인도네시아산 주요 조림 및 유망 수종의 해부학적 특성*¹

김 종 호*² · 장 재 혁*² · 권 성 민*³ · Fauzi Febrianto*⁴ · 김 남 훈*^{2†}

Anatomical Properties of Major Planted and Promising Species Growing in Indonesia*¹

Jong-Ho Kim*² · Jae-Hyuk Jang*² · Sung-Min Kwon*³

Fauzi Febrianto*⁴ · Nam-Hun Kim*^{2†}

요 약

본 연구에서는 인도네시아의 목재자원 중 새로운 유망 목재자원을 개발하고 최근 주요 조림 수종들의 효율적 이용을 위한 기초자료를 수집하기 위해 인도네시아산 10수종의 해부학적 특성을 조사하였다. 모든 수종은 산공 재료써 고립관공, 방사복합관공이 관찰되었는데, Mangium에서는 위의 특성과 더불어 접선복합관공이 관찰되었다. 접선방향의 관공 직경은 Jeunjing과 Nangka를 제외한 전 수종에서 방사방향보다 큰 값을 보였다. 특히 Nangka는 공시수종 중 가장 큰 접선방향의 관공 직경을 보였다. 단위면적(mm²)당 관공의 수는 Mangium, Gandaria와 Kupa가 다른 수종보다 많았으며, 특히 Kupa가 가장 많이 나타났다. 유세포의 접선방향 폭은 Gmelina, Mangium, Kupa와 Mangga가 목섬유의 접선방향 폭보다 크게 나타났으며, 그 중 Mangium이 가장 큰 폭을 보였다. 이 밖의 6수종은 반대로 목섬유의 접선방향 폭이 유세포의 접선방향 폭보다 크게 나타났으나 Durian과 Nangka는 그 차이가 타 수종에 비해 미미했다. Gmelina, Jeunjing과 Rambutan은 평복세포로 이루어진 동성방사조직이, Gandaria는 평복세포와 단일의 직립세포로 구성된 이성방사조직이, Mangium, Durian, Jengkol, Kupa, Mangga와 Nangka는 평복세포와 약 1~2열의 직립세포로 구성된 형태의 이성방사조직이 관찰되었다. Durian, Gandaria, Jengkol, Jeunjing, Mangga, Rambutan은 결정을, Jeunjing과 Mangga는 실리카를 함유하는 특징을 나타냈다.

*¹ 접수 2012년 2월 13일, 채택 2012년 7월 23일

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

*³ 국립산림과학원. Korea Forest Research Institute, Seoul 130-172, Korea

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

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

ABSTRACT

The anatomical characteristics of the ten Indonesian wood species (Gmelina, Jeunjing, Mangium, Durian, Gandaria, Jengkol, Kupa, Mangga, Nanaka and Rambutan) were investigated by optical microscopy. All the species were diffuse-porous with solitary and radial pore multiple. In Mangium, however, tangential pore multiple was observed as well. Tangential diameter of pore was larger than that of radial one except for Jeunjing and Nangka. Nangka showed the largest tangential diameter of pore among the species. Vessel number per mm² of Mangium, Gandaria and Kupa was higher than that of the other species. Especially Kupa showed highest vessel number. The tangential width of axial parenchyma cell in Gmelina, Mangium, Kupa and Mangga was larger than that of wood fiber, while the other species showed the opposite trend. Mangium was the largest in tangential width of axial parenchyma cell. Rays were homocellular composed only of procumbent cell in Gmelina, Jeunjing and Rambutan. Heterocellular rays composed of procumbent cells in the body and one row of upright and/or square in the margin are observed in Gandaria. Mangium, Durian, Jengkol, Kupa, Mangga and Nangkabody showed heterocellular rays composed of procumbent cells in the body and mostly 1~2 rows of upright and/or square cells in the margin. Crystals occurred in Durian, Gandaria, Jengkol, Jeunjing, Mangga and Rambutan and silica in Jeunjing and Mangga.

Keywords: tropical wood, anatomical properties of Indonesian wood, planted indonesian species, promising indonesian species

1. 서 론

현재 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 지난 1995년 체결된 교토의정서로 인해 기후변화의 문제가 심각한 화두로 떠오르고 있으며, 이에 따라 각국의 산업구조에 부합하는 탄소배출권의 확보가 시급한 실정이다. 또한, 우리나라는 러시아, 중국 등 목재 수입국의 다원화를 통해 새로운 시장을 개척해 나가고 있으나 지속적인 목재가격의 상승으로 인해 목재 산업에 상당한 영향을 받고 있는 실정이다. 이러한 문제들의 해결책으로 산림청에서는 2012년도 목재 자급률 16%를 목표로 설정하여 탄소배출권을 확보하는 동시에 국제 목재가격의 상승에 대응하려 하고 있으나 국내의 수요를 충족하기에는 부족한 실정이다. 전술한 바와 같은 문제를 해결할 수 있는 방안 중 하나로 해외 조림사업을 들 수 있는데, 이는 국내 목재수요를 충족시키는 동시에 탄소배출권 확보를 위한 해결책이 될 수 있다. 대표적인 예로 산림조합중

