

นิพนธ์ต้นฉบับ

คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7

Physical and Mechanical Properties of Eucalyptus Wood Clone K7

วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัดน์*

Wiwat Hanvongjirawat*

ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Forest Products Department, Faculty of Forestry, Kasetsart University 50 Ngam Wong Wan Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

*Corresponding Author, E-mail: fforwih@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 8 เมษายน 2565

รับแก้ไข 19 พฤษภาคม 2565

รับลงพิมพ์ 24 พฤษภาคม 2565

ABSTRACT

Eucalyptus is one of the most popular commercial woods in Thailand. It is an important raw material for various wood industries. Utilization in the form of sawn timber is limited, due to lack of basic information, given that Eucalyptus clone K7 is widely planted since it grows fast. The research objective of this study was to determine the physical and mechanical properties of Eucalyptus clone K7 as basic data for utilization in the form of sawn timber. The physical properties of K7, i.e., average specific gravity under oven dry condition was 0.52, fiber saturation point averaged between 26 to 28 %, maximum shrinkage in tangential, radial, and longitudinal direction was 11.00, 7.00 and 0.65 %, respectively per moisture content decrease from fiber saturation point to 0 % and desorption isotherm. The mechanical properties, i.e., modulus of rupture was 72.45 MPa, modulus of elasticity was 6,654 MPa, compression parallel to grain was 41.94 MPa, compression perpendicular to grain was 5.33 MPa, hardness was 3,075 N, cleavage and nail holdings were 2.00 and 17.91 N/mm, respectively. Mechanical properties were compared with wood standard used for the structure and it was found that the clone K7 is not suitable for use in the main structure of a building. It can be used for furniture, buttress, flooring, pallet, wood chips for pulp industry, wood composites industry, firewood, and charcoal.

Keywords: Eucalyptus, Clone K7, Physical properties, Mechanical properties

บทคัดย่อ

ยูคาลิปตัสจัดได้ว่าเป็นไม้เชิงเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เป็นวัตถุดิบที่สำคัญของอุตสาหกรรมไม้ต่างๆ แต่การใช้ประโยชน์ในลักษณะเป็นไม้แปรรูปยังมีอยู่จำกัด เนื่องจากขาดแคลนข้อมูลพื้นฐาน ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีการปลูกอย่างกว้างขวางและมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะไม้แปรรูป คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอบแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.52 จุดหมาด มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26 ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ การหดตัวสูงสุดทางด้านสัมผัส ทางด้านรัศมี และการหดตัวทางด้านความยาว มีค่าเท่ากับ 11.00, 7.00 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อความชื้นลดลงจากจุดหมาดจนถึงความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์ และการคายน้ำที่อุณหภูมิคงที่ ค่าคุณสมบัติทางกล ได้แก่ ค่าโมดูลัสแตกหักมีค่าเท่ากับ

72.45 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 6,654 เมกะปาสคาล แรงอัดขนานเส้น มีค่าเท่ากับ 41.94 เมกะปาสคาล แรงอัดตั้งฉากเส้น มีค่าเท่ากับ 5.33 เมกะปาสคาล ค่าความแข็ง มีค่าเท่ากับ 3,075 นิวตัน แรงฉีก และ แร่งยึดเหนี่ยวตะปู (nail holding) มีค่าเท่ากับ 2.00 และ 17.91 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลกับมาตรฐานไม้ที่ใช้ทำโครงสร้าง พบว่า ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 ไม่เหมาะสมทำโครงสร้างหลักของอาคาร ดังนั้นการใช้ประโยชน์ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 สามารถนำไปทำ เครื่องเรือน ไม้ค้ำยัน ไม้พื้น ที่รองของ ทำขึ้นไม้สับสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมไม้ประกอบ ฟืนและถ่าน

คำสำคัญ : ยูคาลิปตัส, สายต้น K7, คุณสมบัติทางฟิสิกส์, คุณสมบัติทางกล

คำนำ

ความต้องการใช้ไม้แปรรูปในประเทศเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2563 มีมูลค่าการนำเข้า 5,270,989,994 บาท และมูลค่าการส่งออกเพียง 29,007,885 บาท (Royal Forest Department, 2020) ทำให้ประเทศไทยขาดดุลการค้าระหว่างประเทศจำนวนมาก ไม้แปรรูป ในประเทศไทยส่วนใหญ่ มาจากไม้ยางพารา และ ไม้สัก เป็นต้น ซึ่งจัดได้ว่าเป็นไม้เศรษฐกิจของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม การนำไม้ดังกล่าว มาแปรรูป ไม้ต้องมีอายุมากกว่า 20 ปี จึงสามารถนำมาแปรรูปได้ หรือบางชนิดต้องรอการใช้ประโยชน์ด้านอื่นก่อน เช่น ไม้ยางพารา ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการปลูกเพื่อใช้น้ำยาง

จุดเด่นของไม้ยูคาลิปตัส คือ เป็นไม้โตเร็ว รอบตัดฟันสั้น สามารถนำมาใช้แปรรูปได้เมื่ออายุ 6 ปี ขึ้นไป ซึ่งถือว่าเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับไม้แปรรูปชนิดอื่น และยังเป็นไม้ที่ปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศ ปัจจุบันมีการส่งเสริมการปลูกกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในรูปแบบของ สวนป่าและระบบวนเกษตร ได้แก่ การปลูกบนคันนา การปลูกร่วมกับพืชเกษตร เช่น มันสำปะหลัง เป็นต้น ทำให้เกษตรกรมีรายได้เสริมอย่างแท้จริง และเป็นต้นแบบของเศรษฐกิจพอเพียงระดับชุมชน

