

붉가시나무의 간벌 강도에 따른 재질 특성¹

홍 남 의² · 원 경 록² · 정 수 영³ · 이 광 수³ · 변 희 섭^{2,†}

Wood Properties of *Quercus acuta* due to Thinning Intensity¹

Nam-Euy Hong² · Kyung-Rok Won² · Su-Young Jung³ · Kwang-Soo Lee³ · Hee-Seop Byeon^{2,†}

요 약

목재의 재질특성은 토양, 기후, 임분특성 등의 환경적 요인뿐만 아니라 인위적인 처리에 의해서도 바뀌게 되므로 남부지역의 전라남도 완도 수목원에서 무간벌, 약도간벌, 강도간벌의 간벌강도에 따른 목재의 조직·물리·역학적 특성을 평가·분석한 결과 간벌 강도에 따라 여러 조건에서 높은 상관관계를 나타내었다. 특히 간벌강도는 연륜폭과 역학적 특성에서 밀접한 상관관계를 나타내었다. 본 연구결과 붉가시나무의 간벌강도와 재질특성 사이에서 상관관계가 나타났고 이러한 결과는 목재를 시업체계와 육림방법 시스템에 적용할 수 있는 기초자료로서 활용 가치가 높을 것으로 판단된다.

ABSTRACT

Wood properties depend on not only environmental factors such as soil, climate change, or forest stand characteristics, but also silviculture practices such as thinning, regeneration, or selection. This study report influences of the extent of thinning intensity from no thinning, moderate and heavy thinning to the wood property of *Quercus acuta* forest stands in Wan-do arboretum, Jeollanam-do Province. The results showed that there were close relationships between thinning intensity and anatomical, physical or mechanical properties of *Quercus acuta* wood. Especially, there are close relationships between thinning intensity and ring width or mechanical properties of wood. As a result, this study showed high correlations between *Quercus acuta* wood properties and thinning intensity of *Quercus acuta* forest stand. These findings are expected to be very useful as fundamental data for the implementation of silviculture practices of this specie to produce timber.

Keywords : *Quercus acuta*, thinning intensity, anatomy, physical and mechanical properties

¹ Date Received October 19, 2015, Date Accepted November 13, 2015

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

³ 국립산림과학원 남부산림자원연구소, Southern Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Republic of Korea

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

1. 서 론

최근 지구온난화에 따른 기온 상승으로 난대수종에 대한 생육적지의 확산현상과 더불어 그 중요성도 점차 높아지고 있다. 우리나라 상록활엽수림을 대표하는 주요수종 중의 하나인 붉가시나무는 우리나라 전남, 제주도 등의 난대림 지역에 자라는 상록교목으로서 산골짜기와 산중턱 이하의 양지바른 쪽에서 잘 자라나 어릴 때에는 비교적 내음성이 강한 수종이며 (Shin *et al.*, 2006), 완도 수목원의 상당부분을 우점하고 있으며 참나무과 수목으로 수고 20 m, 흉고직경 60 cm까지 성장하는 상록활엽교목이다(Lee, 1980). 최근 국립산림과학원을 중심으로 남부 권역의 난대수종에 대하여 종 다양성 보존과 자원화의 필요성이 대두됨에 따라 자원화 가능수종의 분포와 식생분포 조사, 적지판정, 임분전환 개선시험 등 난대수종을 대상으로 종합적인 연구가 수행되고 있다.

붉가시나무의 자원화를 위한 연구로서 국내에서는 붉가시나무에 대한 임지의 구조나 수간형태(Kim *et al.*, 2002; Park, 2012; Chung *et al.*, 2010), 탄소고정량 평가를 위한 확장계수 추정(Lee *et al.*, 2007) 등의 기초적인 연구와 함께 시업체제와 육림방법에 관한 연구를 위하여 간벌 후 붉가시나무 임분에 관한 연구(Hwang *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2005) 등 붉가시나무 간벌지를 대상으로 산림자원의 정량적인 가치를 평가할 수 있는 다양한 연구가 수행되어 왔다. 또한 우수한 성장과 더불어 우수한 재질의 목재 생산을 위한 연구가 활발히 추진되고 있는 추세로, 유용수종을 중심으로 한 조직적·물리적·역학적 특성에 대한 연구결과들이 보고되고 있다. 국외에서도 중국, 대만, 일본(Yan *et al.*, 2008; Nakao *et al.*, 2014) 등에서 난대림에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 남부지역의 난대수종에 대한 생육적지의 확산현상과 더불어 그 중요성도 점차 높아지고 있는 난대림의 용도 창출을 위한 연구를 위해서는 기초자료가 매우 중요하다.

