

임분 특성에 따른 종가시나무의 물리·역학적 특성¹

홍 남 의² · 원 경 록² · 유 병 오⁴ · 정 수 영⁴ · 김 병 로³ · 변 희 섭^{2,†}

Physical and Mechanical Properties of *Quercus glauca* Thunberg according to Forest Stand Characteristics¹

Nam-Euy Hong² · Kyung-Rok Won² · Byung-Oh Yoo⁴ · Su-Young Jung⁴ ·
Byung-Ro Kim³ · Hee-Seop Byeon^{2,†}

요 약

목재의 재질특성은 토양, 지형, 강우, 기후변화 등의 환경적 인자뿐만 아니라 임분 특성에 의해서도 바뀌게 된다. 지역·성림기원에 따라 종가시나무 목재의 물리·역학적 특성을 비교 검토하였다. 지역에 따른 비교분석은 전라남도과 제주도의 종가시나무 천연림을 대상으로 실시하였다. 지역에 따른 결과에서 제주지역은 전남지역에 비하여 높은 생장률을 나타내었으며 역학적 특성에서는 휨강도를 제외한 여러 역학적 특성에서 상관관계가 인정되었으나 실제 값으로 볼 때 큰 차이는 나타나지 않았다. 또한 성림기원에 따른 결과에서는 생장률 및 역학적 특성에서 특별한 차이가 나타나지 않았다.

ABSTRACT

Wood properties are affected by environmental factors such as soil, topography, rainfall, and climate change. The physical and mechanical properties of *Quercus glauca* were analyzed in order to investigate the relationship between wood properties and forest stand characteristics related to regions and forest origins. Physical and mechanical properties of wood were influenced by region. And no significant difference was observed between natural and artificial forests with respect to wood quality properties. Therefore, these findings are expected to be useful as fundamental data for silviculture practices of these species for wood quality.

Keywords : *Quercus glauca*, forest stand characteristics, physical and mechanical properties, natural and artificial forests

¹ Date Received August 2, 2016, Date Accepted September 4, 2016

² 경상대학교 농업생명과학대학, 농업생명과학연구원. College of Agriculture & Life Science, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

³ 충북대학교 농업생명과학대학 목재·종이과학과. Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

⁴ 국립산림과학원 남부산림자원연구소. Southern Forest Resources Research Center, National Institute of Forest Science, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 변희섭(e-mail: hsbyeon@gnu.ac.kr)

1. 서 론

최근 전 세계적으로 지구온난화가 진행됨에 따라 (IPCC, 2007) 우리나라에서도 기온상승에 대한 연구가 다방면으로 진행되어 왔다(Rho, 1973; Lee *et al.*, 2008). Lee and Kang (1997)은 우리나라의 기온이 지난 90년간 약 0.5~0.7℃ 증가한 것으로 추정하였으며, Kwon *et al.* (2007)은 A1B 시나리오에 근거한 아열대 기후구의 변화를 전망하기 위하여 기온관측 자료와 모델시나리오 자료를 분석한 결과 2100년에는 태백산맥과 소백산맥 산지주변을 제외한 우리나라 대부분이 아열대 기후에 포함될 것으로 보고하였다.

