen, R., Linkosalo, T., Hari, P. 1995. Methods for combining phenological time series: application to bud burst in birch (*Betula pendula*) in Central Finland for the period 1896-1995. Tree Physiology 15: 721-726.
- Holmes, R.L. 1983. A computer-assisted quality control program. Tree-Ring Bulletin 43: 69-78.
- Im, K.B. 1995. Pine. Daewonsa, 143pp.
- Kim, J.H., Lee, W.H., Hong, S.C. 1999. Studies on the fundamental properties of the wood of Gungangsong (*Pinus densiflora* for. *erecta* Uyeki) (Part 1). Journal of the Korea Furniture Society 10 (2): 55-61.
- Kim, J.-S. 1993. Development and distribution of pine species over the world. Pine and Our Culture (ed. Society for Forests & Culture), pp. 9-12.
- Kim, D.W., Hwang, S.W., Lee, W.H. 2014. A study on the mechanical properties of korean red pine (Geumgangsong, *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki). Journal of the Korean Wood Science and Technology 42 (1): 78-87.
- Korea Forest Research Institute. 2008. Management of natural red pine forests. Research Report 08-17, 85pp.
- Korea Forest Research Institute. 2010. The physical properties of domestic tree species. Research Report 10-29, Korea Forest Research Institute, 135pp.
- Korea Forest Research Institute. 2012. Economic tree species 1, Red Pine. Research Report 59, 250pp.
- Kwon, O.K., Lee, M.R., Eom, C.D. 2013. Utilization of light microscopy and FFT for MFA measurement from unstained sections of red pine (*Pinus densiflora*). Journal of the Korean Wood Science and Technology 41 (5): 399-405.
- Lee, Y.R. 1986. Pine species in Korea. Ewha Womans University Press, 241pp.
- Park, B.S., Park, J.H., Han, S.U. 2006. Variation of material properties of korean red pine of superior families. Journal of Korea Forestry Energy 25 (2): 9-15.
- Park, W.K., Seo, J.W. 2000. Reconstruction of May ~June precipitation (253 years: A.D. 1746-1998) in east-coastal region (Yungdong) of Korea from tree rings of *Pinus densiflora* S. et Z.. The Korean Journal of Quaternary Research 14 (2): 87-99.
- Prislan, P., Schmitt, U., Koch, G., Gricar, J., Cufar, K. 2011. Seasonal ultrastructural changes in the cambial zone of beech (*Fagus sylvatica*) grown at two different altitudes. IAWA Journal 32 (4): 443-459.
- Schweinbruber, F.H. 1988. Tree Rings: Basic and Applications of Dendrochronology. D. Reidel Pub. Co., Dordrecht. Holland. 276pp.
- Seo, J.W. 1999. Spatiotemporal analysis of tree-ring variations in *Pinus densiflora* from Mt. Worak, central Korea. Master Thesis, Chungbuk National University, 59pp.
- Seo, J.W., Park, W.K. 2002. Reconstructing of May precipitation (317 years: A.D. 1682-1998) using tree rings of *Pinus densiflora* S. et Z. in western Sorak Mt., The Korean Journal of Quaternary Research 16 (1): 29-36.
- Seo, J.W., Eckstein, D., Jalkanen, R., Richebusch, S., Schmitt, U. 2008. Estimating the onset of cambial activity in Scots pine in northern Finland by means of the heat-sum approach. Tree Physiology 28 (1): 105-112.
- Stokes, M.A., Smiley, T.L. 1996. An Introduction to Tree-Ring Dating. The University of Arizona Press, Arizona, USA. 73pp.