이러한 관점에서 볼 때 붉가시나무의 목재성질에 관한 기본적인 연구(Chong *et al.*, 2007)도 필요하고 시업체제나 무육방법에 따라 목재의 재질특성에는

차이가 나타나기 때문에 적절한 시업체제나 무육방법 방향 제시하기 위해 간벌처리 강도에 따른 재질 특성과 관련한 연구가 필요하여 본 논문에서는 붉가시나무의 간벌 강도에 따른 조직·물리·역학적 특성과의 상관관계를 분석하여 붉가시나무 이용 및 생산을 위한 기초적인 자료를 제공하고자 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에 사용된 붉가시나무(*Quercus acuta*, Thunb.)는 간벌 강도에 따른 재질 특성의 비교분석을 위하여 공시목을 채취한 임지는 전라남도 완도군 완도 수목원의 상록활엽수림으로 1999년에 간벌을 실시하여 약 15년이 지난 2014년에 채취하였으며 Fig. 1에 무간벌, 약도간벌(30%), 강도간벌구(70%)의 울폐도를 나타내었다. 채취한 임목은 선정된 표준지에서 각종 위해로부터 손상되지 않고 각 Plot 내에서 가장 일반적인 건전한 임목으로 무간벌, 약도간벌, 강도간벌구에서 각각 3본씩 선정하였고 표준지에 따른 결과를 Table 1에 나타내었다. 벌채 후 송풍기를 이용한 촉진천연건조법으로 건조한 후 시험편을 제조하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 조직적 특성

공시임목의 흉고부위에서 채취한 원판을 이용하여 가로, 세로, 길이 각 1 cm ~ 1.5 cm로 블록을 제조하여 각 3단면(횡단면, 방사단면, 접선단면)에서 마이크로톰(LEICA SM 2000 R)을 20 μ m 두께로 절삭하여 제작한 절편을 염색, 탈수, 봉입 과정을 거쳐 프레파라트를 제조하였으며 섬유 해리는 솔츠용액을 사용하여 해리시켰다. 준비된 프레파라트와 해리된 섬유는 광학현미경(Nicon, Model S-Ke)과 현미경에 장착된 카메라(ICM 5.0)를 사용하여 컴퓨터로 이미지를 획득한 후, 획득한 이미지를 바탕으로 영상 분

Table 1. Plot data of *Quercus acuta* due to standing wood

Thinning intensity	D.B.H. (cm)	Height (m)	Soil drainage	Elevation (m)	Stem number per ha (count)	Slope
Plot 1 (Unthinned control)	15.3	14.3	very good	336	2325	21°
Plot 2 (Moderate thinning)	17.5	13.2	very good	336	1100	21°
Plot 3 (Heavy thinning)	20.8	13.6	very good	336	700	21°

Note; D.B.H. : Diameter at breast height.

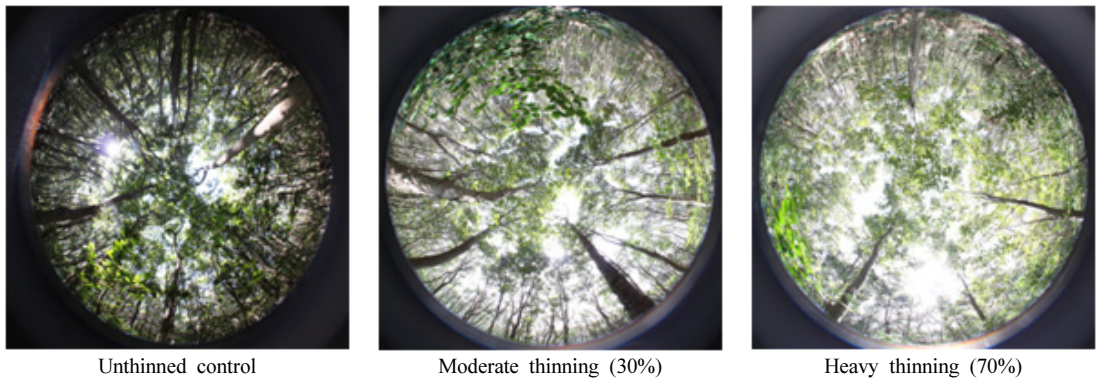


Fig. 1. Crown density due to thinning intensity.