우리나라는 지구온난화의 영향으로 아열대 기후의 발달이 진행됨에 따라 난대수종의 생육적지가 확산될 것으로 예상되며, 특히 남부지역에서는 난대수종의 중요성이 높아지고 있다. 우리나라에서는 낙엽활엽수림이 전국에 걸쳐서 발달하고 있으며, 상록활엽수림은 남해안과 일부 도서지방에서 제한적으로 발달하고 있다(Kim, 1992). 참나무류는 국내 산림에서 다른 수종보다 훨씬 넓은 면적을 차지하고 있으며, 왕성한 팽아력과 척박한 지역에서도 높은 생산성을 가지고 있어 우리나라 산림의 이차림은 참나무류가 우점하는 산림이 일반적이다(Song, 2007). 참나무류 중 난대 상록활엽수인 증가시나무는 우리나라의 남·서해안, 제주도를 비롯하여 네팔, 부탄, 베트남, 대만, 일본, 중국 등의 동남아시아 일대에 주로 분포하고 있으며, 주로 남부지방에서 자라는 상록성 참나무류로 수고는 15 m 정도이며, 줄기는 곧게 자라고 해발 600 m 이하 산기슭과 계곡에 주로 자생하고 있다(Park, 2007). 또한 증가시나무는 난대상록활엽수종 중 내한성이 강하여 광주, 대구, 부산 등의 남부지방에서 가로수로 많이 식재되고 있으며 수형이 아름답고 내염성 및 공해에 강하여 정원수, 풍치수, 녹음수, 생울타리 등 조경수로 각광받는 나무이다. 목재로서는 참가시나무와 유사하고 탄소저장 능력과 강도가 뛰어나 건축재, 선박재, 악기재 등으로 이용 가능한 수종(Choi *et al.*, 2012)으로 생육적지의 확산이 진행됨에 따라 용도개발의 잠재성이 높은 수종으로 평가되고 있다.

최근 난대수종을 자원화하기 위한 연구로는 임분 특성에 따른 구실잣밤나무, 붉가시나무, 삼나무 등의 목재에 대한 물리·역학적인 특성에 대하여 보고된 바 있으며(Won *et al.*, 2015; Hong *et al.*, 2015; Hong *et al.*, 2015), 증가시나무에 대한 연구로는 Lee (2010)가 지구온난화 처리구가 비처리구에 비하여 생육이 더 양호함을 밝혔으며, Park (2007)과 Purohit (2009)는 종자발아율, 이식 시기, 수령에 따른 활착률을 구명하였으며, 시비처리에 따른 증가시나무 용기묘의 생리 및 성장특성(Jo, 2014) 등의 연구도 수행되었다. 하지만 증가시나무 목재의 재질 특성에 관한 연구는 미흡한 실정이며, 체계적인 산림무육에 필요한 임분 특성에 따른 재질특성의 평가에 대한 연구는 찾아보기 어렵다.

난대수종을 자원화하기 위해서는 식물 생태학적인 연구뿐만 아니라 임분 특성에 따른 체계적인 산림무육 방법에 따른 최종산물이 될 목재의 이용 용도를 고려한 연구도 함께 수행되어야 할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 증가시나무에 대하여 임분 특성에 따른 물리·역학적 특성의 차이를 비교·분석하여 체계적인 산림무육을 위한 기초 자료 축적을 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에 사용된 증가시나무(*Quercus glauca* Thunberg) 시험목은 지역에 따른 비교분석을 위해서는 남부지역 중 전남(천연림), 제주(천연림)지역에서 선정하였으며, 성립기원에 따른 비교를 위해서는 남부지역 중 전남의 천연림, 경남의 인공림지역에서 선정하였다. 시험목은 각종 위해로부터 피해가 없고 가장 일반적인 임목을 각각 3본씩 선정하였으며, 그 개요를 Table 1, 2에 나타내었다. 또한 증가시나무의 육안 및 현미경을 통해 얻은 이미지 화상을 Fig. 1에 나타내었으며, 연륜의 경계와 심·변재간의 경계는 뚜렷하지 않았고 조재에서 만재로의 이행은 완만한 수종인 것으로 나타났다. 또한 증가시나무는 도관이

Table 1. Forest stand characteristics and growth characteristics of the study site according to each region

Classification		Aspect	Soil drainage		Elevation (m)	Stand density (tree/ha)		Slope (°)
Jeonnam		S	Good		156	1,000		20
Jeju-do		S	Good		363	1,500		8

