

인도네시아산 주요 조림 및 유망 수종의 물리적 및 역학적 특성(I)¹

김 중 호² · 장 재 혁² · 류 재 윤³ · Fauzi Febrianto⁴ · 황 원 중⁵ · 김 남 훈^{2,†}

Physical and Mechanical Properties of Major Plantation and Promising Tree Species Grown in Indonesia (I)¹

Jong-Ho Kim² · Jae-Hyuk Jang² · Jae-Yun Ryu³ · Fauzi Febrianto⁴ · Won-Joung Hwang⁵ ·
Nam-Hun Kim^{2,†}

요 약

인도네시아산 주요 조림수종(Albizia, Gmelina, Mangium)과 유망수종(Durian, Gandaria, Jengkol, Kupa, Mangga, Nangka, Rambutan)의 밀도, 수축률, 종압축강도와 경도 등 물리적 및 역학적 특성을 조사하였다. 그 결과, Mangium, Gandaria와 Rambutan은 높은 밀도를, Albizia, Durian과 Jengkol은 낮은 밀도를 보였다. 공시재료 중 Mangium, Gandaria와 Mangga의 수축률은 다른 수종에 비해 작았으며, Albizia, Jengkol과 Rambutan의 수축률은 다른 수종에 비해 높았다. 이방도(T/R)는 Albizia, Kupa와 Mangga가 낮았고, Gmelina, Durian과 Jengkol이 다른 수종에 비해 높았다. Mangium과 Nangka는 종압축강도와 경도가 높았으며, Durian, Jengkol과 Mangga는 낮은 종압축강도를, Albizia와 Gmelina는 낮은 경도를 보였다. 10수종 중 Albizia, Durian, Jenkol, Mangga의 4수종을 제외한 6수종의 물리적 및 역학적 성질은 비교적 우수한 것으로 판단되었다.

본 실험의 결과는 인도네시아산 조림목의 효율적인 이용 및 장래 조림을 위한 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

ABSTRACT

The physical and mechanical characteristics of 10 Indonesian wood species were investigated. Mangium, Gandaria and Rambutan showed higher density. Mangium, Gandaria and Mangga appeared lower in shrinkage, and the ratio of tangential/radial was low in Albizia, Kupa and Mangga. The compression strength parallel to the grain and hardness

¹ Date Received November 11, 2012, Date Accepted May 7, 2014

² 강원대학교 산림환경과학대학. College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

³ 산림조합중앙회. National Forestry Cooperative Federation, Seoul 138-880. Korea.

⁴ Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University, PO Box 168 Bogor 16001, Indonesia.

⁵ 국립산림과학원. Korea Forest Research Institute, Seoul 130-172. Korea.

[†] 교신저자(Corresponding author): 김남훈(e-mail: kimnh@kangwon.ac.kr)

were high in Mangium and Nangka. Gmelina, Mangium, Gandaria, Kupa, Nangka and Rambutan had valuable properties for commercial wood materials. Consequently, it is considered that the results of this study could be useful basic data for the improved use of planted and promising species in Indonesia.

Keywords : Indonesian wood species, planted species, promising species, wood quality

1. 서 론

현재까지 열대 목재자원들의 효율적 이용을 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. 그러나 지금까지 세계적으로 진행된 열대재에 관한 연구들은 대부분 천연림에서 생산된 목재의 특성에 관한 내용들이 많다 (Isoguchi, 1985; Chong, 1997; Hadayat and Simpson, 1994; PIKA, 1991; Chudnoff, 1984).

최근 국내 여러 기업들은 열대지역을 중심으로 세계 여러 지역에 해외조림을 확대해 나가고 있다. 그러나 해외조림에서 생산되는 목재의 재질정보에 관한 몇몇 연구보고(Kang *et al.*, 2011; Park and Oh, 2011)가 있으나 최적 활용을 위한 기초연구는 아직 상당히 부족한 실정이다.

따라서, 앞으로 조림목의 고도이용 및 새로운 조림 수종의 확대를 위하여 재질과 관련한 다양한 정보를 획득하여 조림목의 효율적 이용을 위한 데이터 베이스 구축이 시급히 필요한 것으로 생각되고 있다.