석 프로그램(IMT, I-Solution Lite)을 사용하여 방사 조직 수 · 높이 · 너비, 도관의 방사 · 접선방향 크기, 도관의 길이, 섬유장을 관찰하여 무간벌, 약도간벌, 강도간벌로 분류하고 유의성을 검정하였다. 또한 방사조직 수 · 높이 · 너비는 각 연륜마다 5회씩, 도관의 방사 · 접선방향 크기는 각 연륜마다 10회씩 측정하였으며, 도관의 길이, 섬유장 측정은 변재부를 사용하였고 무간벌, 약도간벌, 강도간벌에서 각각 3본의 평균값을 사용하였다.

2.2.2. 물리적 특성

연륜폭의 측정은 한국산업규격(KS) 중 KS F 2202 (목재의 평균 나이테 나비 측정 방법)에 준하여 시험편의 횡단면에서 조 · 만재를 포함하는 완전한 연륜 전체의 폭을 연륜의 수로 나누어서 구했으며, 양 횡단면을 측정하여 평균값으로 표시하였다. 기건밀도는 KS F 2198 (목재의 밀도 및 비중 측정방법)에 의

거하여 실험을 실시하였고, 수축률은 KS F 2203 (목재의 수축률 시험 방법)에 의거하여 실험을 실시하였다. 시험편은 제작 후 항온항습실(온도 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $65 \pm 2\%$)에서 2주 이상 조습처리를 실시한 시험편을 사용하였으며 물리적 특성 측정에 사용된 장비는 소수점 둘째 자리까지 측정할 수 있는 전자 캘리퍼스를 사용하였다.

2.3.3. 역학적 특성

휨 강도, 종압축강도, 전단강도는 한국산업규격 한국목재규격(KS)의 KS F 2208 (목재의 휨 시험 방법), KS F 2206 (목재의 압축 시험 방법), KS F 2209 (목재의 전단 시험 방법)을 참조하여 실험을 실시하였으며 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