Classification	Age	DBH (cm)	Height (m)	Clear length (m)	Width of crown (m)		Basal area (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
					0-180	90-270		
Jeonnam	24.0	19.4	9.6	3.3	10.2	5.4	29.5	99.9
	21.0-25.0	6.8-49.2	4.2-13.4	1.6-5.7	2.8-22.0	2.8-9.0	3.6-190.1	9.8-713.3
Jeju-do	29.0	17.1	10.5	3.2	3.2	3.8	33.0	128.0
	23.0-32.0	6.8-38.0	6.2-18.7	1.0-8.0	0.6-10.0	0.3-10.8	5.9-146.8	21.8-640.8

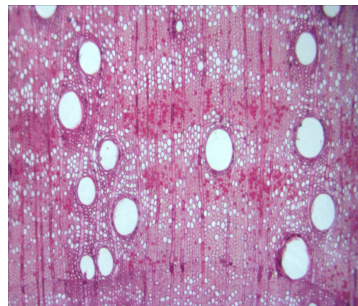
Table 2. Forest stand characteristics and growth characteristics of the study site according to natural and artificial forests

Classification		Aspect	Soil drainage		Elevation (m)	Stand density (tree/ha)		Slope (°)
Natural forest in Jeonnam		S	Good		156	1,000		20
Artificial forest in Gyeongnam		SW	Good		340	1,100		31

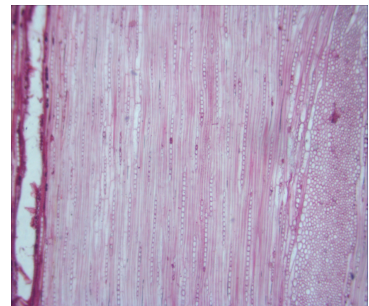
Classification	Age	DBH (cm)	Height (m)	Clear length (m)	Width of crown (m)		Basal area (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
					0-180	90-270		
Natural forest in Jeonnam	24.0	19.4	9.6	3.3	10.2	5.4	29.5	99.9
	21.0-25.0	6.8-49.2	4.2-13.4	1.6-5.7	2.8-22.0	2.8-9.0	3.6-190.1	9.8-713.3
Artificial forest in Gyeongnam	30.7	16.9	11.0	5.2	2.9	3.0	24.7	104.2
	27.0-37.0	7.1-29.2	8.7-15.7	3.6-9.4	1.2-7.0	0.8-6.6	4.4-73.7	20.4-362.0



Disk at breast height



Cross section (x40)



Tangential section (x40)

Fig. 1. Growth ring pattern and anatomical properties from *Quercus glauca* Thunberg.

방사방향으로 나열되어있는 방사공재이며 복합방사 조직과 단열 방사조직이 잘 발달되어 있는 것이 확인되었다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 물리적 특성 시험방법

연료폭의 측정은 한국산업규격(KS) 중 KS F 2202 (목재의 평균 나이트 나비 측정 방법)에 준하여 시험편의 횡단면에서 연료폭 사이의 거리를 연료폭의 수로 나누어서 측정하였으며, 양 횡단면을 측정하여 평균값으로 표시하였다. 기건비중은 KS F 2198 (목재의 밀도 및 비중 측정방법)에 의거하여 실시하였다. 수축률 시험은 KS F 2204 (목재의 수축률 시험방법)에 준하여 시험편을 20 mm (T) × 20 mm (R) × 20 mm (L)로 제단한 후 증류수에 포수시켜 포수 때의 치수를 측정한 후 항온항습실(온도 20 ± 1℃, 습도 65 ± 2%)에서 2주 이상 조습시킨 후 항량에 달했을 때 기건치수를 측정하였고 건조기 105 ± 2℃에서 목재 내의 수분을 완전히 제거될 때까지 건조시킨 후 기건치수를 측정하여 기건수축률, 전건수축률을 구하였다.