현재까지 우리나라 기업들이 실시한 해외조림 면적 중 60% 정도가 인도네시아에 분포하고 있어 인도네시아는 우리나라의 가장 중요한 해외조림 파트너이다. 전보에서 저자 등(Kim *et al.*, 2012)은 우리나라의 해외조림 면적이 가장 큰 인도네시아산 인공조림목의 기초재질을 평가하기 위하여 인도네시아산 10개 수종의 목재해부학적 특성을 보고하였다. 본 연구에서는 목재의 해부학적 특성에 이어 전보와 동일한 10개의 수종의 물리적 및 역학적 특성에 대해 조사, 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에서는 인도네시아 보고르 농업대학교 학술림(서부 자바지역)에서 성장한 주요 조림수종 3수종과 미래 유망 목재자원으로 생각되는 7수종 등 10수종을 선정하여 수종별 1본씩 두께 약 8~10 cm의 흉고부위 원판을 채취하여 공시재료로 이용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 밀도, 수축률, 종압축강도 및 경도

밀도 및 수축률은 각 수종별로 수심부, 수피부로 구분하여 20 mm × 20 mm × 40 mm (방사방향 × 접선방향 × 축방향) 시편을 각각 10개씩 제작한 후, 목재의 밀도 및 비중 측정방법(KS F 2198) 및 목재의 수축률 시험방법(KS F 2203)에 의거하여 측정하였다.

$$\text{기건(공칭)밀도 } (g/cm^3) = \frac{m_o}{a_w \times b_w \times l_w},$$

$$\text{전건밀도 } (g/cm^3) = \frac{m_o}{a_o \times b_o \times l_o}$$

m_o : 시험편의 전건 질량 (g)

a_w, b_w, l_w : 기건 상태에서 시험편의 가로, 세로 및 길이 (cm)

a_o, b_o, l_o : 전건 상태에서 시험편의 가로, 세로 및 길이 (cm)

$$\text{기건 수축률 } (\%) = \frac{l_g - l_a}{l_g} \times 100,$$

$$\text{전건 수축률 } (\%) = \frac{l_g - l_o}{l_g} \times 100$$

l_g : 생재 상태 시험체의 방사 및 접선 방향 길이 (cm)

l_a : 기건 상태 시험체의 방사 및 접선 방향 길이 (cm)

l_o : 전건 상태 시험체의 방사 및 접선 방향 길이 (cm)

Table 1. Sample wood species

Family	Genus	Scientific name	Botanical name	DBH(cm) [*]	Location
Leguminosae	<i>Paraserianthes</i>	<i>P. falcataria</i>	Albizia	22	Bogor, Indonesia
Lamiaceae	<i>Gmelina</i>	<i>G. arborea</i>	Gmelina	27	
Fabaceae	<i>Acacia</i>	<i>A. mangium</i>	Mangium	24	
Malvaceae	<i>Durio</i>	<i>D. zibethinus</i>	Durian	23	
Anacardiaceae	<i>Bouea</i>	<i>B. macrophylla</i>	Gandaria	24	
Mimosoideae	<i>Pithecellobium</i>	<i>P. jiringa</i>	Jengkol	25	
Myrtaceae	<i>Syzygium</i>	<i>S. polycephalum</i>	Kupa	29	
Anacardiaceae	<i>Mangifera</i>	<i>M. indica</i>	Mangga	27	
Moraceae	<i>Artocarpus</i>	<i>A. integra</i>	Nangka	25	
Sapindaceae	<i>Nephelium</i>	<i>N. lappaceum</i>	Rambutan	25	

*DBH: Diameter at breast height

Table 2. Density by species

(Unit : g/cm³)

Species	Air-dried(W_o/V_a)			Oven-dried(W_o/V_o)			Reference (Air-dried)
	Near the pith	Near the bark	Average	Near the pith	Near the bark	Average	
Albizia	0.42 ± 0.03	0.43 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.44 ± 0.03	0.46 ± 0.04	0.45 ± 0.04	0.35 ^{*2}
Gmelina	0.52 ± 0.04	0.58 ± 0.02	0.55 ± 0.04	0.54 ± 0.04	0.59 ± 0.02	0.56 ± 0.04	0.50~0.54 ^{*2}
Mangium	0.63 ± 0.11	0.74 ± 0.07	0.68 ± 0.10	0.65 ± 0.11	0.75 ± 0.07	0.70 ± 0.10	0.55 ^{*3}
Durian	0.40 ± 0.04	0.36 ± 0.02	0.38 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.38 ± 0.02	0.40 ± 0.04	0.64 ^{*2}
Gandaria	0.63 ± 0.05	0.60 ± 0.03	0.62 ± 0.04	0.64 ± 0.03	0.61 ± 0.03	0.63 ± 0.03	0.51~0.89 ^{*2}
Jengkol	0.30 ± 0.21	0.45 ± 0.04	0.39 ± 0.15	0.32 ± 0.21	0.47 ± 0.05	0.41 ± 0.15	0.31~0.88 ^{*2}
Kupa	0.62 ± 0.04	0.63 ± 0.03	0.63 ± 0.03	0.64 ± 0.04	0.66 ± 0.03	0.65 ± 0.03	0.75~0.90 ^{*2}
Mangga	0.46 ± 0.02	0.51 ± 0.01	0.48 ± 0.03	0.47 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.49 ± 0.03	0.50~0.70 ^{*2}
Nangka	0.62 ± 0.08	0.53 ± 0.06	0.57 ± 0.07	0.64 ± 0.09	0.56 ± 0.07	0.59 ± 0.08	0.60~0.75 ^{*2}
Rambutan	0.61 ± 0.06	0.64 ± 0.01	0.62 ± 0.05	0.68 ± 0.08	0.72 ± 0.01	0.70 ± 0.06	0.72 ^{*1}

^{*1}Ogata 1985; ^{*2}Ogata et al. 2008; ^{*3}Sudo 1997.