양회에서는 현재까지 인도네시아, 베트남 등지에 약 2만 ha의 인공림을 조림하였으며 향후 10만 ha까지 조림면적을 늘릴 계획을 수립하고 있다. 산림청에서는 2017년까지 해외조림을 25만 ha로 확대하는 계획을 수립하는 등 국가적 차원에서 많은 기업들이 조림 사업에 진출중이거나 진출계획을 수립하고 있어 이에 적합한 경제적인 수종의 선정이 우선적으로 시행되어야 한다.

해외목재자원은 1970년대부터 인도네시아를 중심으로 개발되었고, 천연림에서 생산된 목재의 성질 및 용도개발에 관한 연구(조 등, 1976, 1977; 최와 윤, 1982; 강 등, 1982)가 활발하였다. 이후 정 등(1992, 1996, 2000a, b) 및 장 등(2011)이 인도네시아산 미이용 수종에 대한 연구를 수행하여 왔고, 최근 관련 서적(권, 2008)도 출간되고 있으나, 최근 조림이 시작된 수종 및 향후 유망 수종 발굴에 대한 정보는 아직 부족한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 인도네시아에서 자생하

Table 1. Sample trees

Family	Genus	Scientific name	Botanical name	DBH (cm)	Location
Lamiaceae	<i>Gmelina</i>	<i>G. arborea</i>	Gmelina	27	
Leguminosae	<i>Paraserianthes</i>	<i>P. falcataria</i>	Jeunjing / Albizia	22	
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	Bogor, Indonesia
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>Nepbelium</i>	<i>N. lappaceum</i>	Rambutan	25

Fig. 1. Micrographs of Gmelina.

C : Cross section with axial parenchyma vasicentric.

R : Radial section with all ray cells procumbent.

T : Tangential section with larger rays commonly 4~10 seriate and exceeding 1 mm in height.

고 있는 수종 중 최근 조림사업에 각광받고 있는 수종과 널리 알려지지 않았지만 미래 유망 목재자원으로 생각되는 10개의 수종을 선정, 해부학적 성질을 검토하여 목재의 기초적 성질에 대한 기초자료로 제공하고자 한다.

유망 목재자원으로 생각되는 7수종 등 10수종을 선정, 인도네시아 보고르 농업대학교 학술훈에서 수종별 1본을 선정, 두께 약 8~10 cm의 흉고부위 원판을 채취하여 공시재료로 이용하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에서는 인도네시아에서 자생하고 있는 수종 중 최근 조림면적이 증가하고 있는 3수종과 미래

2.2. 실험방법

2.2.1. 광학현미경 관찰

각 수종별로 횡단면, 접선단면, 방사단면으로 구분하여 시편을 제작한 후, 상법(日本木材學會, 2000)에 의거, 활주식 마이크로톰(Sliding microtome)을 이

Fig. 2. Micrographs of Jeunjing.

C : Cross section with axial parenchyma diffuse and axial parenchyma vasicentric.

R : Radial section with all ray cells procumbent and crystals in chambered axial parenchyma cells.

T : Tangential section with rays exclusively uniseriate and crystals in chambered axial parenchyma cells.

용하여 15 μm 두께의 절편을 제작하였다. 제작된 절편을 알콜시리즈(50, 70, 90, 95, 99%)로 탈수 후, 1% safranin 용액과 1% light green 용액으로 염색하고, xylene 시리즈(50, 100%)로 투화하여, Canada balsam을 이용하여 영구슬라이드를 제작하였으며 이를 광학현미경(Nikon ECLIPSE, E600)으로 관찰하였다.

2.2.2. 관공 직경, 유세포 및 목섬유 폭 측정

조직의 구조는 제작된 영구슬라이드를 광학현미경(Nikon ECLIPSE, E600)과 화상분석기(IMT, I-resolution Lite)를 사용하여 각각 40배, 100배, 200배율로 확대하여 관찰하였다. 관공 직경과 유세포, 목섬유의 폭은 IAWA feature list (Angyalossy-Alfonso *et al.*, 1989)에 의거하여 각각 25개 이상을 측정하여 평균 및 표준편차를 산출하였고, 복합관공이 관찰될 경우, 구성수에 따라 관공의 개수를 각각 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 해부학적 구조 관찰

3.1.1. Gmelina (*Gmelina arborea*)

Fig. 1은 Gmelina의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립관공과 방사복합관공이 혼재하여 사진상으로 배