2.2.2. 역학적 특성 시험방법

휨 강도성능시험은 시험편의 치수는 20 mm (T) × 20 mm (R) × 320 mm (L)으로 제작하였다. 항온항습실(온도 20 ± 1℃, 습도 65 ± 2%)에서 2주간 조습 처리한 후 실시하였다. 휨 강도성능시험은 한국산업규격(KS)의 KS F 2208 (목재의 휨 시험 방법)에 의거하여 만능강도시험기(Taeshin model TSU-2)를 이용하여, 3점 중앙 집중 하중방식으로 스패의 길이를 280 mm, 하중속도 2.5 mm/min의 조건으로 실시하여 하중과 변위의 관계에서 식 (1)을 이용하여 휨 탄성계수(MOE)를 구하였고 식 (2)를 이용하여 휨 강도(MOR)를 구하였다.

$$MOE = \frac{\Delta P l^3}{4bh^3 \Delta_t} \dots\dots\dots (1)$$

ΔP : 비례한도 내에서 상한 하중과 하한 하중의 차이(N)

Δ_t : P_1 일 때의 지간 거리 중앙의 처짐의 차이 (m)

$$MOR = \sigma_{bmax} = \frac{3P_{max} l}{2bh^2} \dots\dots\dots (2)$$

P_{max} : 최대하중(N)

l : 스패(span, m)

b : 폭(나비, m)

h : 높이(두께, m)

종압축강도 시험편의 치수는 20 mm (T) × 20 mm (R) × 60 mm (L)으로 제작하여 실시하였으며 방사 방향전단강도는 한국산업규격 한국목재규격(KS)의 KS F 2206 (목재의 압축 시험 방법)와 KS F 2209 (목재의 전단 시험 방법)을 참조하여 실험을 실시하였다. 시험은 피로겸용 만능강도시험기(Shimadzu, model EHF-ED10-20L)를 이용하여 압축강도 및 전단강도 모두 하중속도(cross head speed)를 1.0 mm/min의 조건으로 시험편의 횡단면이 하중 블록의 사이에 상하로 향하도록 위치시키고 균일한 하중이 횡단면에 가해지도록 시험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 지역에 따른 재질특성

3.1.1. 물리적 특성

종가시나무의 지역에 따른 물리적 특성과 상관관계를 평가하고자 지역별로 구분하여 평균 연료폭, 비중, 수축률을 측정하고 t-검정을 실시한 데이터를 Table 3에 나타내었다.

목재의 연료폭은 생장과 밀접한 관련이 있으므로 목재의 경제성을 나타내는 중요한 지표라고 할 수 있다(Kim and Kim, 1991; Kim, 1995). 평균 연료폭을 측정된 결과 제주와 전남에서 각각 4.45, 3.83 mm로 나타나 제주지역이 전남지역보다 높은 것으로

Table 3. Physical properties of *Quercus glauca* Thunberg from Jeonnam and Jeju-do

Classification	Average annual ring width of specimen (mm)	Air-dried specific gravity	Oven dry shrinkage (%)			Air-dried shrinkage (%)			
			T	R	L	T	R	L	
<i>Quercus glauca</i>	Jeonnam	3.83* (1.10)	0.82* (0.02)	11.10* (0.78)	4.28* (0.29)	0.25 (0.16)	9.82* (1.45)	2.91* (0.43)	0.18 (0.14)
	Jeju-do	4.45* (0.99)	0.80* (0.04)	10.29* (1.01)	3.73* (0.65)	0.23 (0.21)	8.71* (1.14)	2.32* (0.31)	0.16 (0.24)
	t-test	-2.493	2.175	3.680	4.436	0.411	3.438	4.442	0.658

Notes; Parenthesis is a standard deviation, *Significant at 5% level, T: Tangential direction, R: Radial direction, L: Longitudinal direction.