밀도 및 수축률 측정에 사용된 20 mm × 20 mm × 40 mm (방사방향 × 접선방향 × 축방향) 시편으로 목재의 압축 시험방법(KS F 2206)에 의거하여 Instron UTM (Model No. 4482)으로 종압축강도를 측정하였다.

$$\text{종압축강도 } (N/mm^2) = \frac{P_{\max}}{A}$$

P_{\max} : 최대하중 (N)

A : 시험체의 단면적 (mm^2)

Table 3. Shrinkage by species

(Unit : %)

Species	Near the pith				T/R ratio	Near the bark				T/R ratio
	Shrinkage from green to air-dried		Total shrinkage			Shrinkage from green to air-dried		Total shrinkage		
	Radial	Tangential	Radial	Tangential		Radial	Tangential	Radial	Tangential	
Albizia	0.65 ± 0.19	0.98 ± 0.22	2.63 ± 0.22	4.00 ± 0.42	1.52	1.05 ± 0.37	1.53 ± 0.21	4.17 ± 1.44	5.24 ± 0.68	1.26
Gmelina	1.86 ± 0.38	4.25 ± 0.33	2.77 ± 0.47	6.00 ± 0.49	2.17	2.59 ± 1.44	3.66 ± 1.09	2.88 ± 1.57	5.57 ± 1.22	1.93
Mangium	2.08 ± 0.35	2.97 ± 0.66	3.22 ± 1.02	4.51 ± 0.49	1.40	2.15 ± 0.18	4.03 ± 0.26	3.31 ± 0.44	5.11 ± 0.59	1.54
Durian	0.53 ± 0.17	1.21 ± 0.09	1.97 ± 0.71	4.90 ± 0.23	2.49	0.79 ± 0.20	1.34 ± 0.45	2.77 ± 0.41	4.84 ± 1.24	1.74
Gandaria	1.70 ± 0.77	3.98 ± 1.78	2.51 ± 0.44	5.61 ± 1.15	2.24	2.01 ± 0.82	3.41 ± 0.71	2.04 ± 0.67	5.06 ± 0.63	2.48
Jengkol	1.55 ± 1.09	2.64 ± 2.08	2.87 ± 1.72	4.64 ± 3.20	1.62	2.19 ± 0.48	5.00 ± 1.13	3.49 ± 0.54	8.09 ± 1.29	2.32
Kupa	3.09 ± 0.23	4.46 ± 0.35	4.51 ± 0.13	6.34 ± 0.61	1.41	3.27 ± 0.70	5.52 ± 1.29	4.61 ± 0.76	7.28 ± 1.08	1.58
Mangga	2.26 ± 0.26	3.50 ± 0.20	3.05 ± 0.56	4.72 ± 0.04	1.55	3.36 ± 0.53	3.46 ± 0.48	2.86 ± 0.34	4.58 ± 0.24	1.60
Nangka	1.12 ± 0.48	2.36 ± 0.21	2.40 ± 0.48	5.18 ± 0.50	2.16	1.94 ± 0.54	2.98 ± 0.04	3.51 ± 0.51	5.74 ± 0.59	1.64
Rambutan	0.96 ± 0.63	1.14 ± 0.21	4.45 ± 0.89	7.58 ± 1.10	1.70	1.09 ± 0.63	1.28 ± 0.18	4.64 ± 0.76	8.15 ± 0.64	1.76

각 수종별로 수심부, 수피부로 구분하여 30 mm × 30 mm × 15 mm (방사방향 × 접선방향 × 축방향) 시편을 제작하여 목재의 경도 시험방법(KS F 2212)에 의거하여 Instron UTM (Model No. 4482)으로 각 단면별 5지점의 Brinell 경도를 측정하였다.

$$\text{경도 } (N/mm^2) = \frac{P}{10}$$

P : 압입 깊이가 $1/\pi mm$ 인 때의 하중 (N)

2.2.2. 각 특성 간 상관관계 분석

공시수종의 각 재질특성 간 상관분석은 IBM SPSS 20.0의 이변량 상관분석을 이용하였으며, 검정 시 신뢰도는 95% 수준 이상으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 밀도

Table 2는 공시수종의 밀도를 측정한 결과이다. 기건(공칭)밀도는 0.46~0.74 g/cm³, 전건밀도는 0.41~0.71 g/cm³의 범위를 보였다. Mangium, Gandaria