ไม้ยูคาลิปตัสมีมากกว่า 700 ชนิด จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปออสเตรเลีย ประเทศไทยได้เริ่มนำยูคาลิปตัสชนิดต่างๆ มาทดลองปลูกประมาณ พ.ศ. 2493 แต่ได้มีการปลูกกันอย่างจริงจังเมื่อประมาณ พ.ศ. 2508 ชนิดที่นิยมปลูกกันมากคือ ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*) เนื่องจากสามารถเติบโตได้ในแทบทุกสภาพพื้นที่ ตั้งแต่ที่ริมน้ำ ที่ราบน้ำท่วมบางระยะใน

รอบปี ดินทรายที่มีความแห้งแล้งติดต่อกันเป็นเวลานาน และยังเป็นชนิดที่นิยมนำไปปลูกยังประเทศต่างๆ เนื่องจากสามารถปรับตัวเติบโตได้ดีในสภาพดินทุกประเภท มีลักษณะลำต้นสูงเปลือยและมีกิ่งก้านน้อยสำหรับพื้นที่ที่มีความชื้นสูง พบว่า ไม้ยูคาลิปตัสยูโรฟิลลา (*Eucalyptus urophylla*) และ ยูคาลิปตัสเพลลิตา (*Eucalyptus pellita*) เป็นชนิดที่เติบโตได้ดี มีความต้านทานต่อโรคแมลง จึงเป็นที่สนใจของผู้ปลูก ไม้ยูคาลิปตัส ต่อมาได้มีการปรับปรุงพันธุ์เป็นสายพันธุ์ลูกผสมกับยูคาลิปตัสชนิดอื่นๆ เพื่อคุณสมบัติต่างๆ เช่น ปริมาณเยื่อเพิ่มขึ้น ทนทานโรค/แมลง ปลูกได้ในหลายสภาพพื้นที่ เป็นต้น (Royal Forest Department, 2001)

ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 พัฒนาโดยบริษัทสวนกิตติ จำกัด โดยพัฒนาจากยูคาลิปตัสสายพันธุ์ *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. กับสายพันธุ์ *Eucalyptus deglupta* Blume ใบสีเขียวเข้มเป็นมัน รูปหอกกว้าง (broad-lanceolate) ปลายใบแหลมและฐานใบมนแหลม ขนาด 4x18 ซม. ขอบใบเป็นคลื่น ใบเรียงตัวแบบสลับ (alternate) ไม้ใหญ่อายุ 3-5 ปี ลำต้นไม่กลม มีความเปลาตรงสม่ำเสมอไม่ค่อยมีร่องกิ่งชัดเจน ใบหนาแน่น เรือนยอดแหลม ทรงพุ่มแผ่ กิ่งมากขนาดปานกลางถึงใหญ่แต่กรอบลำต้นผิวเปลือกเรียบสีน้ำตาล ลอกเปลือกเป็นแผ่น (Department of Agriculture, 2005)

ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส มีแก่นและกระพี้แตกต่างกันเห็นได้ชัด เนื้อไม้ค่อนข้างละเอียดเสี้ยนสนบิดไปตามแนวของลำต้น ความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 ในสถานะแห้ง เนื้อไม้แตกได้ง่ายหลังตัดฟัน มีการหดตัวค่อนข้างสูง (Chomchan and Wisuttapekul, 1984) ประกอบด้วย เวสเซล (vessel)

พาเรนไคมา (parenchyma) และ ไฟเบอร์ทราไครด์ (fiber-tracheid) (Dadswell, 1972) ไม้ *Eucalyptus deglupta* เนื้อไม้มีสีน้ำตาลอ่อนและเป็นมันวาว เนื้อไม้หยาบ มีความแข็งแรงปานกลางแต่ไม่คงทน มีความหนาแน่น 390-810 กก./ลบ.ม. ส่วนใหญ่ใช้ทำเยื่อกระดาษ ปาร์ติเกิลบอร์ด ฟีนและถ่าน (Orwa *et al.*, 2009)

คุณสมบัติทางเคมีของ *Eucalyptus globulus* ประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) 40-60 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 12-22 % และ ลิกนิน (lignin) 15-22 % โดยคุณสมบัติทางเคมีมีการแปรผันตามชนิด และชนิดเดียวกันแต่ต่างต้นกัน (Dillner *et al.*, 1970)

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ ความหนาแน่นของไม้มีอิทธิพลโดยตรงต่อความแข็งแรงของไม้ ไม้ที่มีความหนาแน่นสูงย่อมรับแรงได้ดีกว่าไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ แต่การแปรรูปและการตกแต่งทำได้ยากขึ้นและปกติไม้ที่มีความหนาแน่นสูง มีแนวโน้มจะหดตัวมากและการแตกร้าวได้ง่ายกว่าไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ ยกเว้นไม้บางชนิดที่มีสารแทรกมาก เช่น ไม้สัก มะค่าโมง และประดู่ จุดหมาดของไม้มีความสำคัญ เพราะน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในไม้มี 2 ลักษณะด้วยกัน คือ น้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งเรียกว่าน้ำซับ (bound water) กับน้ำที่อยู่นอกผนังเซลล์หรือตามช่องว่างของเซลล์ (cell cavity) ซึ่งเรียกว่าน้ำอิสระ (free water) จุดหรือสภาพของไม้ที่มีน้ำอยู่เต็มเซลล์โดยที่น้ำซึ่งอยู่นอกผนังเซลล์ไม่มีเหลืออยู่เลย จุดนี้เรียกว่า จุดหมาด (fiber saturation point; FSP) จุดหมาดมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของไม้ คือ เกี่ยวกับการหดตัว ไม้จะเริ่มการหดตัวเมื่อมีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด เกี่ยวกับความแข็งแรง เพราะความแข็งแรงของไม้ โดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นของไม้ต่ำกว่าจุดหมาด เกี่ยวกับการเป็นฉนวนไฟฟ้า ไม้จะเป็นฉนวนกับไฟฟ้าได้ดี เมื่อมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด (Wisuttapekul *et al.*, 1997) ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส มีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นเมื่อไม้มีอายุมากขึ้น ไม้อายุระหว่าง 6-12 ปี มีค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ย 800-1,000 กก./ตร.ซม. โดยไม้อายุ 10 ปีขึ้นไปมีค่าโมดูลัสแตกหักสูงกว่า 1,000 กก./ตร.ซม.

ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 20 ปี มีค่าโมดูลัสแตกหักสูงถึง 1,400 กก./ตร.ซม. สูงกว่าไม้ตะเคียนทอง ส่วนไม้ที่มีอายุ 6-8 ปี มีค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกับไม้ยาง (Thaipetch and Julruek, 1985) ไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้ที่โตเร็วและมีปัญหาเมื่อนำไม้มาใช้ประโยชน์ ได้แก่มีการหดตัวของไม้สูงและเมื่อผ่านการอบแห้งทำให้ไม่เกิดตำหนิ เช่น การแตก เป็นต้น (de Villiers, 1973; Elliot, 1967)

คุณสมบัติทางกลในสภาวะแห้งของ *E. urophylla* พบว่า โมดูลัสแตกหัก (modulus of rupture) โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) แรงเฉือนด้านรัศมี (radial side shearing) แรงเฉือนด้านสัมผัส (tangential side shearing) แรงอัดขนานเสี้ยน (compression parallel to grain) แรงอัดตั้งฉากเสี้ยนด้านรัศมี (radial side compression perpendicular to grain) แรงอัดตั้งฉากเสี้ยนด้านสัมผัส (tangential side compression perpendicular to grain) และแรงดึง (tension) มีค่าเท่ากับ 78.9, 9,810, 12.8, 14.6, 37.2, 10.8, 13.2 และ 145 เมกะปาสคาล ตามลำดับ การดัดงอ (impact bending) เท่ากับ 2.44 กก.-ม. และความแข็งด้านรัศมี (radial side hardness) และความแข็งด้านสัมผัส (tangential side hardness) เท่ากับ 3,879 และ 3,763 นิวตัน ตามลำดับ การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของ *E. urophylla* พบว่า การหดตัวด้านรัศมี การหดตัวด้านสัมผัส การหดตัวตามยาว และการหดตัวของปริมาตร (volumetric shrinkage) มีค่าเท่ากับ 5.60, 7.66, 0.57 และ 13.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณความชื้นที่จุดหมาด เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ และมีความหนาแน่นที่สภาวะผึ่งแห้ง (density at dry condition) เท่ากับ 684 กก./ลบ.ม. และความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เท่ากับ 0.66 (Sompoch, n.d.)

ไม้ยูคาลิปตัส เป็นที่สนใจของหลายประเทศ ทั้งในประเทศเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนหลายแห่ง ได้แก่ ชิลี บราซิล และมาเลเซีย รวมถึงประเทศไทยในการนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับแผ่นไม้ประกอบ (wood composites) (Nacar *et al.*, 2005) การใช้งานไม้เพื่อทำผลิตภัณฑ์ไม้แปรรูป คุณสมบัติของไม้มี

ความสำคัญต่อการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ (Wessels *et al.*, 2016) การนำไม้ยูคาลิปตัสไปใช้ประโยชน์เป็นสิ่งที่ทำหาย ไม้ยูคาลิปตัสบางชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์การหดตัวและการยุบตัวสูงมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาในการใช้งาน (Chafe, 1990; Malan, 1993; Vermaas and Bariska, 1994; Ilic, 1999; Wessels *et al.*, 2016) ปัญหาอีกประการหนึ่งคือการแตกเนื่องจากความเครียดจากการเจริญเติบโต (growth stress) ที่มักพบในไม้ยูคาลิปตัส เป็นไม้ที่เลื่อยได้ยาก ไม้แปรรูปที่ได้มักบิด โค้ง งอ เนื่องจากเป็นลักษณะทางธรรมชาติของไม้ยูคาลิปตัส ไม้ยูคาลิปตัส ขณะสดเมื่อนำมาแปรรูปจะเกิดการโค้งและแตกปลาย เนื่องมาจากความเค้นของไม้จากการเจริญเติบโต นอกจากนี้เมื่อไม้แปรรูปมีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด การแตกตามปลายไม้จะเพิ่มมากขึ้นตามการแห้งของไม้ การเกิดตำหนิต่างๆนี้ ทำให้ไม้ยูคาลิปตัสที่แปรรูปมีคุณภาพและผลผลิตต่ำ (Malan, 1984, 2003; Wessels *et al.*, 2016)

การใช้งานไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ในภาคสนามมีอายุการใช้งานเพียง 9-14 เดือน เนื่องจากการทำลายของศัตรูทำลายไม้ เช่น ปลวก มอด และ เพรียง ดังนั้นเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของไม้ให้ยาวขึ้น จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของไม้ให้มีความทนทานมากขึ้น โดยการใช้สารเคมีป้องกันรักษาเนื้อไม้ (Venin *et al.*, 1990)

การใช้ประโยชน์ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ โดยอายุที่เหมาะสมของไม้ยูคาลิปตัสในการผลิตเยื่ออยู่ในช่วง 3-15 ปี (Rattivanich *et al.*, 1987) ไม้ท่อนยูคาลิปตัส 4.5 ต้น สามารถผลิตเยื่อกระดาษได้ประมาณ 1 ตัน อุตสาหกรรมผลิตเยื่อใยสังเคราะห์ซึ่งเยื่อของไม้ยูคาลิปตัสให้สารเซลลูโลส สามารถนำไปใช้ เป็นวัตถุดิบผสมทำเส้นใยเรยอนแทนเส้นใยฝ้าย (Royal Forest Department, 2001)

ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส สามารถนำไปผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด แผ่นปาร์ติเกิ้ล และแผ่นไม้อัดซีเมนต์ (Thaipetch, 1985) ด้านการก่อสร้าง เนื้อไม้มีความคงทนต่อการทำลายของปลวกได้ดี ใช้ทำเสาและเสาเข็มขนาดเล็ก ไม้ค้ำยัน (Aurapeepattanapong and Latcharaj, 1985) พลังงานเชื้อเพลิงในรูปฟืน ถ่าน และการผลิตกระแสไฟฟ้า ไม้ฟืนยูคาลิปตัสให้ความร้อนประมาณ 4,800 แคลอรีต่อกรัม ส่วนถ่านไม้ยูคาลิปตัสให้พลังงานความร้อน 7,400 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งให้ความร้อนใกล้เคียงกับถ่านไม้โก่งกวาง ซึ่งจัดว่าเป็นถ่านไม้ชั้นดีที่สุด (Chomchan and Panyatanya, 1985)

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาคณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะไม้แปรรูป

อุปกรณ์และวิธีการ

ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 อายุ 6 ปี 10 เดือน จากสวนป่ากิตติ จังหวัดปราจีนบุรี จำนวน 3 ต้น มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก เท่ากับ 51.7 54.8 และ 58.3 ซม. ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่โตเพียงพอเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของไม้แปรรูป ทำการโค่นไม้ยูคาลิปตัสสูงจากพื้นดินประมาณ 10 ซม. แล้วดำเนินการตัดเป็นไม้ท่อน ดังใน Figure 1 ในไม้ 1 ต้น จะได้ไม้ท่อนขนาดความยาว 50 ซม. จำนวน 2 ท่อน และไม้ท่อนขนาดความยาว 150 ซม. จำนวน 2 ท่อน ไม้แต่ละท่อนทำการทาบลิ้นค้ำ และหุ้มด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้นระเหยจากปลายไม้ เพื่อลดการสูญเสียการแตกที่ปลายไม้ ดังนั้นจะได้ไม้ท่อนขนาด 50 ซม. และไม้ท่อนขนาด 150 ซม. อย่างละ 6 ท่อน ไม้ท่อนขนาด 50 ซม. ใช้การทดลองหาค่าคุณสมบัติทางฟิสิกส์และคุณสมบัติทางกล ส่วนไม้ท่อนขนาดความยาว 150 ซม. เก็บไว้เพื่อนำไปทำการวิจัยในเรื่องการแปรรูปและการอบไม้ต่อไป

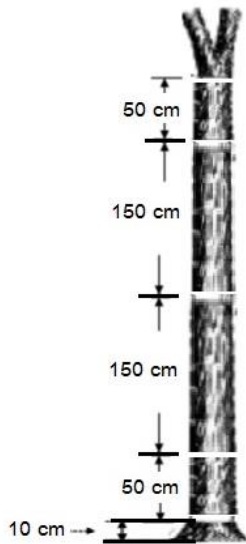


Figure 1 Diagram depicting the log cutting.

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

ทำการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอบแห้ง (specific gravity at oven dry condition) จุดหมาด (fiber saturation point) การหดตัว (shrinkage) และการคายน้ำที่อุณหภูมิคงที่ (desorption isotherm) นำไม้ที่อนขนาด 50 ซม. จำนวน 6 ท่อนจากไม้ยูคาลิปตัสจำนวน 3 ต้น มาตัดเป็นชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ จำนวน 4 ชิ้นแต่ละท่อน ด้วยวิธีการสุ่ม ดังนี้ ตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาดด้านหน้าตัด 5x5 ซม. ให้ตรงกับด้านสัมผัส (tangential) และ ด้านรัศมี (radial) และหนา 0.3 ซม. ส่วนการหดตัวด้านความยาว ตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาดด้านหน้าตัด 1x1 ซม. และความยาวตามแนวเส้นไม้ขนาด 5 ซม. ทำเครื่องหมาย ทำการวัดขนาดที่ทำเครื่องหมาย ด้านสัมผัส ด้านรัศมี และด้านความยาว แล้วทำการชั่งน้ำหนักขึ้นตัวอย่าง นำไม้ตัวอย่างไปใส่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (conditioning chamber) ที่สภาวะอุณหภูมิ 2 ระดับ 40 และ 70 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 4 ระดับ ได้แก่ 41, 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ในแต่ละสภาวะ ทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดด้านสัมผัส ด้านรัศมี และด้านความยาว เมื่อดำเนินการทดลองจนครบทุกสภาวะ นำขึ้น

ทดสอบมาอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดด้านต่าง ๆ และวัดปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ ทำการคำนวณหาความชื้นของไม้ตามสมการที่ 1 ทำการคำนวณหาความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอบแห้งตามสมการที่ 2 และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวตามสมการที่ 3 ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 143 standard (2007)

การคำนวณหาความชื้นของไม้ตั้งสมการ (1)

$$MC = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

MC = ความชื้นไม้ (%)

m = น้ำหนักก่อนอบ (g)

m₀ = น้ำหนักอบแห้ง (g)

การคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ ตั้งสมการ (2)

$$G = \frac{m_0}{V\rho_w} \quad (2)$$

G = ความถ่วงจำเพาะ

V = ปริมาตรของเนื้อไม้ (cm³)

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ = 1 g/cm³

V ρ_w = ปริมาตรของเนื้อไม้จากการแทนที่น้ำ (g)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว (S) ตั้งสมการ (3)

$$S (\%) = \frac{\text{ขนาดเริ่มต้น} - \text{ขนาดที่หดตัว}}{\text{ขนาดเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3)$$

คุณสมบัติทางกล

นำไม้ที่อนขนาด 50 ซม. จำนวน 6 ท่อนจากไม้ยูคาลิปตัสจำนวน 3 ต้น มาตัดเป็นชิ้นทดสอบตามมาตรฐานเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกลของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 จำนวน 4 ชิ้นในแต่ละท่อน ด้วยวิธีการสุ่ม และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลดังนี้ ค่าโมดูลัสแตกหัก (modulus of rupture, MOR) โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity, MOE) แรงอัดขนานเส้น (compression parallel to grain) แรงอัดตั้งฉากเส้น (compression perpendicular to grain) และ แรงฉีก (cleavage) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน BS 373 standard (1985) ส่วนค่า