나타났다. 실제로 임목의 성장량은 표고, 배수, 임분 밀도, 토양, 위도, 강수량 등 다양한 환경적 요인에 의하여 차이가 나타나는데 본 연구의 결과에서는 지역에 따른 유의성이 인정되는 상관관계가 나타났다. 또한 Kennedy (1995)는 목재의 재질적 지표로서 여러 가지가 있지만 그중에서 비중이 가장 중요하다고 보고하였으며, 본 연구의 지역에 따른 비교에서 제주와 전남지역에서 각각 0.80, 0.82의 값을 나타내어 제주지역이 전남지역에 비하여 비중이 약간 낮은 것으로 나타났다. 반면, Paul (1963)은 환공재의 경우 성장속도가 빠를수록 목재의 밀도가 커진다고 보고하였는데 본 연구에 사용된 종가시나무는 참나무과에 속하지만 방사공재이기 때문에 생장률이 높은 제주지역 종가시나무의 비중이 약간 낮아지는 경향을 나타낸 것으로 생각된다. 종가시나무의 접선, 방사, 길이 방향의 전건수축률은 제주지역이 각각 10.29, 3.73, 0.23%, 전남지역은 각각 11.1, 4.28, 0.25%로 지역에 따른 접선·방사 방향에서의 수축률은 성장속도가 빠른 제주지역이 전남지역에 비하여 수축률이 낮은 경향을 나타내었다. 한편, 종가시나무의 전건수축률은 난대 상록활엽수로 참나무과에 속하며 광방사조직을 갖는 참가시나무의 전건수축률의 값 10.31, 4.42, 0.46%와 매우 유사하게 나타났다(Chong *et al.*, 2004). 또한 복렬방사조직을 갖는 구실잣밤나무의 접선·방사방향 전건수축률은 7.80, 3.88%로 접선방향에서는 종가시나무의 수축률이 크지만 방사방향에서는 비슷한 수축률을 나타내었다(Won *et al.*, 2015).

3.1.2. 역학적 특성

종가시나무의 지역에 따른 역학적 특성과 상관관계를 평가하고자 지역별로 구분하여 강도성능을 측정하고 t-검정을 실시한 데이터를 Table 4에 나타내었다.

종가시나무를 지역에 따라 구분하여 역학적 특성을 시험한 결과 제주와 전남의 휨 강도는 각각 126.22, 130.01 MPa, 휨 탄성계수는 각각 16.57, 18.06 GPa, 압축강도는 각각 54.78, 58.57 MPa, 압축 탄성계수는 각각 6.01, 6.62 GPa, 전단강도는 각각 17.51, 18.34 MPa로 나타났다. 역학적 특성에서 휨강도를 제외한 여러 역학적 특성에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내어 제주지역이 전남지역에 비하여 비교적 낮은 경향을 나타내었다. 하지만 실제 값으로 볼 때 특별한 정도의 큰 차이는 아닌 것으로 생각된다. Wang & Ko (1998)도 임팩트 해머법을 이용한 동적탄성률과 휨 강도에서 삼나무는 각 지역별로 수목의 밀도, 토양에 따라 강도가 달라진다고 보고하였으며, Park *et al.* (2010)도 제주도 삼나무의 역학적 성질이 남부지역의 삼나무에 비해 비교적 낮은 값을 나타내어 입지적 특성에 따른 차이가 존재한다고 보고하여 본 연구의 결과와 같은 경향을 나타내었다. 반면 Won *et al.* (2014)은 경남, 전남, 제주의 졸참나무를 지역별로 구분하여 비교한 결과 제주 졸참나무의 강도성능이 전남보다 높은 값을 나타낸 것으로 보고하여 수종에 따른 영향도 있는 것으로 판단된다.