와 Rambutan의 밀도가 다른 공시수종에 비해 상대적으로 높았으며, Albizia, Durian과 Jengkol의 밀도는 상대적으로 낮았다. 밀도는 수치상으로 수피부가 수심부에 비해 높은 경향이 관찰되었으나, 유의확률을 검정한 결과, Gmelina를 제외한 9개의 수종에서 수심부와 수피부 간 특정 경향이 식별되지 않았다. Lee (2009)의 보고에 의하면 열대산 목재의 기건(공칭)밀도는 0.10~1.27 g/cm³까지 다양한 범위를 나타내는 것으로 알려져 있는데 공시수종 중에서 상대적으로 밀도가 높았던 Mangium은 이들 범위의 중간 범주에 속하는 것으로 나타났다. 또한, Isoguchi (1985), Ogata *et al.* (2008) 및 Sudo (1997)가 보고한 남양재의 수종별 기건(공칭)밀도를 살펴보면 Albizia 0.35 g/cm³, Gmelina 0.50~0.54 g/cm³, Mangium 0.55 g/cm³, Durian 0.64 g/cm³, Gandaria 0.51~0.89 g/cm³, Kupa 0.75~0.90 g/cm³, Jengkol 0.31~0.88 g/cm³, Mangga 0.50~0.70 g/cm³, Nangka 0.60~0.75 g/cm³, Rambutan 0.72 g/cm³로 본 연구결과와 유사한 범위를 나타냈다.

Table 4. Average shrinkage by species

(Unit : %)

Species	Average				T/R ratio	Reference		
	Shrinkage from green to air-dried		Total shrinkage			Total shrinkage		T/R ratio
	Radial	Tangential	Radial	Tangential		Radial	Tangential	
Albizia	0.85 ± 0.35	1.26 ± 0.35	3.40 ± 1.27	4.62 ± 0.84	1.36	2.40 ^{*1}	3.80 ^{*1}	1.58 ^{*1}
Gmelina	0.23 ± 1.08	9.95 ± 0.83	2.83 ± 1.11	5.79 ± 0.86	2.05	3.60 ^{*2}	7.80 ^{*2}	2.17 ^{*2}
Mangium	2.11 ± 0.25	3.50 ± 0.73	3.27 ± 0.71	4.81 ± 0.58	1.47	2.10 ^{*3}	4.10 ^{*3}	1.95 ^{*3}
Durian	0.66 ± 0.22	1.27 ± 0.30	2.37 ± 0.68	4.87 ± 0.80	2.05	2.30 ^{*2}	5.60 ^{*2}	2.43 ^{*2}
Gandaria	1.83 ± 0.74	3.74 ± 1.36	2.31 ± 0.56	5.38 ± 0.94	2.33	-	-	-
Jengkol	1.96 ± 0.68	3.96 ± 1.98	3.22 ± 1.11	6.60 ± 2.80	2.05	2.30 ^{*4}	4.00 ^{*4}	1.74 ^{*4}
Kupa	3.18 ± 0.48	4.99 ± 1.02	4.56 ± 0.49	6.81 ± 0.94	1.49	5.00 ^{*4}	9.00 ^{*4}	1.80 ^{*4}
Mangga	2.81 ± 0.71	3.48 ± 0.33	2.96 ± 0.43	4.65 ± 0.17	1.57	-	-	-
Nangka	1.61 ± 0.64	2.73 ± 0.36	3.06 ± 0.75	5.51 ± 0.58	1.80	4.90 ^{*2}	7.80 ^{*2}	1.59 ^{*2}
Rambutan	1.03 ± 0.59	1.21 ± 0.20	4.55 ± 0.78	7.87 ± 0.84	1.73	-	-	-

^{*1}Chudnoff 1984; ^{*2}Japan Society of Materials Science 1975; ^{*3}Sahri *et al.* 1998; ^{*4}Lee 2009.

Table 5. Compression strength parallel to the grain by species

(Unit : N/mm²)

Species	Near the pith	Near the bark	Average	Reference
Albizia	37.2 ± 2.9	40.9 ± 2.9	39.1 ± 3.3	29.6 ^{*1}
Gmelina	47.5 ± 3.5	56.4 ± 2.4	52.0 ± 5.6	33.4 ^{*2}
Mangium	70.7 ± 9.1	71.6 ± 3.9	71.2 ± 6.3	36.2 ^{*3}
Durian	21.6 ± 1.4	24.3 ± 0.8	23.0 ± 1.8	32.5 ^{*4}
Gandaria	58.3 ± 2.5	60.0 ± 2.8	59.2 ± 2.6	-
Jengkol	34.8 ± 4.4	37.7 ± 1.6	36.3 ± 3.4	44.1 ^{*4}
Kupa	41.8 ± 3.8	58.5 ± 5.1	50.2 ± 10.0	68.0 ^{*5}
Mangga	33.9 ± 1.4	36.3 ± 3.1	35.1 ± 2.5	32.1 ^{*6}
Nangka	49.8 ± 4.3	61.6 ± 9.1	55.7 ± 9.1	45.1 ^{*6}
Rambutan	51.2 ± 4.7	59.1 ± 4.1	55.2 ± 5.9	-

^{*1}Chudnoff 1984; ^{*2}Wood Library 2012; ^{*3}Ouypornprasert *et al.* 2005; ^{*4}HAIFOR 2012; ^{*5}Eddowes 2005; ^{*6}Korea wood newspaper 2004a; b.