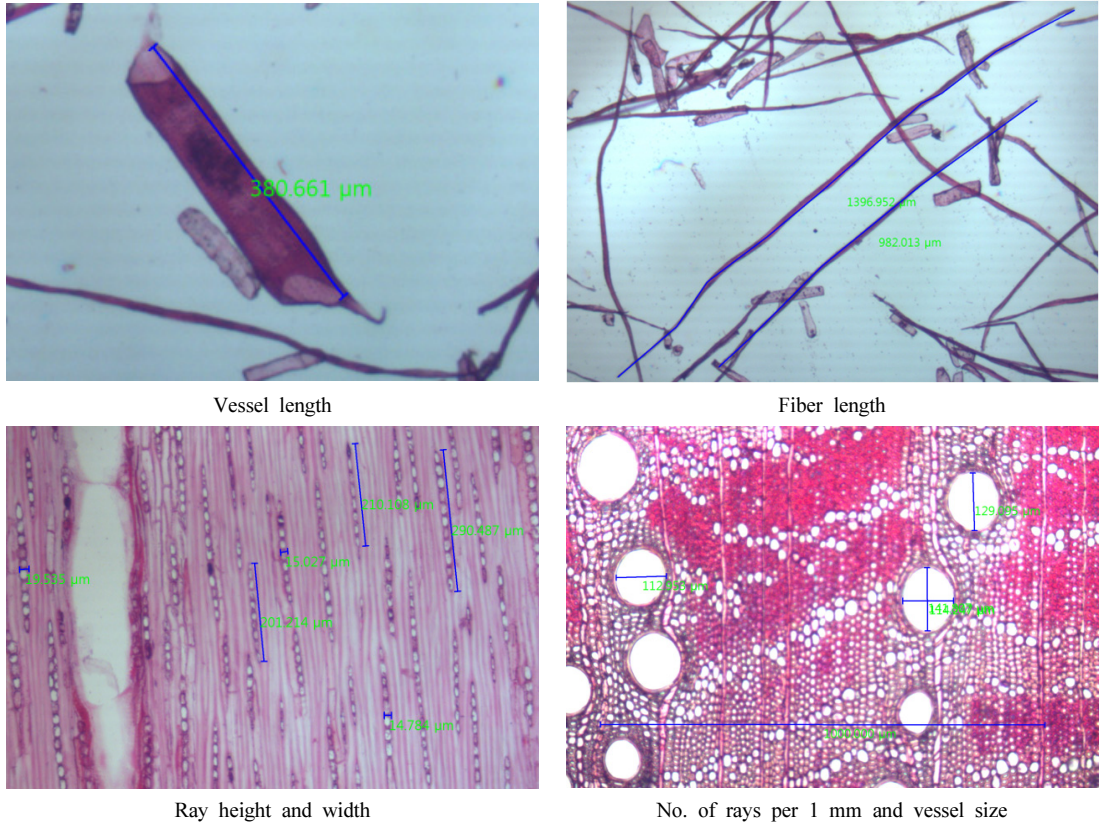


Fig. 2. Analysis of anatomical properties.

사이에 상하로 향하도록 위치시키고 균일한 하중이 횡단면에 가해지도록 시험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 간벌처리의 정도에 따른 조직적 특성

Table 2에 붉가시나무의 조직적 특성인 단열 방사조직 수 · 높이, 도관의 크기 · 길이, 목섬유의 길이를 간벌 강도에 따른 유의성을 검정하기 위하여 던컨테스트를 실시한 결과를 나타내었다. 던컨테스트의 결과 간벌 강도와 조직적 특성과의 관계에서 여러 조건에서 상관관계가 존재하는 유의성을 나타내었다.

조직적 특성의 단열 방사조직, 조재 도관의 방사 · 접선방향으로의 크기, 도관의 길이에서는 간벌 강

도에 따라 유의성이 인정되는 상관관계가 나타나 간벌을 실시하였을 경우 무간벌에 비하여 단열 방사조직의 너비가 좁아지고 단열 방사조직의 길이와 수가 증가하고 조재부에서의 도관이 더 넓고 길이는 짧아진 것으로 나타났다. 하지만 만재 도관의 방사 · 접선방향으로의 크기, 섬유장과 간벌 강도간에는 상관관계가 인정되지 않았다. Park *et al.* (2011)도 낙엽송의 간벌처리에 따른 가도관의 길이는 강도간벌, 약도간벌, 무간벌에 따른 특별한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다.

3.2. 간벌처리의 정도에 따른 물리적 특성

Table 3에 붉가시나무의 물리적 특성인 전건 수축률, 기건 수축률, 평균연륜폭, 기건 밀도를 간벌 강도

붉가시나무의 간벌 강도에 따른 재질 특성

Table 2. Anatomical properties of *Quercus acuta* due to thinning intensity

Thinning intensity	Uniseriate ray							
	No. of rays per 1 mm		Heigh of rays		Width of rays			
	Count	p-value	Heigh	p-value	Width	p-value		
Unthinned control	8.37 (1.77) a ¹⁾		201.52 (58.91) a		13.30 (2.33) b			
Moderate thinning	9.15 (1.82) b	0.000	203.49 (70.15) ab	0.043	10.77 (2.54) a		0.000	
Heavy thinning	10.05 (1.41) c		222.35 (81.76) b		11.37 (2.24) a			
Thinning intensity	Vessel							
	Early wood				Late wood			
	R	p-value	T	p-value	R	p-value	T	p-value
Unthinned control	127.38 (14.60) a		105.12 (11.86) a		109.63 (12.30) a		91.12 (14.30) a	
Moderate thinning	135.40 (12.73) b	0.000	106.45 (8.78) a	0.000	110.39 (12.04) a	0.103	87.47 (8.64) a	0.244
Heavy thinning	155.75 (22.20) c		123.92 (14.74) b		115.14 (11.53) a		91.74 (8.78) a	
Thinning intensity	Length of tracheid				Length of vessel			
	Length		p-value		Length		p-value	
Unthinned control	1097.25 (155.53) a				451.13 (62.41) b			
Moderate thinning	1149.69 (211.61) a		0.124		419.16 (95.74) ab		0.000	
Heavy thinning	1144.56 (139.03) a				386.85 (85.85) a			

Notes; ¹⁾ Means with the same letter are not significantly different at a p value of 0.05 according to Duncan's new multiple range test, R : Radial, T : Tangential, Parenthesis is standard deviation.