열하고 있고, 방사유세포가 크고 뚜렷하게 나타났고, 주위상유조직이 관찰되었다. 방사단면에서는 평복세포로 구성된 동성방사조직과 드물게 방형세포가 관찰되었다. 접선단면에서는 단열·다열(3~6열)방사조직이 혼재하였다. Gmelina의 연구들(Adam and Krampah, 2005; Richter and Dallwitz, 2000; Kribs, 1968; Normand and Paquis, 1976; Soerianegara and Lemmens, 1993)에 따르면, Gmelina는 관공의 약 85%가 고립관공으로 구성되어 있고 약 15%의 방사복합관공의 형태를 갖는 산공재로, 측방향유세포는 주위상유조직 및 익상유조직의 형태로 보고되고 있다. 또한 방사단면에서 방사조직은 평복세포와 1열의 직립세포로 구성되어있고, 접선단면에서는 단열부터 5열까지의 형태를 보이나 주로 3~4열의 형태를 보이는 것으로 보고되고 있다. 본 연구결과, Gmelina의 방사단면에서는 직립세포가 관찰되지 않았는데, 이는 수종의 개체별 차이 혹은 지역적 특성에 따른 차이가 관찰된 것이라 판단된다.

3.1.2. Jeunjing / Albizia (*Paraserianthes falcataria*)

Fig. 2는 Jeunjing의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립관공과 방사복합관공이 혼재하고, 주위상유조직 및 산재상유조직이 관찰되었다. 방사단면에서는 평복세포로 구성된 동성방사조직과, 유세포 중에 쇄상의 능형결정 및 실리카가 관찰되었다. 접선단면에

Fig. 3. Micrographs of Mangium.

C : Cross section with axial parenchyma aliform and axial parenchyma in marginal or in seemingly marginal bands.

R : Radial section with body ray cells procumbent with one row of upright and / or square marginal cells.

T : Tangential section with ray width 1~3 cells.

서는 특징적으로 높이가 낮은 단열방사조직이 비교적 균등하게 산재한 형태가 관찰되었다. Quirk (1983)와 Soerianegara and Lemmens (1993)는 Jeunjing의 주요 특징으로 산공재이며, 축방향유세포는 주위상유조직 및 산재상유조직의 형태를 보고하였다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포로 이루어진 동성방사조직을 나타내며, 접선단면에서는 단열의 형태로 관찰되고, 축방향유세포 내부에 결정이 존재한다고 보고되고 있다. 이는 본 연구의 결과와 큰 차이점을 발견할 수 없었다.

3.1.3 Mangium (*Acacia mangium*)

Fig. 3은 Mangium의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립관공, 방사복합관공과 접선복합관공이 혼재해 있고 독립대상유조직 및 익상유조직이 관찰되었다. 방사단면상의 방사조직은 평복세포와 약 1~2열의 직립세포로 구성된 형태가 관찰되었다. 접선단면에서는 단열·복열방사조직이 혼재하였고 전체적으로 산재형 방사조직을 나타냈다. Ogata *et al.* (2008)은 Mangium의 주요 특징으로 고립관공과 방사복합관공이 혼재하고, 축방향유세포는 잘 나타나지 않지만 희미하게 주위상유조직을 보고하였다. 또한 방사조직은 주로 접선단면에서 시편 부위에 따라 1~3열의 형태로 나타나며, 축방향유세포 내부에 때때로 결정이 존재한다고 보고하였다. 본 연구에서 흥미로운 점은, Mangium에서 접선복합관공이 종종 발견되었는데, 이전의 연구

들에서는 보고된 적이 없다는 점이다.

3.1.4. Durian (*Durio zibethinus*)

Fig. 4는 Durian의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립관공과 방사복합관공이 혼재하였고 주위상유조직이 관찰되었다. 방사단면상의 방사조직은 대부분 평복세포와 타일세포로 구성되어 있고, 약 1~2열의 직립세포로 구성된 형태가 관찰되었다. 접선단면에서는 단열 및 다열(3~5열)방사조직이 산재하여 배열하였다. 결정세포는 다실결정세포의 형태로 방사단면과 접선단면 모두에서 뚜렷한 형태로 관찰되었다. *Durio*에 관한 연구들(Richter and Dallwitz, 2000; Metcalf and Chalk, 1950; Moll and Janssonius, 1906)에 따르면, 주요 특징은 산공재이며, 축방향유세포는 산재상유조직, 접선상유조직, 주위상유조직 및 계단상유조직 등의 형태로 보고되고 있다. 방사단면상의 방사조직은 대부분 평복세포이고, 1~4열의 직립세포와 다수의 타일세포로 구성되었으며, 접선단면상에서는 길이 1 mm 이상, 폭 4~10열의 방사조직과, 다실결정세포와 결정세포가 보고되고 있다.