3.2. 수축률

Table 3은 공시수종의 수심부와 숲부의 수축률을 측정한 결과이다. 수심부에서는 Gmelina, Gandaria와

Nangka의 이방도가 크게 나타났으며, Jengkol, Kupa와 Rambutan이 다른 공시수종에 비해 상대적으로 높은 전수축률을 보인 반면, Mangium, Gandaria와 Mangga는 상대적으로 낮은 전수축률을 보였다. 수

Table 6. Hardness by species

(Unit : N/mm²)

Species	Cross section		Radial section		Tangential section	
	Near the pith	Near the bark	Near the pith	Near the bark	Near the pith	Near the bark
Albizia	13 ± 2.4	15 ± 1.0	4 ± 0.6	3 ± 0.1	4 ± 0.2	4 ± 0.3
Gmelina	18 ± 1.5	25 ± 1.8	7 ± 1.3	7 ± 0.4	12 ± 1.6	9 ± 0.4
Mangium	41 ± 2.3	32 ± 1.8	16 ± 0.9	12 ± 1.4	16 ± 3.5	14 ± 0.9
Durian	31 ± 2.2	27 ± 0.5	7 ± 2.2	6 ± 1.6	12 ± 1.7	13 ± 1.2
Gandaria	22 ± 1.9	23 ± 4.5	7 ± 0.4	7 ± 0.2	13 ± 1.1	12 ± 2.0
Jengkol	22 ± 0.6	26 ± 2.4	13 ± 0.4	9 ± 0.8	13 ± 0.5	11 ± 1.4
Kupa	35 ± 2.0	37 ± 1.5	13 ± 0.4	11 ± 0.8	16 ± 0.6	16 ± 1.3
Mangga	25 ± 0.4	26 ± 0.6	7 ± 0.7	7 ± 0.3	12 ± 0.2	13 ± 0.5
Nangka	41 ± 3.8	38 ± 2.5	24 ± 1.8	20 ± 3.2	28 ± 2.8	26 ± 3.4
Rambutan	31 ± 2.4	33 ± 0.1	13 ± 1.0	17 ± 1.6	18 ± 1.3	24 ± 0.5

피부에서는 Gmelina, Durian과 Jengkol의 이방도가 크게 나타났으며, Albizia, Kupa와 Rambutan이 상대적으로 높은 전수축률을 보인 반면, Mangium, Gandaria와 Mangga가 수심부와 마찬가지로 상대적으로 낮은 전수축률을 보였다.

Table 4는 수심부와 수피부의 수축률을 근거로 수종별 수축률을 계산한 결과이다. Chudnoff (1984)는 Albizia의 이방도(접선방향 수축율/방사방향 수축률)를 1.58로 보고하고 있으며, Japan Society of Materials Science (1975)는 Gmelina, Durian과 Nangka의 이방도를 각각 2.17, 2.43과 1.59로 보고하였다. 본 연구결과는 상기 결과들과 큰 차이를 보이지 않았으며, 다른 기존의 연구결과(Sahri *et al.*, 1998; Lee, 2009)와도 모든 수종에서 유사한 범위의 수축률과 이방도를 나타냈다.

3.3. 종압축강도

Table 5는 공시수종의 종압축강도 측정결과로 전수종에서 21~71 N/mm²의 범위를 보였으며 수피부의 강도가 수심부의 강도에 비해 다소 높은 경향을 보였다. 국내산 낙엽송은 약 52 N/mm² (Kang *et al.*, 2008), 일본 삼나무는 27 N/mm² (Ido *et al.*, 2013),

북미 자작나무는 56 N/mm², 열대산 Teak재는 약 65 N/mm² (Tsoumis, 1991)의 종압축강도를 나타내는 것으로 알려져 있는데, 공시수종 중 Mangium, Gandaria와 Rambutan은 이들과 동등하거나 보다 더 우수한 강도를 나타내었다. 특히 Albizia, Gmelina, Mangium과 Nangka는 기존의 연구결과들(Chudnoff, 1984; Ouyornprasert *et al.*, 2005; Wood Library (<http://www.woodworkerssource.com>)와 한국목재신문 (<http://www.woodkorea.co.kr>) 보다 비교적 높은 강도를 나타내었는데 이러한 차이는 수목의 성장환경 혹은 지역적 특성에 기인한 것으로 판단된다.