Table 3. Physical properties of *Quercus acuta* due to thinning intensity

Thinning intensity	Shrinkage							
	Oven-dry shrinkage				Air-dried shrinkage			
	R	p-value	T	p-value	R	p-value	T	p-value
Unthinned control	5.10 (0.46) b ¹⁾		10.43 (0.60) a		4.22 (0.63) b		9.41 (1.43) ab	
Moderate thinning	5.05 (0.39) ab	0.064	11.65 (0.89) b	0.000	3.64 (0.54) a	0.001	9.84 (1.13) b	0.032
Heavy thinning	4.83 (0.54) a		10.54 (0.97) a		3.80 (0.63) a		8.98 (1.12) a	
Thinning intensity	Annual ring width				Air-dried density			
	Width		p-value		Density		p-value	
Unthinned control	2.07 (0.44) a				0.95 (0.01) b			
Moderate thinning	2.56 (0.41) b		0.000		0.95 (0.03) b		0.000	
Heavy thinning	2.94 (0.98) c				0.92 (0.02) a			

Notes; ¹⁾ Means with the same letter are not significantly different at a p value of 0.05 according to Duncan's new multiple range test, R : Radial, T : Tangential, Parenthesis is standard deviation.

Table 4. Mechanical properties of *Quercus acuta* due to thinning intensity

Thinning intensity	Bending strength property					
	σ (Mpa)	p-value	E_s (Gpa)	p-value	E_d (Gpa)	p-value
Unthinned control	137.59 (11.16) b ¹⁾		18.73 (1.86) b		16.06 (1.26) b	
Moderate thinning	138.95 (4.15) b	0.001	19.11 (0.85) b	0.001	16.12 (0.68) b	0.000
Heavy thinning	127.05 (10.07) a		17.38 (1.60) a		12.50 (2.54) a	
Thinning intensity	Compressive strength property				Shear strength	
	σ (Mpa)	p-value	E (Gpa)	p-value	σ (Mpa)	p-value
Unthinned control	68.12 (4.69) b		9.66 (0.69) b		18.39 (1.55) b	
Moderate thinning	68.10 (2.92) b	0.000	9.59 (0.57) b	0.140	17.61 (1.00) a	0.007
Heavy thinning	65.50 (2.79) a		8.88 (0.75) a		17.40 (1.06) a	

Notes; ¹⁾ Means with the same letter are not significantly different at a p value of 0.05 according to Duncan's new multiple range test, σ : modulus of rupture, E : modulus of elasticity, E_s : static modulus of elasticity, E_d : dynamic modulus of elasticity, Parenthesis is standard deviation.

에 따른 유의성을 확인하기 위하여 던컨테스트를 실시한 결과를 나타내었다. 던컨테스트의 결과 간벌 강도에 따른 붉가시나무와 물리적 특성과의 관계에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었다.

붉가시나무의 무간벌, 약도간벌, 강도간벌에 따른 접선방향 전건 수축률, 방사·접선방향 기건 수축률, 기건밀도에서 각각 유의성이 인정되는 상관관계가 나타났으며, 강도간벌을 실시했을 경우 무간벌나 약도간벌에 비하여 수축률이 낮은 것으로 나타났다. Todaro *et al.* (2011)도 더글라스 전나무의 간벌 처리에 의해 기건밀도, 체적수축률, 방사방향 수축률에서 유의한 결과를 나타내었다고 보고한 바 있다.

또한 무간벌에 비하여 약도간벌, 강도간벌을 실시한 임목의 평균 연륜폭은 각각 123.67%, 142.03%을 나타내었으며 던컨테스트의 결과로도 간벌처리의 정도에 따라 유의성이 인정되는 상관관계가 나타났다. Lin *et al.* (2006)은 강도간벌 처리를 실시하였을 때에는 무간벌나 약도간벌에 비해 연륜폭이 넓어지고 밀도가 낮아졌음을 보고하였으며, Park *et al.* (2011)

도 낙엽송 임지에서 간벌을 실시하였을 때에는 간벌을 실시하지 않았을 때에 비하여 평균 연륜폭이 증가하였으며, 무간벌구 대비 약도간벌구는 131.5%, 강도간벌구는 155.3%의 증가율을 보여 간벌의 강도가 강할수록 연륜폭이 더욱 넓어졌음을 보고하여 낙엽송 임지 간벌에서도 본 연구와 같은 경향을 나타내었다.