3.1.5 Gandaria (*Bouea macrophylla*)

Fig. 5는 Gandaria의 3단면 사진이다. 산공재이며 횡단면에서 직경이 일정하고 이행이 완만한 고립관공 및 방사복합관공이 생장륜 전체에서 고르게 관찰되었다. 축방향유세포는 주위상유조직, 익상유조직

Fig. 4. Micrographs of Durian.

C : Cross section with axial parenchyma vasicentric.

R : Radial section with body ray cells procumbent with one row of upright and / or square marginal cells, tile cells and crystals in chambered axial parenchyma cells.

T : Tangential section with larger rays commonly 4~10 seriate.

Fig. 5. Micrographs of Gandaria.

C : Cross section with axial parenchyma vasicentric and axial parenchyma in marginal or in seemingly marginal bands.

R : Radial section with body ray cells procumbent with one row of upright and / or square marginal cells.

T : Tangential section with rays exclusively uniseriate.

및 연합익상유조직이 관찰되었다. 방사단면상의 방사조직은 평복세포와 단열의 직립세포로 구성된 형태를 보였으며 방사조직 내부에서 능형결정이 관찰되었다. 접선단면에서는 대부분 단열방사조직의 형태를 보였고 복열방사조직이 낮은 빈도로 관찰되었다. *Bouea*에 관한 연구들(Miller, 2007; Sosef et al., 1998)에 따르면, 주요 특징은 산공재이며, 축방향유세포는 주위상유조직, 익상유조직 및 대상유조직의 형태로 보고되고 있다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포와 약 1~4열의 직립세포로 구성되었으며, 접선단면에서는 보통 1~3열의 형태가 보고되고 있다. 또한 방사조직과 축방향유세포 내부에 결정이 보고

되고 있다. 본 연구결과, Gandaria에서는 익상 및 연합익상유조직이 주로 관찰된 반면, 대상유조직은 낮은 빈도로 관찰되었다.

3.1.6. Jengkol (*Pithecellobium jiringa*)

Fig. 6은 Jengkol의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립산공과 방사복합산공이 혼재하였고 짧은 접선상유조직이 관찰되었다. 방사단면에서 방사조직은 대부분 평복세포로 구성되어 있고, 약 1~2열의 직립세포도 드물게 관찰되었으며, 유세포 내부에서 결정이 관찰되었다. 접선단면에서는 단열·복열·다열(3~4열)방사조직이 산재하였다. Cassens and Miller

Fig. 6. Micrographs of Jengkol.

C : Cross section with axial parenchyma diffuse-in-aggregates.

R : Radial section with body ray cells procumbent with mostly 2~4 rows of upright and / or square marginal cells.

T : Tangential section with ray width 1~3 cells.

Fig. 7. Micrographs of Kupa.

C : Cross section with axial parenchyma in bands more than three cells wide.

R : Radial section with body ray cells procumbent with 2~4 rows of upright and / or square marginal cells.

T : Tangential section with ray width 1~3 cells.

(1981)는 *Pithecellobium*의 주요 특징으로 산공재이며, 축방향유세포는 산재, 주위상, 익상, 연합익상 및 대상유조직 등의 형태를 보고하였다. 방사단면에서는 평복세포로 구성된 동성방사조직이 관찰되고, 접선단면에서는 주로 단열방사조직의 형태를 보이며, 다실결정세포가 보고되고 있다. 본 연구결과, Cassens and Miller (2008)의 연구에 비해 짧은 접선상유조직의 형태가 주로 관찰되었다. 또한 접선단면에서 단열방사조직보다 1~3열 방사조직의 출현빈도가 높게 나타났다.

3.1.7 Kupa (*Syzygium polycepalum*)

Fig. 7은 Kupa의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립관공과 방사복합관공이 혼재하였고 수반대상유조직이 특징적으로 관찰되었다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포와 약 1~2열의 직립세포로 구성된 형태를 보였으며 결정이 관찰되지 않았다. 방사단면 및 접선단면에서 축방향유세포가 주변의 축방향조직과 확연히 구분되었다. 접선단면에서는 다열(3~4열)방사조직이 관찰되었으며 전체적으로 산재형 방사조직을 나타냈다. Lemmens *et al.* (1995)은 *Syzygium*의 주요 특징으로 산공재이며, 축방향유세포는 산재상유조직, 익상유조직, 연합익상유조직 및 모상유조직

Fig. 8. Micrographs of Mangga.

C : Cross section with axial parenchyma aliform and axial parenchyma confluent.

R : Radial section with body ray cells procumbent with 2~4 rows of upright and / or square marginal cells and crystal in upright and / or square ray cells.

T : Tangential section with ray width 1~3 cells.

등의 형태를 보고하였다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포와 약 2~4열의 직립세포로 구성되었으며, 접선단면에서는 보통 4~10열의 형태가 보고되고 있다. 또한 축방향유세포 내부에 다실결정세포가 보고되고 있다. 본 연구결과, Kupa에서는 결정이 관찰되지 않았는데, 이는 수종의 개체별 차이 혹은 지역적 특성에 따른 차이가 관찰된 것이라 판단된다.