3.4. 경도

Table 6은 공시수종의 경도 측정결과로 모든 수종에서 수피부가 수심부보다 높은 경향이 나타났으며, 횡단면 > 접선단면 ≥ 방사단면 순으로 나타났다. 횡단면에서는 Mangium, Kupa, Nangka, Rambutan가 높게 나타났고, 방사단면과 접선단면에서는 Mangium, Nangka, Rambutan이 다른 공시수종에 비해 상대적으로 높은 경도를 나타냈다.

Table 7은 수심부와 수피부의 각 단면별 경도를 근거로 수종별 경도를 나타낸 결과이다. Jang *et al.*

Table 7. Average hardness by species

(Unit : N/mm²)

Species	Cross section	Radial section	Tangential section	Reference
				Janka Hardness (kg)
Albizia	14.0 ± 2.0	3.5 ± 0.7	4.0 ± 0.2	340~526 ^{*1}
Gmelina	21.5 ± 4.1	7.0 ± 0.9	10.5 ± 1.9	239 ^{*2}
Mangium	36.5 ± 5.3	14.0 ± 2.4	15.0 ± 2.5	537 ^{*3}
Durian	29.0 ± 2.6	6.5 ± 1.8	12.5 ± 1.4	308 ^{*2}
Gandaria	22.5 ± 3.1	7.0 ± 0.3	12.5 ± 1.4	-
Jengkol	24.0 ± 2.7	11.0 ± 2.3	12.0 ± 1.4	-
Kupa	36.0 ± 1.9	12.0 ± 1.2	16.0 ± 0.9	786 ^{*4}
Mangga	25.5 ± 0.7	7.0 ± 0.5	12.5 ± 0.6	454 ^{*5}
Nangka	39.5 ± 3.3	22.0 ± 3.2	27.0 ± 3.0	567 ^{*5}
Rambutan	32.0 ± 1.9	15.0 ± 2.5	21.0 ± 3.4	-

^{*1}Chudnoff 1984; ^{*2}Wood Library 2012; ^{*3}Ouypornprasert *et al.* 2005; ^{*4}Eddowes 2005; ^{*5}Korea wood newspaper 2004a; b.

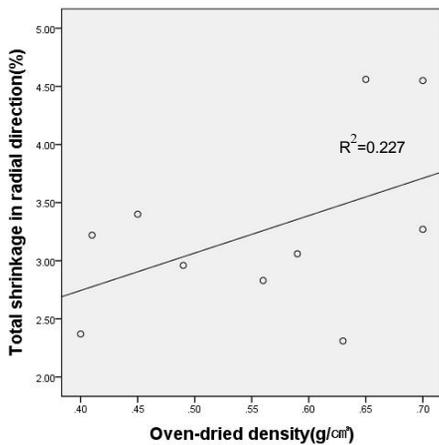


Fig. 1. Correlation between oven-dried density and total shrinkage in radial direction.

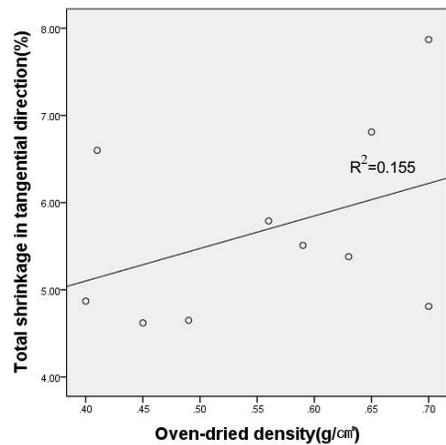


Fig. 2. Correlation between oven-dried density and total shrinkage in tangential direction.

(2010)은 재질이 비교적 단단한 국내산 밤나무 7품종의 경도를 측정할 결과, 방사 및 접선단면상 경도가 약 10~25 N/mm²인 것으로 보고하고 있어 공시수종 중 Nangka, Rambutan, Kupa, Mangium은 이와 유사한 경도 특성을 갖는 것으로 나타났다. 본 실험에서 측정된 Brinell경도와 비교하기는 어렵지만, 기존에 알려진 열대재의 Janka경도를 조사하여 참고자료로 나타냈다. 전체적으로 Brinell경도가 높은 수종

은 Janka경도 역시 높게 나타나는 등 상관관계가 관찰되어 경향을 확인하는 데 참고자료로 활용이 가능할 것이라 판단된다.

