

국산 참나무류의 이용활성화를 위한 건조특성 및 가공수율 평가¹

장 윤 성² · 신 현 경² · 김 세 종² · 한 연 중² ·
김 민 지² · 엄 창 득² · 이 영 근³ · 심 국 보^{2,†}

Evaluation of Drying Properties and Yields of Domestic *Quercus* Species for Enhancing Utilization¹

Yoon-Seong Chang² · Hyun-Kyeong Shin² · Sejong Kim² · Yeonjung Han² ·
Min-Ji Kim² · Chang-Deuk Eom² · Young-Geun Lee³ · Kug-Bo Shim^{2,†}

요 약

본 연구에서는 국산 참나무류의 고부가가치재 이용기술 개발을 위해 굴참나무와 신갈나무를 대상으로 입목으로부터 마루판재까지의 가공수율을 조사하였다. 또한 참나무류 건조시간 단축을 위한 건조스케줄의 개선 및 물성평가를 수행하였다. 건조시간은 총 173시간이 소요되었으며, 최종함수율은 굴참나무 5.39%, 신갈나무 4.17%로 측정되었다. 건조에 따른 굴참나무와 신갈나무의 재색변화는 ΔE 값이 7~11으로 현저한 변화를 보였다. 건조에 따른 수축률은 굴참나무의 경우, 접선방향 8.1%, 방사방향 5.0%이었으며, 신갈나무의 경우, 접선방향 8.5%, 방사방향 6.2%로 평가되었다. 제재수율은 30~40%, 최종제품수율은 8~15%로 평가되었다. 본 연구에서 조사된 참나무류의 가공특성은 아직까지 저이용되고 있는 국산 활엽수의 효율적인 생산계획을 수립하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In order to develop value-added utilization technology of domestic oaks the processing yield rate from the standing tree to the flooring material for the *Quercus variabilis* and *Quercus mongolica* were investigated. Also, to reduce drying time, improved drying schedule was applied and the physical properties were measured. The drying time was 173 hours in total, and the final moisture content was 5.39% (*Quercus variabilis*) and 4.17% (*Quercus mongolica*). The color difference of oak lumber before and after drying showed a significant change as ΔE value from 7 to 11. The shrinkage rates of *Quercus variabilis* and *Quercus mongolica* during drying were 8.1% and 8.5% in the tangential

¹ Date Received August 18, 2017, Date Accepted September 8, 2017

² 국립산림과학원 임산공학부. Department of Forest Products, National Institute of Forest Science, 57 Hoegiro, Dongdaemun-gu, Seoul 02455, Republic of Korea

³ 국립산림과학원 산림생산기술연구소. Forest Practice Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 심국보(e-mail: kbshim@korea.kr)

direction and 5.0% and 6.2% in the radial direction, respectively. The lumber manufacturing yield rate of sawn lumber was 30 to 40% and that of the final product was 8 to 15%. It is expected that the processing characteristics of the *Quercus* species investigated in this research could contribute to formulate an efficient production plan of domestic hardwoods that are still under utilization.

Keywords : *Quercus* species, wood drying, lumber yield rate, drying schedule, hardwood, value-added product

1. 서 론

참나무류는 우리나라의 주요 활엽수로서, 국내 산림면적의 24.2%를 차지한다(NiFOS, 2013). 무늬와 재색이 아름답다워 가구재, 바닥재 등 고급소재로 많이 쓰이나 건조와 가공이 용이한 소나무를 비롯한 다른 침엽수종과는 달리 활잡목으로 취급되고 표고자목이나 숯과 같은 저부가가치재로 이용되고 있는 실정이다. 수입되는 참나무류 원목이 국내 목재시장에서 매매되는 유통가격은 700,000원/m³ 이상을 호가하고 있는 반면에, 말구지름 27 cm 이상인 1등급 국산 참나무는 150,000원/m³, 표고자목으로 이용되는 원료재급은 70,000원/m³ 정도로 10배 이상의 가격차이를 보이고 있다(Kofpi, 2017).

산림청은 제3단계 숲가꾸기 5개년 추진계획(2014년~2018년)에 의해 연간 24만 ha의 숲가꾸기를 실시하여 연간 120만 m³ 이상의 산물을 수집할 예정이다. 이 중 일부는 제재목, 톱밥 및 칩 등으로 활용되고 있으나 산지에 방치되고 있는 산물(전체의 60%)도 많아 이들의 용도 개발이 시급한 실정이다.