3.1.8 Mangga (*Mangifera indica*)

Fig. 8은 Mangga의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립관공과 방사복합관공이 혼재하였고 독립대상유조직 및 익상유조직이 관찰되었다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포와 약 1~2열의 직립세포로 구성된 형태를 보였으며, 방사조직 내부에 능형결정이 다량 관찰되었고 실리카가 관찰되었다. 접선단면에서는 뭉툭한 형태의 단열·다열(3열)방사조직이 산재하였다. *Mangifera*에 관한 연구들(Detienne and Jacque, 1983; Miller, 2007; Pearson and Brown, 1932; Lemmens *et al.*, 1995)에 따르면, 주요 특징은 산공재이며, 축방향유세포는 주위상유조직, 익상유조직, 연합익상유조직 및 대상유조직 등의 형태로 보고되고 있다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포로 구성된 동성방사조직을 나타내며, 접선단면에서는 주로 1~3열의 방사조직 형태로 관찰되고, 방사조직내부에 결정이 보고되고 있다. 이는 본 연구의 결과와 큰

차이점을 발견할 수 없었다.

3.1.9. Nangka (*Artocarpus integra*)

Fig. 9는 Nangka의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립관공과 방사복합관공이 혼재하였고 익상유조직 및 연합익상유조직이 관찰되었다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포와 약 1~2열의 직립세포로 구성된 형태를 보였다. 접선단면에서는 단열 및 다열(3~5열)방사조직이 산재하였다. Welle *et al.*(1986)은 *Artocarpus*의 주요 특징으로 산공재이며, 축방향유세포는 익상유조직 및 대상유조직의 형태를 보고하였다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포와 약 1~4열의 직립세포로 구성되었으며, 접선단면에서는 1~10열의 방사조직 형태가 보고되고 있다. 또한 재내에 실리카의 관찰이 보고되고 있다. 본 연구결과, Nangka에서는 실리카가 관찰되지 않았는데, 이는 수종의 개체별 차이 혹은 지역적 특성에 따른 차이가 관찰된 것이라 판단되며, 금후 지속적인 관찰 및 연구가 진행되어야 한다.

3.1.10. Rambutan (*Nephelium lappaceum*)

Fig. 10은 Rambutan의 3단면 사진이다. 산공재이며 고립관공과 복합관공이 혼재하였고 연합익상유조직 및 수반대상유조직이 관찰되었다. 방사단면에서는 평복세포로 이뤄진 동성방사조직과 뚜렷한 형태

Fig. 9. Micrographs of Nangka.

C : Cross section with axial parenchyma aliform and axial parenchyma confluent.

R : Radial section with body ray cells procumbent with 2~4 rows of upright and / or square marginal cells.

T : Tangential section with larger rays commonly 4~10 seriate.

Fig. 10. Micrographs of Rambutan.

C : Cross section with axial parenchyma confluent and axial parenchyma bands more than three cells wide.

R : Radial section with all ray cells procumbent and crystals in chambered axial parenchyma cells.

T : Tangential section with rays exclusively uniseriate.

의 축방향유세포가 관찰되었다. 접선단면에서는 단열·복열방사조직이 산재하였다. 결정세포는 방사단면과 접선단면 모두에서 뚜렷하게 관찰되었다. Klaassen (1999)은 Rambutan의 주요 특징으로 산공재이며, 축방향유세포는 산재상유조직, 익상유조직, 연합익상유조직 및 대상유조직의 형태를 보고하였다. 방사단면에서 방사조직은 평복세포로 구성된 동성방사조직의 형태 또는 평복세포와 약 1열의 직립세포로 구성되었으며, 접선단면에서는 단열방사조직의 형태로 보고되고 있다. 또한 축방향유세포 내부에 결정 보고되고 있다. 본 연구결과, Rambutan에서는 복열방사조직이 종종 관찰되었으나 단열방사조직이 주를 이루고 있었으며 직립세포 또한 관찰되지 않

았다.