3.6. 상관관계 분석

Figs. 1~2는 전건밀도와 방사방향 및 접선방향 전수축률 간 상관관계를 나타낸 그래프로서, 두 인자

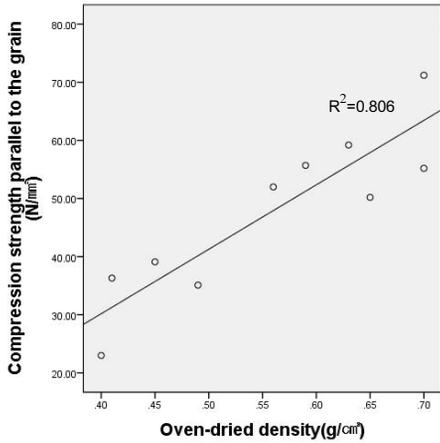


Fig. 3. Correlation between oven-dried density and compression strength parallel to the grain.

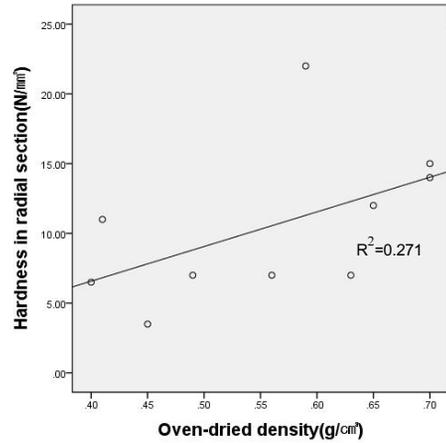


Fig. 5. Correlation between oven-dried density and hardness in radial section.

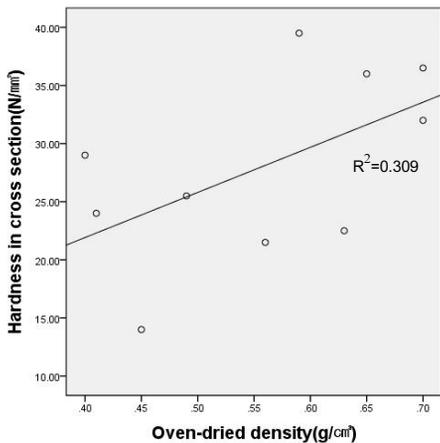


Fig. 4. Correlation between oven-dried density and hardness in cross section.

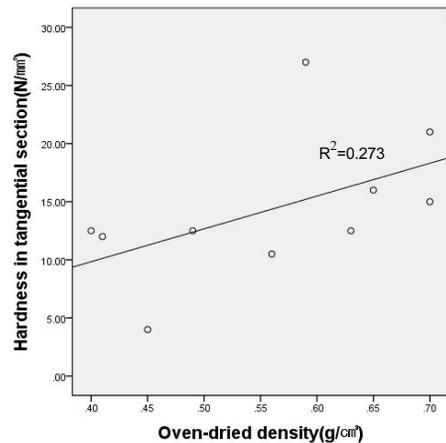


Fig. 6. Correlation between oven-dried density and hardness in tangential section.

간 다소 비례하는 경향이 나타났으나, 비교적 낮은 상관관계를 보여주었다. Kang *et al.* (2008)은 목재의 수축 또는 팽윤 시 세포내강의 치수변화는 거의 무시할 수 있는 수준으로, 세포의 용적수축과 용적팽윤의 양은 비중과 거의 직선적인 관계를 나타냄을 서술하였다.

Fig. 3은 전건밀도와 종압축강도 간 상관관계를 나타낸 그래프로서, 두 인자 간 비례하는 경향이 나타

났으며, 신뢰도 99% 수준에서 높은 상관관계를 보였다. Figs. 4~6은 전건밀도와 횡단면, 방사단면, 접선단면의 경도 간 상관관계를 나타낸 그래프로서, 두 인자 간 3단면 모두 비례하는 경향이 나타났으나, 다소 낮은 상관관계를 보여주었다. Tsoumis (1991)는 밀도가 증가할수록 종압축강도와 경도가 증가하며, 밀도는 무결점재의 경우, 강도를 추측할 수 있는 최선의 지표임을 서술하였다.

이상의 결과에서 인도네시아산 10수종 중 *Albizia*, *Durian*, *Jenkol*, *Mangga* 네 수종을 제외한 여섯 수종의 물리적 및 역학적 성질은 비교적 우수한 것으로 판단되었다. 수심부와 수피부에서 수심부의 물성이 다소 우수하거나 비슷한 것으로 조사되었는데 금후 더욱 검토가 필요한 것으로 생각된다.

4. 결 론

인도네시아 서부 자바지역에 조림하여 성장한 10 수종의 조림목을 공시목으로 사용하여 물리적 및 역학적 성질을 조사한 결과는 다음과 같다.

*Mangium*과 *Gandaria*는 비교적 높은 밀도를 가졌지만, 밀도에 비해 낮은 수축률을 보였다. 종압축강도는 *Mangium*, *Gandaria*, *Nangka*와 *Rambutan*이 비교적 높은 값을 나타냈다. 경도는 단면별, 수종별로 차이가 있었으나, *Mangium*, *Kupa*, *Nangka*와 *Rambutan*이 횡단면, 방사단면, 접선단면 모두 비교적 높은 값을 나타냈다. 10수종 중 *Albizia*, *Durian*, *Jenkol* 및 *Mangga*의 4수종을 제외한 6수종의 물리적 및 역학적 성질은 비교적 우수한 것으로 판단되었다.