Table 4. Mechanical properties of *Quercus glauca* Thunberg from Jeonnam and Jeju-do

Classification	Bending properties		Compressive properties		Shear strength	
	MOR (MPa)	MOE (GPa)	σ_c (MPa)	MOE (GPa)	σ_s (MPa)	
<i>Quercus glauca</i>	Jeonnam	130.01 (11.96)	18.06* (2.40)	58.57* (4.51)	6.62* (1.32)	18.34* (1.12)
	Jeju-do	126.22 (9.11)	16.57* (1.86)	54.78* (3.56)	6.01* (0.71)	17.51* (1.33)
	t-test	1.510	2.838	3.953	2.425	2.843

Note; Parenthesis is a standard deviation, *Significant at 5% level, MOR: Modulus of rupture, MOE: Modulus of elasticity, σ_c : Compressive strength, σ_s : Shear strength.

Table 5. Physical properties of *Quercus glauca* Thunberg from natural and artificial forests

Classification	Average annual ring width (mm)	Air-drid specific gravity	Oven dry shrinkage (%)			Air-dried shrinkage (%)			
			T	R	L	T	R	L	
<i>Quercus glauca</i>	Natural forest	3.83 (1.10)	0.82 (0.02)	11.10* (0.77)	4.28 (0.29)	0.25 (0.16)	6.81 (1.45)	2.90* (0.43)	0.19 (0.13)
	Artificial forest	3.94 (0.98)	0.81 (0.14)	10.08* (0.68)	4.53 (0.67)	0.28 (0.17)	6.87 (1.37)	3.42* (0.68)	0.21 (0.17)
	t-test	0.453	0.280	-5.671	1.961	0.987	0.149	3.683	0.648

Note; Parenthesis is a standard deviation, *Significant at 5% level, T: Tangential direction, R: Radial direction, L: Longitudinal direction.

3.2. 성림기원에 따른 재질특성

3.2.1. 물리적 특성

종가시나무의 성림기원에 따른 물리적 특성과 상관관계를 평가하고자 성림기원에 따라 구분하여 평균 연륜폭, 비중, 수축률을 측정하고 t-검정을 실시한 데이터를 Table 5에 나타내었다.

본 연구의 종가시나무 평균연륜폭 값은 인공림과 천연림에서 각각 3.94, 3.83 mm, 기건비중은 각각 0.82, 0.81로 나타났으며, 전건수축률에서도 접선 방향 길이방향으로 인공림에서는 각각 10.08, 4.53, 0.28%, 천연림에서는 각각 11.10, 4.28, 0.25%로 나타나 성림 기원에 따른 특별한 차이는 나타나지 않았다. 반면 Kim (2003)은 인공 조림된 자작나무류의 연평균 직경생장량은 다른 수종들과 경쟁하면서 자라는 천연림보다 월등히 높은 것으로 보고하였다. Choi and Park (1993)도 굴참나무와 현사시나무의

생체량 연구에서도 수종에 따라 차이는 있으나 인공림이 천연림보다 연간 물질 생산량이 더 높게 나타난다고 보고하여 본 연구와 다른 결과를 보고한 바 있으며, 이것은 수종이나 기타 환경 요인에 의한 영향이 있을 것으로 판단된다.

3.2.2. 역학적 특성

종가시나무의 성림기원에 따른 역학적 특성과 상관관계를 평가하고자 성림기원에 따라 구분하여 강도성능을 측정하고 t-검정을 실시한 데이터를 Table 6에 나타내었다.

성림기원에 따른 천연림과 인공림의 역학적 특성에서 휨 강도는 각각 130.01, 129.96 MPa, 휨 탄성계수는 각각 18.06, 17.41 GPa, 압축 강도는 각각 58.57, 57.24 MPa, 압축 탄성계수는 각각 6.62, 5.98 GPa, 전단강도는 각각 18.34, 17.95 MPa로 천연림의 역학적 특성이 인공림보다 높게 나타났다. 또한 t-검

Table 6. Mechanical properties of *Quercus glauca* Thunberg from natural and artificial forests

Classification	Bending properties		Compressive properties		Shear strength	
	MOR (MPa)	MOE (GPa)	σ_c (MPa)	MOE (GPa)	σ_s (MPa)	
<i>Quercus glauca</i>	Natural forest	130.01 (11.96)	18.06 (2.40)	58.57 (4.51)	6.62* (1.32)	18.34* (1.12)
	Artificial forest	129.96 (14.42)	17.41 (2.69)	57.24 (3.56)	5.98* (0.62)	17.95* (0.85)
	t-test	0.547	-0.987	-1.387	-2.625	2.587

Note; Parenthesis is a standard deviation, *Significant at 5% level, MOR: Modulus of rupture, MOE: Modulus of elasticity, σ_c : Compressive strength, σ_s : Shear strength.