한편 국내 참나무류는 유럽이나 미국산과 달리 잘 관리되지 못한 상태에서 빠르게 성장하였기 때문에 재질이 치밀하지 못하고 아직 소경목일 뿐만 아니라 대부분이 맹아로 번식되어 변색, 충해 등의 결함을 가지고 있다. 따라서 건조결함이 매우 쉽게 발생한다(Kang and Kim, 2004). 이러한 건조결함을 감소시키기 위해 국내 참나무류의 해부학적 특성(Oh, 1999) 및 건조에 관한 연구가 수행되었다. 국산 상수리나무(*Quercus acutissima*)를 대상으로 심재와 변재로 구분하여 두께 8, 16 mm로 제재하고 열기건조를 수행한 결과, 심재가 변재에 비해 표면할렬, 틀어짐 등의 건조결함이 많이 발생한다고 보고하였다(Hong and

Jung, 1986). 또한 두께 19~31 mm인 국산 물참나무(*Quercus grosseserrata*) 판재에 미국 USDA 건조스케줄을 적용하여 건조속도, 함수율분포, 건조응력 및 건조결함을 분석한 결과, 건조스케줄 T4-C2는 두께 25mm 판재 건조에 적절하며 이보다 두꺼운 28, 31mm 판재 건조에는 T3-B1을 적용해야 한다고 보고하였다(Lee and Jung, 1990). 이러한 국산참나무재의 건조결함을 줄이고 건조속도를 향상시키기 위한 방법으로 전평삭처리(Han and Jung, 1986) 증기전처리(Kang, 1992), 마구리 도포제(Kang and Kim, 2004) 등을 적용하였다. 전평삭처리는 무처리에 비해 건조속도가 7.4% 증가하고 건조결함이 현저히 감소했으나, 증기전처리는 무처리재와 큰 차이가 없었으며, PVA를 도포했을 때 마구리할렬이 크게 감소한다고 보고하였다.

본 연구에서는 국산 참나무류의 고부가가치재로의 이용기술 개발을 위해 굴참나무와 신갈나무를 대상으로 입목부터 마루판재까지의 가공수율을 조사하였고, 개선된 건조스케줄의 적용 및 물성평가를 통하여 이용가능성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에 사용한 공시목은 국립산림과학원 산림생산기술연구소 시험림에서 굴참나무(*Quercus variabilis*) 1본(원구지름 28 cm, 길이 25 m)을 벌채하였고, 경기도 포천시 내촌면 음현리에서 신갈나무(*Quercus mongolica*) 3본(원구지름 28~33 cm, 길이 14~18 m)을 벌채하였다. 이후 두께 22 mm와 30 mm (길이 1,900 mm × 폭 150 mm)로 제재하였다. 공시판재는

Table 1. Drying schedule for oak lumber (T11-B3 modified)

Step	Moisture content (%)	Temperature (°C)		Relative humidity (%)	Equilibrium moisture content (%)
		Dry-bulb	Wet-bulb		
1	Above 35	65	62	83	14.0
2	35 to 30	65	57* (61)	66	9.5
3	30 to 25	65* (71)	54	57	8.0
4	25 to 20	71	57* (60)	51	6.8
5	20 to 15	71* (76)	54* (51)	43	5.8
6	15 to final	76* (81)	57* (48)	39	5.1
Conditioning		82	76	78	10.8

*modified

총 94개이었으며, 초기함수율은 굴참나무 53.3 (± 4.4)%, 신갈나무 73.9 (± 7.1)% 이었고, 전건밀도는 굴참나무 0.82 (± 0.03) g/cm³, 신갈나무 0.79 (± 0.03) g/cm³ 이었다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 열기건조

실험에 사용된 건조기는 건조기술(Dryingeng Inc.)에서 제작한 관형 열기건조기로 내부 잔적공간이 2.4 (폭) × 4 (길이) × 1.8 (높이) m이다. 재간 풍속은 2 m/s로 설정하였으며, 수분변화에 의한 건조응력을 억제하기 위해 350 kg/m²의 상부하중을 주었고, 마구리면에 우레탄페인트를 도포하였다. 건조 중에 주기적으로 시험판재(수종별 2개씩)의 무게를 측정하였다. 일반적인 활엽수 건조스케줄은 저온·고습 조건을 적용하여 건조결함과 변색을 줄이는 효과가 있으나 건조시간이 장시간 소요되어 건조에너지 및 인력이 과하게 투입되는 단점이 있다(Kang and Kim, 2004). 따라서 본 연구에서는 기존 FPL에서 제시한 건조가 어렵고 뒤튐림이 심한 북미산 낙엽송(tamarack, *Larix laricina*)에 적용되는 건조스케줄(T11-B3)을 수정하여 적용하였다.