각 특성 간 상관관계를 분석한 결과, 종압축강도는 밀도와 비례관계로서 높은 상관관을 보여주었으나 수축률과 경도는 비례하는 경향이 있었으나 상관관계가 다소 낮게 나타났다.

본 실험의 결과는 인도네시아산 조림목의 효율적인 이용 및 장래 조림을 위한 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

사 사

본 연구는 산림청 “산림과학기술개발사업(과제번호 : S121212L150100)”의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

REFERENCES

Chong, S.H. 1997. Wood properties of lesser-known

species grown in Indonesia. Forestry Research Institute. Seoul. p. 95.

Chudnoff, M. 1984. Tropical timbers of the world. USDA Forest Service. Madison. pp. 180.

Eddowes, P.J. 2005. Solomon Island Timber. Canberra. pp. 28-29.

Gang, M.R., Gong, Y.H., Seo, S. ., Yun, Y., Lee, C.B. and Jeon, J.H. 2011. Tree Species for Overseas Plantation. Green Forest Service Agency. Daejeon, Korea. p. 196.

Hadayat, S. and Simpson. W.T. 1994. Use of green moisture content and basic specific gravity to group tropical woods for kiln drying. USDA. Washington, D.C.. pp. 8-14.

HAIFOR (Haiphong Forest Products Joint Stock Co.). 2012. Timber (wood) species guide. Haiphong. p. 99.

Ido, H., Nagao, H., Kato, H., Miura, S. 2013. Strength properties and effect of moisture content on the bending and compressive strength parallel to the grain of Sugi (*Cryptomeria japonica*) round timber. Journal of Wood Science 59: 67-62.

Isoguchi, O. 1985. Identification of tropical wood. Japan wood processing Technology Association. Tokyo, Japan. pp. 33-95.

Jang, J.H., Kwon, G.J., Lee, S.H., Lee, S.J., Kim, N.H. 2010. Physical characteristics of Chestnut woods grown in Korea -Hardness and absorbed energy in impact bending-. 2010 Annual Meeting of the Korean Wood Science and Technology. pp. 161-162.

Japan Society of Materials Science. 1975. 300 species of useful wood world. Japan Material Society -Woody Material Sector Committee. Tokyo, Japan. pp. 56-91.

Kang, C.W., Kim, N.H., Kim, B.R., Kim, Y.S., Byeon, H.S., So, W.T., Yeo, H.M., Oh, S.W., Lee, W.H., Lee, H.H. 2008. Wood Physics and

- Mechanical Properties. HyangMunSa, Seoul, Korea. 96-250.
- Kim, J.H., Jang, J.H., Kwon, S.M., Febrianto, F., Kim, N.H. 2012. Anatomical properties of major planted and promising species growing in Indonesia. *Journal of Korean Wood Science and Technology* 40(4): 244-256.
- Korean Standards Association, 2001. KS F 2198. Determination of density and specific gravity of wood.
- Korean Standards Association, 2004. KS F 2203. Method of shrinkage test for wood.
- Korean Standards Association, 2004. KS F 2206. Method of compression test for wood.
- Korean Standards Association, 2004. KS F 2212. Method of hardness test for wood.
- Lee, P.W. 2009. The wood species and structure in tropical asia and Oceania. Media wood Ltd., Seoul, Korea pp. 69-334.
- Ogata, K., Fujii, T., Abe, H., Bass, P. 2008. Identification of the Timbers of Southeast Asia and the Western Pacific. Kaiseisha press. Shiga. p. 400.
- Ouypornprasert, W., Boonyachut, S., Boonyachut, S. 2005. Acacia mangium wild as structural components and shear walls. *International Journal of Materials & Structural Reliability* 3(2): 67-86.
- Park, B.S., Oh, J.A. 2011. Basic qualities of wood artificially afforested in Indonesia. 2011 Annual Meeting of the Korean Forest Bioenergy Society. pp. 74-77.
- PIKA (Pendidikan Industri Kayu Atas). 1991. Mengenal Sifat-sifat Kayu Indonesia dan Penggunaannya. Kanisius. Yogyakarta. p. 72.
- Sahri, M.H., Ashaari, Z., Kader, R.A., Mohmod, A.L. 1998. Physical and mechanical properties of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* from different provenances. *Pertanika Journal of Tropical Agriculture Science* 21(2): 73-81.
- Sudo, A. 1997. 200 species of wood in the world. Ltd. Sanjo Publishing. Tokyo, Japan. p. 104.
- Tsoumis, G. 1991. Science and Technology of Wood - Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold. New York. pp. 163-165.