ความแข็ง (hardness) และ แรงยึดเหนี่ยวตะปู (nail holding) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 143 standard (2007) ก่อนทำการทดสอบนำชิ้นทดสอบมาปรับสถานะความชื้น ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งชิ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่

ผลและวิจารณ์

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

ค่าความถ่วงจำเพาะเป็นคุณสมบัติเฉพาะของไม้ที่อธิบายความแข็งแรงของไม้ ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอบแห้งของไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K7 มีค่าเท่ากับ 0.52 จุดหมาด คือจุดที่ไม้เริ่มมีการหดตัวเนื่องจากไม้สูญเสียความชื้นในผนังเซลล์ จุดหมาดของไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26 ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2)

ใน Figure 2 แสดงการหดตัวของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 เมื่อมีการสูญเสียความชื้นจากจุดหมาดจนถึงความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านสัมผัส (tangential direction) มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 11 เปอร์เซ็นต์ และ เปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านรัศมี (radial direction) มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ การหดตัวทางด้านสัมผัส มีค่าสูงกว่าทางด้านรัศมี

ประมาณ 0 ถึง 1.6 เท่า เมื่อความชื้นลดลงจากจุดหมาดจนถึงความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านสัมผัสและด้านรัศมี มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นลดลงจากจุดหมาดจนถึงความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์

ใน Figure 3 แสดงการหดตัวของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 ตามความยาว (longitudinal direction) พบว่า เปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านความยาวมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความชื้นลดลงจากจุดหมาดจนถึงความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์

การหดตัวสูงสุดของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 ทางด้านสัมผัส ทางด้านรัศมี และด้านตามยาว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.00, 7.00 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์การหดตัวด้านความยาวของไม้ปกติ (normal wood) โดยทั่วไปมีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งไปได้ไม่ต้องนำมาพิจารณา เปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านสัมผัสของไม้ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่าด้านรัศมี ประมาณ 2 เท่า (Siau, 1984) ทั้งนี้เนื่องจากการหดตัวในแนวรัศมี มีเซลล์รัศมีช่วยยับยั้งการหดตัว ส่วนทางด้านสัมผัสไม่มีเซลล์รัศมีช่วยยับยั้งการหดตัว ทำให้การหดตัวทางด้านสัมผัสมีค่าสูงกว่าด้านรัศมี (Panshin and de Zeeuw, 1980)

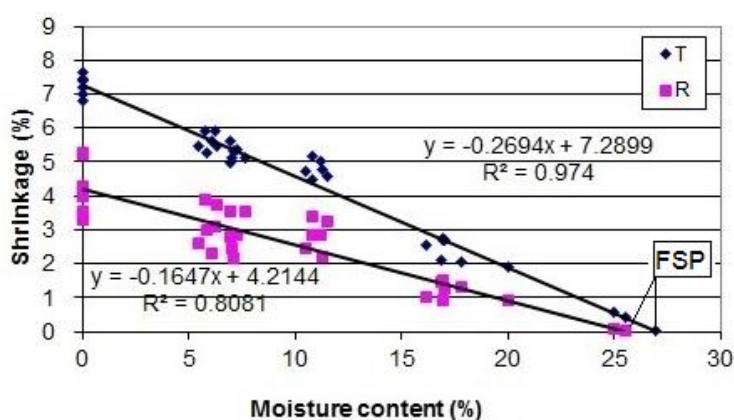


Figure 2 Shrinkage in radial (R) and, tangential (T) directions, with fiber saturation point (FSP) of Eucalyptus clone K7.

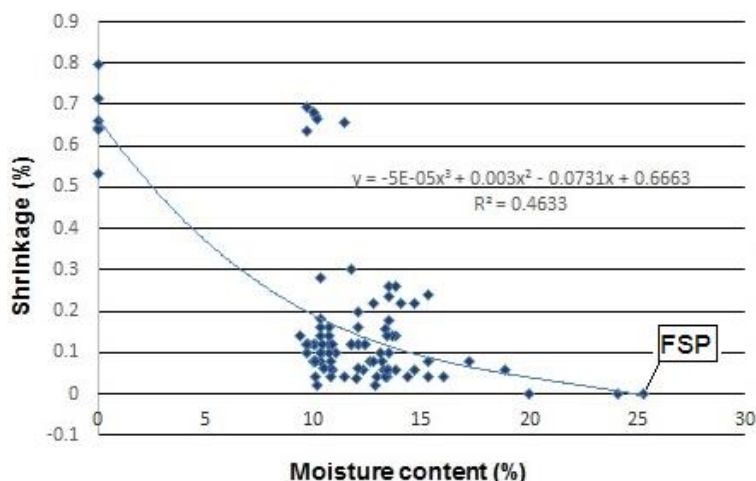


Figure 3 Shrinkage in longitudinal direction and fiber saturation point (FSP) of Eucalyptus clone K.7

ความชื้นของเนื้อไม้ที่สมดุลกับความชื้นในบรรยากาศ ที่สภาวะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งและความชื้นสัมพัทธ์ใด ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่ง เรียกว่า ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, EMC) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) ที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า การดูดและคายน้ำที่อุณหภูมิคงที่ (sorption isotherm) การดูดและคายน้ำเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อไม้อย่างหนึ่ง (Siau, 1984)

ใน Figure 4 แสดงการคายน้ำที่อุณหภูมิคงที่ (desorption isotherm) ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 พบว่า ความชื้นสมดุลมีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลให้น้ำถูกกระตุ้นไปสู่พลังงานที่สูงขึ้นและมีความเสถียรต่ำทำให้โมเลกุลน้ำหลุดจากการยึดเหนี่ยวกับไฮโดรเจนบอนด์ของเนื้อไม้