3.3. 간벌처리의 정도에 따른 역학적 특성

Table 4에 붉가시나무의 물리적 특성인 전건 수축률, 기건 수축률, 평균연륜폭, 기건 밀도를 간벌 강도에 따른 유의성을 확인하기 위하여 던컨테스트를 실시한 결과를 나타내었다. 던컨테스트의 결과 간벌 강도에 따른 붉가시나무의 물리적 특성은 역학적 특성과의 관계에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었다.

Table 4에 붉가시나무의 간벌 강도에 따른 역학적 특성과 던컨테스트의 결과를 나타내었다. 간벌처리

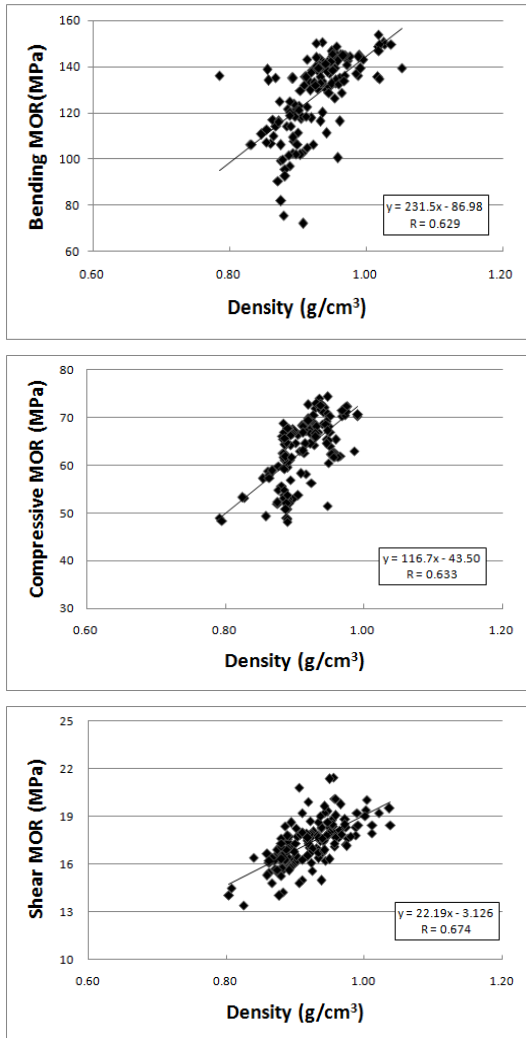


Fig. 3. Relationships between density and MOR for bending (top) and compression (middle), and shear (bottom) tests of *Quercus acuta*.

의 정도에 따른 역학적 특성은 압축MOE를 제외한 다른 특성에서 간벌 강도에 따라 유의성이 인정되는 상관관계가 나타났다. 유의성이 인정되는 역학적 특성들은 무간벌에 비하여 강도간벌에서 낮은 강도 값을 나타내었고 무간벌과 약도간벌 간에는 특별한 차이가 나타나지 않았다. Todaro *et al.* (2011)도 더글라스 전나무의 간벌처리에 따른 휨강도는 간벌처리

의 정도에 따라 유의성이 인정되는 상관관계가 나타났으며 압축MOE는 상관관계에서 유의성이 인정되지 않았음을 보고하였다. 반면 Lin *et al.* (2006)은 *Taiwania cryptomerioides*수종에서 압축강도가 간벌처리의 정도에 따른 유의한 상관관계가 나타나지 않았다고 보고하였고, Guller (2007)도 *Pinus brutia*의 종압축 MOR · MOE는 간벌 강도에 따른 유의한 상관관계가 나타나지 않았음을 보고한 바 있다. 따라서 간벌처리의 정도에 따른 역학적 특성의 상관관계에서 유의성이 수종에 따라 다르게 나타난다는 점을 고려할 필요가 있다고 판단된다.