정 결과 성림기원에 따른 압축 탄성계수, 전단강도에서는 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었지만, 휨 강도, 휨 탄성계수, 압축강도는 유의성이 인정되지 않았으며 유의성이 인정되는 경우에도 그 차이는 미미하여 성림기원에 따른 특별한 차이는 없는 것으로 판단된다.

4. 결 론

중가시나무의 체계적인 산림무역을 위한 목재의 재질 데이터를 축적하기 위하여 남부지역을 중심으로 지역 및 성림기원에 따른 목재의 물리적·역학적 특성을 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 지역에 따른 물리적 특성에서 제주지역이 전남 지역에 비하여 생장률이 높고 비중과 수축률은 약간 낮은 경향을 나타내었으며, 역학적 특성에서는 휨 강도를 제외한 여러 역학적 특성에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었다. 또한 제주지역이 전남지역에 비하여 휨·압축·전단강도 및 탄성계수가 낮은 경향을 나타내었으나 실제 값으로 볼 때 큰 차이는 나타나지 않았다.
- 2) 성림기원에 따른 재질특성에서 천연림과 인공림 간의 물리·역학적 특성에서는 특별한 차이를 나타내지 않았다.

따라서 지역이나 성림기원 등 임분 특성에 따른

물리·역학적 특성을 고려하여 생산량과 재질 중 어느 항목에 중점을 두는 산림무역방법을 선택하여 실행할 것인지를 판단해야 할 것이다.

사 사

본 연구는 국립산림과학원 연구과제(2014-0011) 지원사업에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- Cho, M.S., Hwang, J.H., Yang, A.R. 2014. Physiological characteristics and growth performances of container seedlings of *Quercus glauca* grown at different fertilization treatments. Proceeding of the Korean Forest Society Annual Meeting. pp. 302.
- Choi, S.M., Shin, H.C., Park, N.C. 2012. The seed germination and seedling growth of *Quercus glauca* Thunberg by seed collection time and size of seeds. 2012. Proceeding of the Korean Forest Society Annual Meeting. pp. 162-163.
- Choi, Y.C., Park, I.H. 1993. Biomass and net production of a natural *Quercus variabilis* forest and a *Populus alba* × *P. glandulosa* plantation at Mt. Mohu area in Chonnam. Journal of Korean Forest Society 82(2): 188-194.
- Chong, S.H., Jung, D.J., Park, B.S., Lee, D.S., Cho,