เป็นผลให้ไม้มีค่าความชื้นสมดุลลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Palipane and Driscoll, 1992) และพบว่าที่อุณหภูมิคงที่ค่าความชื้นสมดุลลดลงตามการลดลงของความชื้นสัมพัทธ์ แม้ว่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อความชื้นสมดุล แต่ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อความชื้นสมดุล ได้แก่ ความเค้นทางกล (mechanical stress) ประวัติการอบแห้งของไม้ ชนิดและความถ่วงจำเพาะของไม้ ปริมาณสารแทรก (extractive) และอุณหภูมิ (Siau, 1984; Skaar, 1972) ข้อมูลการดูดและคายน้ำที่อุณหภูมิคงที่ (sorption isotherm) มีประโยชน์อย่างมากสำหรับการใช้งานจริงในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบ เช่น การอบไม้ และในกระบวนการผลิตที่ให้ความร้อนแก่เนื้อไม้ (Siau, 1984)

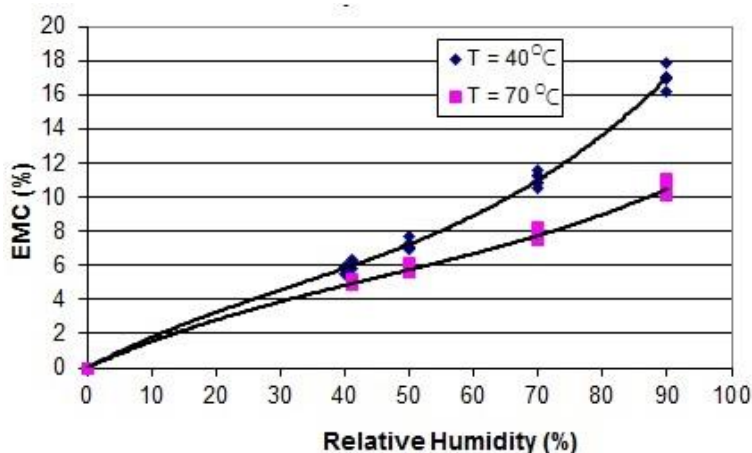


Figure 4 Desorption isotherm of Eucalyptus clone K7.

คุณสมบัติทางกล

ก่อนทำการทดสอบค่าคุณสมบัติทางกล ได้ทำการควบคุมความชื้นของชิ้นทดสอบ โดยนำชิ้นทดสอบไปไว้ในห้องควบคุมสภาวะความชื้นที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งไม่มีน้ำหนักคงที่ และได้ทำการหาความชื้นของชิ้นทดสอบ ค่าความชื้นเฉลี่ยของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากับ 10.81 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.1

ค่ากลสมบัติของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 แสดงใน Table 1 โดยเปรียบเทียบกับค่ากลสมบัติกับไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 (*E. urophylla* clone K58) ไม้เศรษฐกิจที่ใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ได้แก่ ไม้ยางพารา (*Heavia brasiliensis*) ไม้สัก (*Tectona grandis*) และไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง ได้แก่ ไม้ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) ไม้แดง (*Xylocarpus*) และไม้เต็ง (*Shorea obtusa*).

ค่าโมดูลัสแตกหัก (MOR) ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.45 เมกะปาสคาล มีค่าต่ำกว่าไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ไม้ยางพารา ไม้ประดู่ ไม้แดง และไม้เต็ง แต่มีค่าสูงกว่าไม้สัก

โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,654 เมกะปาสคาล มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ไม้ยางพารา ไม้ประดู่ ไม้แดง ไม้เต็ง และไม้สัก แรงอัดขนานเส้น (compression parallel to grain) ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.94 เมกะปาสคาล มีค่าต่ำกว่าไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ไม้ยางพารา ไม้ประดู่ ไม้แดง และไม้เต็ง แต่มีค่าสูงกว่าไม้สัก แรงอัดตั้งฉากเส้น (compression perpendicular to grain) ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.33 เมกะปาสคาล มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ไม้ยางพารา ไม้ประดู่ ไม้แดง ไม้เต็ง และไม้สัก ค่าความแข็ง (hardness) ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,075 นิวตัน มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ไม้ยางพารา ไม้ประดู่ ไม้แดง ไม้เต็ง และไม้สัก แรงฉีก (cleavage) และ แรงยึดเหนี่ยวตะปู (nail holding) ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 และ 17.91 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ มีค่าต่ำกว่าไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.35 และ 38.39 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ

Table 1 Mechanical properties of Eucalyptus clone K7 compared to other commercial woods.

| Wood species | Oven-dry Specific gravity | MOR (MPa) | MOE (MPa) | Compression Parallel to grain (MPa) | Compression Perpendicular to grain (MPa) | Hardness (N) | Cleaveage (N/mm) | Nail Holding (N/mm) |
|--------------|--|--|--|---|--|---|--|---|
| K7 | 0.52 (0.02) | 72.45 (8.22) | 6,654 (1204) | 41.94 (2.46) | 5.33 (1.11) | 3,075 (561.91) | 2.00 (0.31) | 17.91 (4.85) |
| K58 | 0.72 ¹ (0.03) ¹ | 125.18 ¹ (9.53) ¹ | 11,137 ¹ (962.26) ¹ | 63.50 ¹ (2.51) ¹ | 9.20 ¹ (1.89) ¹ | 6,011 ¹ (663.39) ¹ | 3.35 ¹ (4.55) ¹ | 38.39 ¹ (9.63) ¹ |
| Rubber-Wood | 0.65 ² | 100.20 ² | 9,403 ² | 47.01 ² | 14.34 ² | 6,498 ² | - | - |
| Teak | 0.62 ³ | 63.00 ³ | 7,996 ³ | 32.00 ³ | 8.00 ³ | 4,864 ⁴ | - | - |
| Pradauk | 0.82 ³ | 114.00 ³ | 12,596 ³ | 49.00 ³ | 20.00 ³ | 9,097 ⁴ | - | - |
| Daeng | 1.05 ³ | 117.00 ³ | 15,017 ³ | 53.00 ³ | 21.00 ³ | 10,101 ⁴ | - | - |
| Teng | 1.07 ³ | 91.00 ³ | 11,323 ³ | 43.00 ³ | 18.00 ³ | 9,454 ⁴ | - | - |

Remark: Values in parentheses are standard deviations.