2.2.2. 재색 및 수축률 평가

건조 전후의 표면 재색변화를 측정하기 위하여 표면에 반경 20 mm의 원을 3개씩 표시하고 색차계

Table 2. National Bureau of Standards Unit in USA (Han and Cho, 2005)

ΔE	Critical remarks of color differences
0.0~0.5	Trace
0.5~1.5	Slight
1.5~3.0	Noticeable
3.0~6.0	Appreciable
6.0~12.0	Much
12.0 or more	Very Much

(Konica minolta, JP/CM-600d)를 이용하여 각 시편당 3회씩 재색을 측정하였고, 평균값을 이용하였다. 본 연구에서는 색차계를 이용해 얻어진 CIE L*a*b* 값을 통한 재색변화를 비교하였으며 식 (1)에 따라 도출된 ΔE 를 이용하여 Table 2의 미국국립표준국(NBS, National Bureau of Standards) 색차 단위 수치와 감각적 표현과의 관계에 따라 비교하였다(Han and Cho, 2005).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \dots\dots\dots (1)$$

또한 함수율 변화에 따른 수축률을 측정하기 위하여 횡단면에 방사방향과 접선방향으로 기준선을 그려 0.1 mm 이내의 오차를 갖는 디지털 버니어캘리퍼스(CD-20APX, Mitutoyo)로 동일한 위치에서 측정하였다.

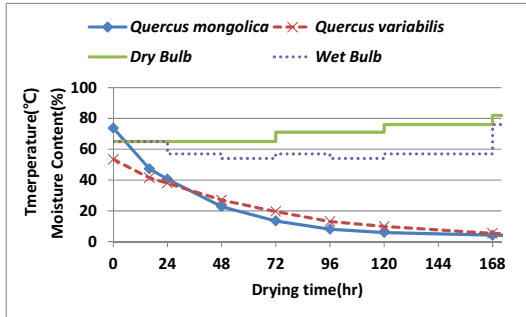


Fig. 1. Drying curves of the oak lumber.

2.2.3. 단계별 수율평가

벌채 전, 수관 아래 6.3 m 이하에서 2등급(「원목규격」 국립산림과학원 고시 제2013-2호) 이상의 원목 생산가능성에 따라 입목등급을 평가하였다. 벌채된 입목을 길이 2.1 m로 절동하여 원목등급을 평가하고, 원목의 말구지름, 길이를 측정하고, 말구직경자승법에 의해 재적(m^3)을 측정하였다. 이후 원목을 제재하고 판재의 재적을 산출하여 제재수율을 평가하고, 건조 후, 치수를 측정하여 건조수율을 평가하였다. 최종적으로 마루판재로 가공하였을 때의 재적을 산출하여 최종제품의 수율을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 열기건조

제재한 굴참나무와 신갈나무 판재를 두께와 수종을 구분하지 않고 동시에 건조하였다. 건조시간은 킨디셔닝 조건 5시간을 포함하여 총 173시간이 소요되었다. 최종함수율은 굴참나무 5.39%, 신갈나무 4.17%로 측정되었다. 건조결함은 수 또는 수 부근 미성숙재가 포함된 판재에서 표면할열 및 너비굽음이 많이 발생하였다. 이를 제외한 나머지 54개의 판재에서는 심한 건조결함이 관찰되지 않았다. 본 연구에서는 공시목의 직경이 작아 수를 포함한 판목제재에 대하여 시험하였으나 수를 제거하여 제재한다면 건조결함을 크게 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