- S.T., Seo, J.W., Kwon, Y.H. 2004. Wood properties of *Quercus salicina*. Journal of Korean Forest Society 93(3): 230-234.
- Hong, N.E., Won, K.R., Jung, S.Y., Lee, K.S., Byeon, H.S. 2015. Wood properties of *Quercus acuta* due to thinning intensity. Journal of the Korean Wood Science and Technology 43(6): 721-729.
- Hong, N.E., Won, K.R., Yoo, B.O., Jung, S.Y., Byeon, H.S. 2015. Mechanical properties of *Cryptomeria japonica* by the differences of stand characteristics in southern region of Korea. Journal of the Korean Wood Science and Technology 43(3): 320-326.
- IPCC. 2007. Climate change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. The 8th Session of Working Group II of the IPCC. Brussels : Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kennedy, R.W. 1995. Coniferous wood quality in the future: concerns and strategies. Wood Science and Technology 29: 321-338.
- Kim, G.T. 2003. Ecological forest management and reforestation problem. Comparison of diameter increment of three genus *Betula* species between artificial and natural forest. Korean Journal of Environment Ecology 17(3): 224-231.
- Kim, J.K. 1995. Changes of tree ring width and ring density of black pines growing air polluted. Proceeding of the Korean Forest Society Annual Meeting. pp. 31-32.
- Kim, J.K. and Kim, J.S. 1991. Characteristics of Annual Rings of *Pinus thunbergii* Grown in the Air-polluted Area by Soft X-ray Analysis. Journal of Korean Forest Society 80(4): 351-359.
- Korean Standards Association. 2004. KS F 2198, KS F 2202, KS F 2204, KS F 2206, KS F 2208 and KS F 2209.
- Kwon, Y.A., Kwon, W.T., Boo, K.O., Choi, Y.G. 2007. Future projections on subtropical climate regions over South Korea using SRES A1B data. Journal of the Korean Geographical Society 42(3): 355-367.
- Lee, H.J. 2010. Ecological studies on *Quercus gilva* and *Quercus glauca* by elevated CO₂ concentration and temperature. Department of Biology Graduate School of Kong Ju National University, Korea.
- Lee, M.I. and Kang, I.S. 1997. Temperature variability and warming trend in Korea associated with global warming. Korean Meteorological Society 33(3): 429-443.
- Lee, S.H., Heo, I.H., Lee, K.M., Kim, S.Y., Lee, Y.S., Kwon, W.T. 2008. Impacts of climate change on phenology and growth of crops: in the case of Naju. Journal of the Korean Geographical Society 43(1): 20-35.
- Oh, S.J., Shin, C.H., Kim, C.S., Kang, H.S., Kang, K.M., Yang, Y.H., Koh, S.C. 2012. Analysis of CO₂ fixation capacity in leaves of ten species in the family fagaceae. Journal of the Environmental Sciences 21(1): 89-96.
- Park, J.C. 2007. Studies on the Growth of Seedlings and Transplanting in *Quercus myrsinaefolia* Blume and *Q. glauca* Thunb. Department of Horticulture, Graduate School, Jinju National University, Korea.
- Park, B.S., Hwang, K.H., Chong, S.H. 2010. Wood properties of japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) planted as a windbreak forest of mandarin orange field in Jeju island. KFS Journal 21(6): 479-485.
- Paul, B.H. 1963. The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. USDA Forest Service Technology Bulletin 1288: 460-478.
- Purohit V.K., Palni L.M., Nandi S.K. 2009. Effect of pre-germination treatments on seed physiology and germination of central Himalayan oaks.

- Physiology and Molecular Biology of Plants 15(4): 319-326.
- Rho, C.S. 1973. On the rising trend of air temperature in Seoul area. Journal of Korean Meteorological Society 9(2): 49-58.
- Song, M. S. 2007. Analysis of distribution and association structure on the sawtooth oak (*Quercus acutissima*) forest in Korea. Ph. D. Dissertation, Changwon University, Korea.
- Wang, S.Y. and Ko, C.Y. 1998. Dynamic modulus of elasticity and bending properties of large beams of Taiwan-grown japanese cedar from different plantation spacing sites. Journal of Wood Science 44: 62-68.
- Won, K.R., Hong, N.E., Jung, S.Y., Yoo, B.O., Byeon, H.S. 2015. Physical and mechanical properties of *Castanopsis cuspidata* var. I according to stand characteristics in the southern region of Korea. Journal of the Korean Wood Science and Technology 43(6): 714-720.
- Won, K.R., Hong, N.E., Lee, K.S., Jung, S.Y., Yoo, B.O., Park, Y.B., Chong, S.H., Byeon, H.S. 2014. Physical and mechanical properties of *Quercus serrata* according to stand characteristics in southern region of Korea. Journal of the Korean Wood Science and Technology 42(6): 659-665.