Wood species: K58 (*Eucalyptus urophylla* clone K58), Rubber Wood (*Heavia brasiliensis*), Teak (*Tectona grandis*), Pradauk (*Pterocarpus macrocarpus*), Daeng (*Xylia xylocarpa*), and Teng (*Shorea obtusa*).

Sources: ¹Hanvongjirawat (2016), ²Riyaphan (2013), ³Saneg-ah-tit (n.d.) and ⁴ Forest Products Development Division (2010).

ค่าโมดูลัสแตกหัก ของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72 เมกะปาสคาล และแรงอัดขนานเสี้ยน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.94 เมกะปาสคาล ตามการจัดชั้นความแข็งแรงของเนื้อไม้ ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 จัดอยู่ในชั้นความแข็งแรง B (ความแข็งแรงปานกลาง) โดยมีค่าโมดูลัสแตกหักอยู่ระหว่าง 60.0-94.9 เมกะปาสคาล และแรงอัดขนานเสี้ยนอยู่ระหว่าง 35-50.9 เมกะปาสคาล (Forest Products Development Division, 2010) และตามมาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุใช้งานในโครงสร้างอาคาร สำหรับงานไม้ ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กำหนดไม้ที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักของอาคารต้องเป็นไม้เนื้อแข็งที่มีความต้านทานแรงดัดสูงสุดหรือโมดูลัสแตกหักไม่น้อยกว่า 100 เมกะปาสคาล และมีแรงอัดขนานเสี้ยนสูงสุดไม่น้อยกว่า 52 เมกะปาสคาล (Building Control Bureau, 2021) ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 ไม่เหมาะสมทำโครงสร้างหลักของอาคารเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ซึ่งมีค่าโมดูลัสแตกหักเท่ากับ 125.18 เมกะปาสคาล และ

แรงอัดขนานเสี้ยน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.50 เมกะปาสคาล จัดอยู่ในชั้นความแข็งแรง A (ความแข็งแรงสูง) โดยมีค่าโมดูลัสแตกหักสูงกว่า 95 เมกะปาสคาล และแรงอัดขนานเสี้ยนสูงกว่า 51 เมกะปาสคาล และผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุใช้งานในโครงสร้างอาคาร สำหรับงานไม้ ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 สามารถนำมาทำเป็นโครงสร้างหลักของอาคารได้ (Hanvongjirawat, 2016) ดังนั้นการใช้ประโยชน์ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 สามารถนำไปทำ เครื่องเรือน ไม้ค้ำยัน ไม้พื้น ที่รองของ ทำขึ้นไม้สับสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมไม้ประกอบ ฟินและถ่าน เป็นต้น

สรุป

ไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่สถานะอบแห้งเท่ากับ 0.52 จุดหมาดมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26 ถึง 28 เปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านสัมผัส มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 11

เปอร์เซ็นต์ และ เปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านรัศมี มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ การหดตัวทางด้านสัมผัส มีค่าสูงกว่าทางด้านรัศมี ประมาณ 0 ถึง 1.6 เท่า เมื่อความชื้นลดลงจากจุดหมาดจนถึงความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า เปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านสัมผัสและด้านรัศมี มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นลดลงจากจุดหมาดจนถึงความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวทางด้านความยาวมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความชื้นลดลงจากจุดหมาดจนถึงความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์ การหดตัวสูงสุดทางด้านสัมผัส ทางด้านรัศมี และด้านตามยาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.00, 7.00 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มีค่าเฉลี่ยโมดูลัสแตกหัก เท่ากับ 72.45 เมกะปาสคาล มีค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่น เท่ากับ 6,654 เมกะปาสคาล แรงอัดขนานเส้นใย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.94 เมกะปาสคาล แรงอัดตั้งฉากเส้นใย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.33 เมกะปาสคาล ค่าความแข็ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,075 นิวตัน แรงฉีก และแรงยึดเหนี่ยวตะปู มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 และ 17.91 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ

ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 ไม่เหมาะสมทำโครงสร้างหลักของอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ดังนั้นการใช้ประโยชน์ไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 สามารถนำไปทำ เครื่องเรือน ไม้ค้ำยัน ไม้พื้น ที่รองของ ทำขึ้นไม้สับสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมไม้ประกอบ ฟืนและถ่าน เป็นต้น การศึกษาต่อไปควรศึกษาลักษณะทางกายวิภาค การแปรรูป และการอบไม้ เพื่อให้สามารถนำไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K7 มาใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

คำนิยาม

การศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท สวนกิตติ จำกัด และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยี และนวัตกรรม (ITAP: Innovation and technology assistance program) ที่ให้ทุนการสนับสนุนวิจัยนี้

REFERENCES

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2007. **D 143**. Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber.
- Aurapeepattanapong, C., Latcharaj, S. 1985. **Trend of Wood Utilization and Marketing**. Seminar report of *Eucalyptus Camaldulensis* on 30th October - 1st November 1984. Royal Forest Department. Bangkok. pp. 258-282 (in Thai)
- British Standard (BS). 1985. **BS 373 Method of Testing Small Clear Specimens of Timber**. British Standards Institution.
- Building Control Bureau. 2021. **Specification Standard of Materials Using in Building Structure**. Department of Public Works and Town & Country Planning. Ministry of Interior. (in Thai)
- Chafe, S.C. 1990. Effect of brief prestaming on shrinkage, collapse and other wood-water relationships in *Eucalyptus regnans* E Mull. **Wood Science and Technology** 24: 311-326
- Chomchan, A., Wisuttapekul, S. 1984. **Utilized Properties of *Eucalyptus camaldulensis* in form of Sawn Lumber**. Seminar of *Eucalyptus Camaldulensis*. Royal Forest Department. Bangkok. 254 p. (in Thai)
- Chomchan, A., Panyatanya, W. 1985. **Eucalyptus and Charcoal**. Seminar report of *Eucalyptus Camaldulensis* on 30th October - 1st November 1984. Royal Forest Department. Bangkok. 249-257 (in Thai)
- Dadswell, H.E. 1972. **The Anatomy of Eucalyptus Woods**. Forest Products