기존 연구에서 적용한 건조조건에 비해 상대적으로 강한 조건을 적용했음에도 불구하고 건조가 원활하게 수행된 원인을 구명하기 위하여 해부학적 특성을 평가하였다. 공시재료의 횡단면 관찰을 위해 시편을 $1 \times 1 \times 1$ cm으로 제작하여 글리세린과 증류수를 1:3~4 비로 만든 용액을 넣고 히팅멘틀로 연화한 후 활주식 마이크로톰(sliding microtome)을 이용하여 15~20 μm 두께의 절편을 제작하였다. 제작된 절편을 1% safranin 용액으로 염색한 후 알코올시리즈(30, 60, 90, 99.7%)로 탈수하였다. 염색이 완료된 절편을 영구프레파라트로 제작하였으며, 이를 광학현미경(axio imager M2, Carl zeiss, Germany)을 이용하여 관찰하였다. 관찰결과, 굴참나무와 신갈나무 모두 횡단면에서 타일로스스가 관찰되지 않았다(Fig. 2). 이는 공시목의 영급이 낮고, 병원균에 감염되지 않은 건전목이라 타일로스스가 발달하지 않은 것으로 판단된다(Babos, 1993). 또한 입목의 활발한 성장 전 벌채를 수행(3월)하고 일주일 이내에 건조를 수행하여, 벌채 후에 번재부위의 추가적인 타일로스스 생성이 되지 않았기 때문에 생각된다(Murmanis, 1975). 따라서 국산 참나무류도 적절한 관리를 통해 보육하고 적합한 가공단계를 거친다면 건조결함이 적은 고부가가치 용도로의 이용이 가능할 것으로 판단되었다.

3.2. 재색 및 수축률 평가

건조에 따른 굴참나무와 신갈나무의 재색변화는 두 수종 모두 명도를 나타내는 L^* 값이 6~10% 감소하는 경향을 보였다. 따라서 ΔE 값도 7~11으로 현저한(much) 변화를 보였다. 이는 온도에 따른 목재의 성분변화에 기인한 것으로(Tarvainen *et al.*, 2001), 보다 밝은 재색의 목재제품을 생산하기 위해서는 초기건조온도(Rodolfo *et al.*, 2007)와 참나무류 재색변화 관련 연구를 수행하여 건조스케줄을 개량해야 할 것으로 생각된다.

건조에 따른 수축률은 굴참나무의 경우, 접선방향 8.1 (\pm 0.3)%, 방사방향 5.0 (\pm 0.8)%이었으며, 신갈나무의 경우, 접선방향 8.5 (\pm 0.8)%, 방사방향 6.2

Table 3. Color differences of the oak lumber during drying

		L*	a*	b*	ΔE
<i>Quercus variabilis</i>	before	71.32 (± 0.29)	6.60 (± 0.39)	18.20 (± 0.85)	11.04
	after	62.98 (± 2.61)	10.90 (± 1.69)	24.01 (± 0.74)	
<i>Quercus mongolica</i>	before	69.06 (± 0.47)	5.29 (± 0.09)	20.52 (± 0.12)	7.58
	after	64.75 (± 0.47)	8.65 (± 0.34)	25.79 (± 0.34)	