3.4. 강도와 밀도, 탄성계수와의 상관관계

Fig. 2, Fig. 3에 붉가시나무의 역학적 특성인 휨 · 압축 · 전단강도와 물리적 특성인 기건 밀도, 역학적 특성인 휨 · 압축 탄성계수와의 상관관계를 나타내었다.

붉가시나무의 휨 · 압축 · 전단강도와 밀도간에는 상관계수가 각각 0.629, 0.633, 0.674로 모두 1%수준의 유의성이 인정되는 상관관계 가나타났다. Guller (2007)도 *Pinus brutia*의 휨MOR · MOE, 압축MOR이 밀도와 높은 상관관계가 존재함을 밝혔으며, Lin *et al.* (2006)도 압축MOR과 밀도간에 유의한 상관관계가 나타났음을 보고하여 본 연구와 같은 경향을 나타내었다.

붉가시나무의 휨강도와 휨 탄성계수간에는 상관계수가 0.899로 1%수준의 유의성이 인정 되는 상관관계가 나타났으며 종압축강도와 종압축 탄성계수에서도 상관계수가 0.903을 나타내어 1%수준에서 유의성이 인정되는 상관관계가 나타났다. Nakai *et al.* (1984)도 일본산 조림 삼나무재의 휨 탄성계수와 휨강도 간에서 높은 상관관계가 존재함을 밝혔으며, Chong *et al.* (2014)도 간벌 강도에 따른 낙엽송의 휨시험과 압축시험에서 강도와 탄성계수간의 관계에서 1%수준에서 유의성이 인정되는 상관관계가 나타났다고 보고한 바 있다.

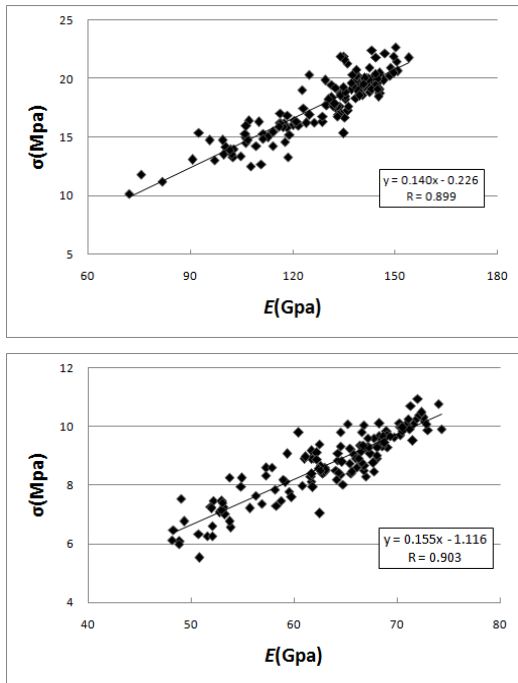


Fig. 4. Relationships between MOE and MOR for bending (top) and compression (bottom) tests of *Quercus acuta*.

4. 결 론

붉가시나무림의 시업체계가나 무육방법에 따라 목재의 재질특성에는 차이가 나타나기 때문에 적절한 시업체계가나 무육방법 방향 제시를 위해 간벌처리 이후 무간벌, 약도간벌, 강도간벌 따른 재질 특성의 관계를 구명하기 위하여 간벌 강도에 따른 조직 · 물리 · 역학적 특성과의 관계를 조사 · 비교한 결과는 다음과 같다.

- 1) 간벌처리 강도가 강해짐에 따라 단열 방사조직의 너비가 좁아지고 길이와 수가 많아졌으며, 조재부 도관이 커지고 길이가 짧아지는 것으로 나타났다.
- 2) 간벌처리 강도가 강해짐에 따라 연륜폭이 증가하였다. 밀도와 수축률은 무간벌과 약도간벌에서는 차이가 나타나지 않았고 강도간벌에서는

감소하는 경향을 나타내었다.

- 3) 강도간벌재는 압축MOE를 제외한 다른 역학적 특성에서 무간벌이나 약도간벌재에 비하여 낮은 값을 나타내었다.
- 4) 휨 및 압축강도는 밀도 · 탄성계수와 상관계수에서 1%수준에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었다.