3.1.11. 10수종의 해부학적 특성 분석결과

Table 2는 10수종의 횡단면의 해부학적 특성을 요약한 결과이다. 모든 공시목이 산공재이며 고립관공, 방사복합관공이 존재하였고 Mangium에서 접선복합관공이 관찰되었다. 독립유조직 중 산재상유조직이 관찰된 수종은 Jeunjing, 짧은 접선상유조직은 Jengkol에서 관찰됐으며, 독립대상유조직은 Mangga와 Mangium에서 관찰되었다. 수반유조직 중 익상유조직이 관찰된 수종은 Durian, Gandaria, Mangga와 Nangka였고, 연합익상유조직은 Gandaria, Nangka와 Rambutan에서 관찰되었다. 수반대상유조직은

Table 2. Anatomical characteristics in cross surface

Species	Vessel			Apotracheal parenchyma			Paratracheal parenchyma			
	SP*	MPR	MPT	APD	APDA	BAP	PA	PC	BP	PV
Gmelina	o	o								o
Jeunjing	o	o		o						o
Mangium	o	o	o			o	o			
Durian	o	o								o
Gandaria	o	o					o	o		o
Jengkol	o	o			o					
Kupa	o	o							o	
Mangga	o	o				o	o			
Nangka	o	o					o	o		
Rambutan	o	o						o	o	

*SP : Solitary pore, MPR : Multiple pore in radial direction, MPT : Multiple pore in tangential direction,
 APD : Axial parenchyma diffuse, APDA : Axial parenchyma diffuse-in-aggregates,
 BAP : Banded apotracheal parenchyma, PA : Axial parenchyma aliform, BP : Banded paratracheal parenchyma,
 PC : Axial parenchyma confluent, PV : Axial parenchyma vasicentric.

Table 3. Anatomical characteristics in radial and tangential surface

Species	Cellular composition of ray			Inclusions in parenchyma		Ray width		
	BRPO*	BRPM	ARP	Crystal	Silica	Uni	1 to 3	4 to 10
Gmelina			o			o		o (3~6seriate)
Jeunjing			o	o	o	o		
Mangium		o					o	
Durian		o		o		o		o (3~5seriate)
Gandaria	o			o			o	
Jengkol		o		o		o		o (3~4seriate)
Kupa		o						o (3~4seriate)
Mangga		o		o	o		o	
Nangka		o						o (3~5seriate)
Rambutan			o	o			o	

*BRPO : Body ray cells procumbent with one row of upright and / or square marginal cells,
 BRPM : Body ray cells procumbent with mostly 2~4 rows of upright and / or square marginal cells,
 ARP : All ray cells procumbent, Uni : Rays exclusively uniseriate, 1 to 3 : Ray width 1 to 3 cells,
 4 to 10 : Larger rays commonly 4 to 10 seriate.

Table 4. Dimensions of wood elements

Species	Vessel			tangential width of wood fiber (μm)	tangential width of ray parenchyma cell (μm)
	number (per mm ²)	diameter			
		radial direction (μm)	tangential direction (μm)		
Gmelina	7.1 ± 0.4	131.1 ± 12.1	175.3 ± 12.5	9.2 ± 1.5	15.2 ± 4.7
Jeunjing	3.3 ± 0.5	190.2 ± 33.2	166.5 ± 42.1	17.5 ± 6.5	15.1 ± 4.1
Mangium	7.7 ± 1.1	144.8 ± 19.4	167.1 ± 24.3	13.6 ± 4.8	19.8 ± 4.0
Durian	3.1 ± 1.0	175.5 ± 38.1	192.1 ± 28.7	22.6 ± 4.2	20.3 ± 3.3
Gandaria	8.0 ± 2.4	114.2 ± 34.6	121.9 ± 25.4	10.9 ± 7.5	11.0 ± 3.1
Jengköl	2.9 ± 0.9	131.1 ± 15.8	171.2 ± 13.8	17.8 ± 4.2	16.4 ± 3.8
Kupa	9.4 ± 2.1	108.0 ± 11.2	133.8 ± 21.2	9.3 ± 3.4	15.3 ± 3.5
Mangga	2.1 ± 0.8	142.2 ± 11.4	164.5 ± 28.5	13.6 ± 2.9	22.0 ± 2.2
Nangka	4.8 ± 1.0	193.2 ± 26.8	189.8 ± 30.9	8.0 ± 2.6	7.1 ± 1.9
Rambutan	5.0 ± 1.5	99.3 ± 20.1	155.0 ± 21.5	13.2 ± 3.8	11.3 ± 2.2

Kupa와 Rambutan에서 관찰되었으며, 주위상유조직은 Gmelina, Jeunjing, Durian과 Gandaria에서 관찰되었다.

Table 3은 방사단면 및 접선단면 관찰한 결과로, 방사단면상의 방사조직이 대부분 평복세포로 구성되어 1열의 직립세포로 구성된 형태가 Gandaria에서 관찰되었고, 대부분 평복세포이고 2~4열의 직립세포를 보유한 형태는 Mangium, Durian, Jengköl, Kupa, Mangga와 Nangka에서 관찰되었으며, 방사조직이 평복세포로 구성된 동성방사조직은 Gmelina, Jeunjing과 Rambutan에서 관찰되었다. 결경은 Jeunjing, Durian, Gandaria, Jengköl, Mangga와 Rambutan 등 6수종에서 관찰되었으며, Jeunjing과 Mangga는 실리카를 함유하는 특징을 나타냈다. 접선단면에서는 10수종 모두 산재방사조직으로 단열에서 다열까지 다양한 형태를 나타냈다. 특히 Gmelina는 3~6열로 다른 9수종보다 많은 열을 가지고 있는 것으로 나타났다.