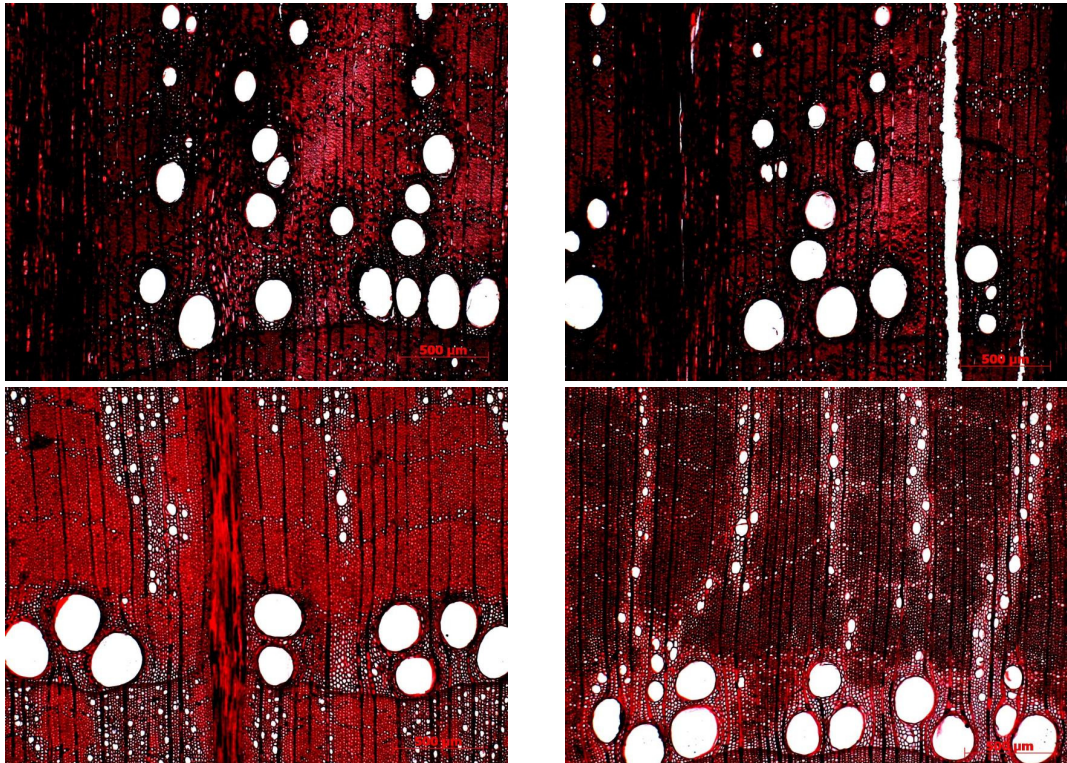


Fig. 2. Cross-section of *Quercus variabilis* (up) and *Quercus mongolica* (down).

(± 0.7)%로 평가되었다. 이는 기존문헌(Kang *et al.* 2008)에서 제시한 값과 유사한 값을 보였다. 본 결과는 최종제품생산을 위한 제재치수 결정 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

3.3. 단계별 수율 평가

수관아래 6.3 m 이하에서 2등급 이상의 원목 생산 가능성을 평가한 결과, 굴참나무 공시목의 입목등급

은 2등급이었으며, 신갈나무 공시목의 입목등급은 3등급이었다. 벌채된 입목을 절동하여 원목등급구분을 수행하였다. 굴참나무는 총 7토막으로 2등급 4토막, 굵음에 의해 3등급 3토막으로 평가되었다. 신갈나무는 총 8토막으로 2등급 1토막, 굵음과 활렬로 인한 3등급 6토막, 4등급 2토막으로 평가되었다. 이를 원구부터 번호를 매겨 원목번호에 따라 홀수번 원목은 두께 30 mm로, 짝수번 원목은 두께 22 mm로 제재하였다. 말구직경자승법에 따라 원목재적을 계산

Table 4. Processing yield for flooring at each stage

Species	Thickness (mm)	Volume (m ³) (roundwood)	Volume (m ³) (lumber)	Yield (%) (sawing)	Yield (%) (drying)	Yield (%) (final product)
<i>Quercus variabilis</i>	22	0.21	0.08	38.1	33.3	14.5
	30	0.28	0.10	35.7	31.2	8.1
<i>Quercus mongolica</i>	22	0.30	0.13	43.3	37.2	8.8
	30	0.53	0.15	28.3	24.3	11.0

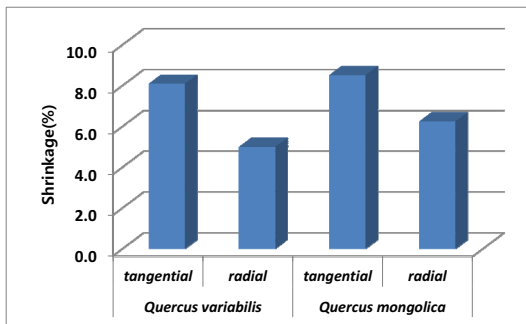


Fig. 3. Shrinkage of oak lumber during drying at tangential and radial direction.