- Laboratory, Division of Applied Chemistry Technological Paper No. 66. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia.
- Department of Agriculture. 2005. **Registration for Plant Varieties Certificate follow Plant Varieties Act 1975**. Office of the Council of State. (in Thai)
- De Villiers, A.M. 1973. **Utilization Problems with some Eucalypts in South Africa**. Proceedings, IUFRO Div. 5, Cape Town and Pretoria, South Africa. Pp. 238-255.
- Dillner, B., Ljunger, A., Herud, O.A., Thune-Larsen, E. 1970. The breeding of *Eucalyptus globulus* on the basis of wood density, chemical composition and growth rate. *In The Production and Industrial Utilisation of Eucalyptus Symposium in Lisbon, Supplement 5 to Volume XXIII 'Timber Bulletin for Europe'*, pp. 120-155, (FAO:Rome)
- Elliott, C.S. 1967. Utilization of Eucalyptus wood. *In World symposium of Man-made Forests and their Industrial Importance*. Vol. I., FAO: Rome. pp. 823-844.
- Forest Products Development Division. 2010. **General Characteristics of Thai Timbers**. Forest Research and Development Bureau. Royal Forest Department. Bangkok. (in Thai)
- Hanvongjirawat, W. 2016. Physical and mechanical properties of *Eucalyptus urophylla* clone K58. **Thai Journal of Forestry** 35(3): 128-135.
- Ilic, J. 1999. Shrinkage related degrade and its association with some physical properties in *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Wood Science and Technology** 33: 425-437.
- Malan, F.S. 1984. **Studies on the Phenotypic Variation in Growth Stress Intensity and its Association with Tree and Wood Properties of South African Grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)**. Dissertation. University of Stellenbosch
- Malan, F.S. 1993. The wood properties and qualities of three South African grown Eucalypt hybrids. **South African Forestry Journal** 167(1): 35-44.
- Malan, F.S. 2003. The wood quality of the South African timber for high value solid wood products and its role in sustainable forestry. **South African Forestry Journal** 198(1): 53-62.
- Nacar, M., Hiziroglu, S., Kalaycioglu, H. 2005. Some of the properties of particleboard panels made from eucalyptus. **American Journal of Applied Sciences (Special Issue)**: 5-8.
- Orwa C, Mutua, A, Kindt, R, Jamnadass R, Anthony, S. 2009. **Agroforestry Database: A Tree Reference and Selection Guide Version 4.0** <https://www.worldagroforestry.org/publication/agroforestry-database-tree-reference-and-selection-guide-version-40>. April 30, 2022.
- Palipane, K.B, Driscoll, R.H. 1992. Moisture sorption characteristics of inshell macadamia nuts. **Journal of Food Engineering** 18(1): 63-76.

- Panshin, A.J., de Zeeuw, C. 1980. **Textbook of Wood Technology** 4th ed. Mc Graw-Hill New York.
- Rattiwanch, T., Apichattabutch, A. Namprasert, P. 1987. **Sulfate Pulp from *Eucalyptus camaldulensis***. Forest Products Division. Royal Forest Department. Bangkok. (in Thai)
- Riyaphan, J. 2013. **Chemical and Mechanical Properties of Wood in Seven Para Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Clones**. M.S. thesis, Faculty of Forestry, Kasetsart University. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Royal Forest Department. 2001. ***Eucalyptus Camaldulensis***. Bangkok. (in Thai)
- Royal Forest Department. 2020. **Forestry Statistics Data**. Bangkok. (in Thai)
- Vermaas, H.F., Bariska, M. 1994. Collapse during low temperature drying of *Eucalyptus grandis* W. Hill and *Pinus silvestris* L. In **Proceedings IUFRO Wood Drying Conference**. Rotorua. New Zealand, pp.141-150.
- Venin, T., Apinantam, S., Wongsiri, A. 1990. **Natural Durability of Some Woods**. Forestry Conference. Royal Forest Department. pp. 197-220. (in Thai)
- Wessels, C.B., Crafford, P.L., Du Toit, B., Grahn, T., Johansson, M., Lundqvist, S.O., Säll, H., Seifert, T. 2016. Variation in physical and mechanical properties from tree drought tolerant *Eucalyptus* species grown on the dry west coast of Southern Africa. **European Journal of Wood and Wood Products** 74(4): 563-575.
- Wisuttapekul, S., Fuangwivat, W., Sukwatnitjakul, S. 1997. Density, shrinkage and fiber saturation point of swamp forest wood. **Thai Journal of Forestry** 16(1-2): 90-98. (in Thai)
- Saneg-ah-tit, S. n.d. **Materials testing. Major of Civil Engineering Institute of Engineering**. Suranaree University of Technology. Available source: <http://www.baannatura.com/public/files/Mpa.pdf>. Feb 12, 2015. (in Thai)
- Siau, J.F. 1984. **Transport Processes in Wood**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Tokyo.
- Skaar, C. 1972. **Water in Wood**. Syracuse Univ Press, Syracuse.
- Sompoch, n.d. **The Properties of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake**. Institute of Forest Research and Development. Royal Forest Department. Bangkok. (in Thai)
- Thaipetch, S. 1985. **The Properties of *Eucalyptus camaldulensis* and Utilizations**. Seminar report of *Eucalyptus Camaldulensis* on 30th October - 1st November 1984. Royal Forest Department. Bangkok, pp. 222-224. (in Thai)
- Thaipetch, S., Julruek, S. 1985. **The Properties of *Eucalyptus camaldulensis***. Forestry conference. Royal Forest Department. Bangkok. (in Thai)