3.2. 관공의 수, 직경 및 유세포와 목섬유의 폭

Table 4는 목재 조직의 치수를 측정한 결과로, 단위면적(mm²)당 관공의 수는 Mangium과 Gandaria,

Kupa가 약 7~9개로 다른 수종들에 비해 많았던 반면, Jeunjing, Durian, Jengköl과 Mangga는 약 2~3개로 가장 적었다. 관공의 직경은 수종간에 비교하였을 때, 방사방향 및 접선방향 모두 Jeunjing, Durian과 Nangka가 가장 컸다. 방향간에 비교하였을 때는 Jeunjing과 Nangka를 제외한 나머지 8수종에서 접선방향의 직경이 방사방향의 직경보다 더 컸다. 목섬유의 폭은 Durian, Jeunjing과 Jengköl이 가장 컸으며, 유세포의 폭은 Mangium, Durian과 Mangga가 가장 컸다. 특히 Gmelina, Mangium, Kupa와 Mangga는 목섬유의 폭보다 유세포의 폭이 약 2배 이상 큰 것으로 나타났다. 그 외 6수종은 유세포보다 목섬유의 폭이 더 컸으며 그중 Durian과 Nangka는 그 폭의 차이가 미비하게 관찰되었다. 위의 결과를 통해 공시수종들의 단위면적(mm²)당 관공밀도, 관공의 방사/접선방향 직경, 목섬유의 접선방향 직경, 방사 유세포의 접선방향 직경 등의 기초자료를 확보할 수 있었으나, 위의 요소들은 수목의 수령, 입지, 자생지역 등 다양한 요소에 의해 변동이 가능하므로 보다 신뢰성 있는 자료의 확보를 위해서는 다양한 지역에서 자생한 동일수종에 대한 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

4. 결 론

인도네시아산 10수종의 해부학적 특성을 조사한 결과, 모든 수종에서 산공재, 고립관공, 방사복합관공이 관찰되었으며 Mangium에서는 접선복합관공도 관찰되었다. 방사단면상의 방사조직이 평복세포와 단열의 직립세포로 구성된 이성방사조직이 Gandaria에서, 평복세포와 1~2열의 직립세포로 구성된 이성방사조직이 Mangium, Durian, Jengkol, Kupa, Mangga와 Nangka에서, 그리고 평복세포로만 구성된 동성방사조직이 Gmelina, Jeunjing과 Rambutan에서 관찰되었다. Gmelina 등 4수종에서 축방향유세포가 뚜렷하게 관찰되었다. 접선단면에서는 모든 수종에서 산재방사조직으로서 단열에서 다열까지 다양한 형태를 나타냈다. Jeunjing 등 6개 수종은 결정이, Jeunjing과 Mangga는 실리카를 함유하는 특징을 나타냈다.

단위면적(mm²)당 관공 수는 전 수종에서 약 2~9개의 범위를 보였으며, 관공 직경은 Gmelina 등 8수종에서 접선방향의 직경이 방사방향의 직경보다 더 컸다. Gmelina 등 4개 수종에서 유세포의 접선방향 폭이 목섬유의 접선방향 폭보다 크게 나타났다.

따라서 본 실험에서 얻어진 결과는 상기 10수종의 인도네시아산 목재를 식별하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 생각된다. 그러나 보다 정확한 수종 식별을 위해서는 상기 10수종의 더 많은 시료를 확보하여 더욱 정밀한 연구를 진행하는 동시에, 다양한 수종을 확보하여 광범위한 목재해부학적 특성에 관한 연구가 진행되어 기초자료가 확보되어야 할 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