하고, 제재목 치수측정 후, 재적을 산출하여 제재수율을 평가하였다. 이후, 앞에서의 수축률을 이용하여 건조제재목의 건조수율을 평가하고, 최종적으로 폭 75 mm, 두께 24 (←30) mm or 15 (←22) mm, 길이 900 mm로 제혀쪽매 바닥판재를 제작하여 최종제품 수율을 평가하였다. 제재수율(40% > 32%)과 최종제품수율(15% > 8%) 모두 두께가 얇을수록 높았으며, 최종제품수율의 경우 말구지름이 큰 신갈나무 원목이 상대적으로 두께 30 mm쪽으로 많이 투입되어 수율이 크게 평가된 것으로 생각된다. 따라서, 국산 목재제품의 수율을 높이기 위해서는 최종제품 크기에 따른 수종별, 두께별 최적 제재 및 건조조건의 확립이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 국산 굴참나무와 신갈나무를 이용하여 바닥판재로 이용하기 위한 가공수율 및 건조특성을 분석하였다. 건조시간은 총 173시간이 소요되

었으며, 최종함수율은 굴참나무 5.39%, 신갈나무 4.17%로 측정되었다. 건조에 따른 굴참나무와 신갈나무의 재색변화는 ΔE 값이 7~11로 현저한(much) 변화를 보였다. 건조에 따른 수축률은 굴참나무의 경우, 접선방향 8.1%, 방사방향 5.0%이었으며, 신갈나무의 경우, 접선방향 8.5%, 방사방향 6.2%로 평가되었다. 제재수율은 30~40%, 최종제품수율은 8~15%로 평가되었다. 일정 길이로 동일하게 원목을 절동하는 기준방식은 굽음이 심한 원목일 경우, 낮은 원목(단목) 등급으로 제재수율을 떨어뜨리는 결과를 보였다. 보다 효율적인 국산 활엽수 자원이용을 위해서는 교육 및 홍보를 통한 굽음이 심한 부분을 제거하고 원목을 절동하여 제재수율이 높은 직재생산을 유도할 필요가 있다. 본 연구에서 조사된 참나무류의 가공특성은 아직까지 저이용되고 있는 국산 활엽수의 효율적인 생산계획을 수립하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2017년도 국립산림과학원 석·박사연구원의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Babos, K. 1993. Tyloses formation and the state of health of quercus pertraea trees in Hungary. IAWA Journal 13(3): 239-243.
- Han, E.J., Cho, J.Y. 2005. Color Analysis of Printed Silk with Digital Textile Printing Method. Journal of the Korean Society of Design Culture

- 11(2): 126-134.
- Han, G.S., Jung, H.S. 1986. Effect of presurfacing on drying rate and drying defect of *Quercus grosseserrata* Bl. Journal of Korean Wood Science and Technology 14(4): 29-39.
- Hong, B.P., Jung, H.S. 1986. Study on drying characteristics of heartwood and sapwood of *quercus acutissima*. Journal of Korean Wood Science and Technology 14(6): 20-29.
- Kang, H.Y. 1992. Presteamng effect on properties of native oak lumber. Journal of Korean Wood Science and Technology 20(2): 73-80.
- Kang, H.Y., Kim, S.W. 2004. Air- and kiln-drying the boards and disks of *Quercus variabilis*. Journal of Korean Wood Science and Technology 32(1): 52-58.
- Lee, S.J., Jung, H.S. 1990. Studies on drying rate, stress and defect with board thicknesses and drying schedules of *Quercus grosseserrata* Bl. Journal of Korean Wood Science and Technology 18(1): 39-51.
- Murmanis, L. 1975. Formation fo tyloses in felled *quercus rubra* L. Wood Science and Technology 9: 3-14.
- National Institute of Forest Science. 2013. Classification for domestic log. Nifos notification. National Institute of Forest Science. 2013. Distribution of major species on Korea. Breaking news of Forest Science. National Institute of Forest Science.
- Korea Forestry Promotion Institution. 2017. <https://fps.kofpi.or.kr>
- Oh, S.W. 1999. The relationship between anatomical characteristics and bending strength in major species of korean *lepidobalanus*. Journal of Korean Wood Science and Technology 27(1): 9-17.
- Rodolfo, C., Livio, T., Ottaviano, A. 2007. White beech: a tricky problem in the drying process. Proceedings of International scientific conference on hardwood processing. September 24-26, Quebec city, Canada, p. 135-140.
- Tarvainen, V., Saranpaa, P., Repola, J. 2001. Discoloration of Norway spruce and Scots pine timber during drying. Proceedings of 7th International IUFRO wood drying conference. July 9-13, Tsukuba, Japan, p. 294-299.