간벌 처리정도에 따라 목재의 생장이나 물리 역학적 특성의 차이가 나타났다. 따라서 인공림 조성이나 간벌을 시행함에 있어 체계적인 시업체계가나 무육방법을 사용하여 붉가시나무의 목재이용 및 생산을 위한 기초적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립산림과학원 남부산림자원연구소 연구과제(SC0500-2012-01) 지원사업에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

Chong, S.-H., Park, B.-S., Chung, D.-J. Lee, D.-S., Cho, S.-T., Chun, S.-K. 2007. Wood properties of *Quercus acuta* Thunb. Journal of the Korea furniture Society 18(1): 39-46.

Chong, S.-H., Won, K.-R., Hong, N.-E., Park, B.-S., Lee, K.-J., Byeon, H.-S. 2014. Bending and compressive strength properties of *Larix kaempferi* according to thinning intensity. Journal of the Korean Wood Science & Technology 42(4): 385-392.

Chung, Y.-G., Kim, D.-H., Kim, C.-M. 2010. Development of stem profile and taper equation for *Quercus acuta* in Jeju experiment forests. Journal of Korean Forest Society 99(1): 57-61.

Guller, B. 2007. The effects of thinning treatments on density, MOE, MOR and maximum crushing strength of *Pinus brutia* Ten. wood. Annals of

- Forest Science 64: 467-475.
- Hwang, J.-H., Lee, S.-T., Park, N.-C., Choi, J.-C., Shin, H.-C., Lee, K.-J., Lee, G.-S. 2006. Changes in soil chemical properties after thinning in *Quercus acuta* stand. Journal of Korean Forest Society 95(6): 657-662.
- Kim, S.-O., Shin, S.-C., Oh, C.-J. 2002. The community structure of *Quercus acuta* Forest at Wando warm-temperate forest arboretum. Journal of Korean Forest Society 91(6): 781-792.
- Lee, S.-T., Son, Y.-M., Lee, K.-J., Hwang, J.-H., Choi, J.-C., Shin, H.-C., Park, N.-C. 2005. Aboveground carbon storage of *Quercus acuta* stands by thinning intensity. Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology 7(4): 282-288.
- Lee, S.-T., Hwang, J.-H., Lee, K.-J., Shin, H.-C., Kim, B.-B., Park, M.-S., Jun, K.-S., Cho, H.-S. 2007. Biomass expansion factors (BEFs) for *Quercus acuta* according to age classes. Korean Journal of Environment and Ecology 21(6): 554-558.
- Lee, C.-B. 1980. An Illustrated Book of the Korean Flora. pp. 990.
- Lin, C.-J., Wang, S.-Y., Yang, T.-H. 2006. Compressive strength of young *Taiwania* (*Taiwania cryptomerioides*) trees grown with different thinning and pruning treatments. Journal of Wood Science 52: 337-341.
- Nakao, K., Motoki, H., Ikutaro, T., Lin, C.-T., Sun, S.-T., Lin, J.-R., Chiou, C.-R., Chen, T.-Y., Tetsuya, M., Nobuyuki, T. 2014. Changes in the potential habitats of 10 dominant evergreen broad-leaved tree species in the Taiwan-Japan archipelago. Plant Ecology 215(6): 639-650.
- Nakai, K., Tanaka, S.-S. 1984. Strength property of thinned small diameter wood. Wood industry 39(5): 225-241.
- Park, I.-H. 2012. Structure and dynamics of *Quercus acuta*, *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* Forests in Wando island. Korean Journal of Environment and Ecology 26(3): 406-411.
- Park, B.-S., Chong, S.-H., Shim, S.-R., Oh, J.-A. 2011. Variation of material properties of *Larix kaempferi* according to thinning method. proceeding of the Journal of The Korean Wood Science and Technology 2011(0): 146-147.
- Shin, H.-C., Park, N.-C., Hwang, J.-H. 2006. Warm temperate tree species in Korea. Korea forest research institute 17: 24-26.
- Todaro, L., Macchioni, N. 2011. Wood properties of young Douglas-fir in Southern Italy: results over a 12-year post-thinning period. European Journal of Forest Research 130: 251-261.
- Yan, E.-R., Wang, X.-H., Huang, J.-J., Li, G.-Y., W, Z. 2008. Decline of soil nitrogen mineralization and nitrification during forest conversion of evergreen broad-leaved forest to plantations in the subtropical area of Eastern China. Biogeochemistry 89(2): 239-251.