1. 조재명, 이용대, 이찬호, 현정인, 소원택. 1976. 미이용 남양재의 재질에 관한 시험. 산림과학논문집 23: 57~74.
2. 조재명, 안정모, 임기표, 공영토, 정상기. 1977. 미이용 남양재의 재질에 관한 시험(II). 산림과학논문집 24: 41~50.
3. 최형주, 윤병호. 1982. 남양재의 화학성분에 관한 연구 - 몇 수종 취심재(脆心材)의 Hemicellulose를 중심으로 - 목재공학 10(6): 3~7.
4. 강선구, 소원택, 심근, 이기영, 강대현, 구자운, 안경모, 윤승락, 조성택, 박종영, 심상로, 이원규, 윤여창, 조재명. 1982. 미이용남양재의 용도개발시험(I). 산림과학논문집 29: 193~212.
5. 정성호, 권중택, 이동춘, 박영규, 조성택, 강인애, 노정관, 안경모, 이동현. 1992. 인도네시아산 미이용수종의 목재성질. 산림과학논문집 46: 73~93.
6. 정성호, 이동춘, 정두진, 권중택, 이도식, 노정관, 강인애. 1996. 인도네시아산 미이용수종의 목재성질(II). 산림과학논문집 54: 171~187.
7. 정성호, 정두진, 박병수, 이도식, 조성택. 2000a. 인도네시아산 미이용수종의 목재성질(III). 한국가공학회지 11(1): 13~23.
8. 정성호, 정두진, 박병수, 이도식, 조성택, 이동훈, 홍인표, 전수경. 2000b. 인도네시아산 미이용수종의 목재성질(IV). 한국가공학회지 11(2): 15~25.
9. 장재혁, 권구중, 권성민, 김남훈. 2011. 열대산 미이용수종의 해부 및 연소특성 분석. 한국산림바이오에너지학회 2011년도 정기총회 및 학술연구발표회: 78~80.
10. 권주혁. 2008. 권주혁의 실용수입목재 가이드. 나무신문사. 서울. pp. 44~47.
11. 日本木材學會. 2000. 木質科學實驗マニュアル. 文永堂出版. 東京. pp. 72~75.
12. Veronica A. A., P. Baas, S. Carlquist, J. P. Chirnelo, V. T. R. Coradin, P. Déiiente, P. E. Gasson, D. Grosser, K. Kuroda, R. B. Miller, K. Ogata, H. G. Richter, B. J. H. ter Welle, and E. A. Wheeler. 1989. IAWA List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin n.s. 10(3): 219~332.
13. Adam, K. A. and E. Krampah. 2005. *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. [Internet] Record from Protabase. PROTA (Plant Resources of Tropical Africa). Wageningen.
14. Richter, H. G. and M. J. Dallwitz. 2000. Commercial timbers: Descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, and Spanish. Version: 18th October 2002.
15. Kribs, D. A. 1968. Commercial foreign woods on the American market. Dover Publications, New York. pp. 241.
16. Normand, D. and J. Paquis. 1976. Manuel d'identification des bois commerciaux. Tome 2. Afrique guineo-congolaise. Centre Technique Forestier Tropical. Nogent s/Seine, 335 pp.
17. Soerianegara, I. and R. H. M. J. Lemmens. 1993. Plant

- Resources of South-East Asia. No. 5(1). Timber trees: Major commercial timbers. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen. pp. 610.
18. Quirk, T. 1983. Data for a computer-assisted wood identification system. I. Commercial legumes of tropical Asia and Australia. IAWA Bulletin n.s. (4): 118~130.
 19. Ogata, K., T. Fujii, H. Abe, and P. Baas. 2008. Identification of the timbers of Southeast Asia and the Western Pacific. Kaiseisha Press. Shiga. pp. 4~357.
 20. Metcalfe, C. R. and L. Chalk. 1950. Anatomy of the dicotyledons. Clarendon Press. Oxford. 1500 pp.
 21. Moll, J. W. and H. H. Janssonius. 1906. Mikrographie des Holzes der auf Java vorkommenden Baumarten. E. J. Brill. Leiden.
 22. Miller, R. B. 2007. Fluorescent woods of the world. in: J.H. Flynn, Jr. (ed.), A guide to the more useful woods of the world. Forest Products Society. Madison. pp. 271~305.
 23. Sosef, M. S. M., L. T. Hong and S. Prawirohatmodjo. 1998. Plant Resources of South-East Asia. No. 5(3). Timber trees: Lesser-known timbers. Backhuys Publishers, Leiden. pp. 859.
 24. Cassens, D. L. and R. B. Miller. 1981. Wood anatomy of the New World Pithecellobium (sensu lato). J. Arnold Arboretum 62: 1~44.
 25. Lemmens, R. H. M. J., I. Soerianegara and W. C. Wong. 1995. Plant resources of South-east Asia. No. 5(2). Timber trees: Minor commercial timbers. Backhuys Publishers. Leiden. pp. 655.
 26. Detienne, P. and P. Jacquet. 1983. Atlas d'identification des bois de l'amazone et des regions voisines. Centre Technique Forestier Tropical. Nogent s/ Marne. pp. 640.
 27. Pearson, R. S. and H. P. Brown. 1932. Commercial timbers of India. Their distribution, supplies, anatomical structure, physical and mechanical properties and uses. Volume I. Government of India, Central Publication Branch, Calcutta, pp. 548.
 28. ter Welle, B. J. K., J. Koek-Noorman, and S. M. C. Topper. 1986. The systematic wood anatomy of the Moraceae (Urticales). V. Genera of the tribe Moreae without urticaceous stamens. IAWA Bulletin. n.s. 7(3): 175~193.
 29. Klaassen, R. 1999. Wood anatomy of the Sapindaceae. IAWA Journal Supplement 2. IAWA (International Association of Wood Anatomists). Leiden. pp. 219.