



รายงานวิจัย

การทบทวนสมการการเติบโตของ Silver Oak AVAONE ในแปลงป่าลูก จังหวัดนครราชสีมา เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ



ดำเนินการโดย

ศูนย์วิจัยและปฏิบัติการกำชับเรือนกระเจก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้สนับสนุน
ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ渥ฟาร์ม 888



การทบทวนสมการการเติบโตของ Silver Oak AVAONE ในแปลงปลูก
จังหวัดนนทบุรี เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

ดำเนินการโดย
ศูนย์วิจัยและปฏิบัติการก้าชเรือนกระจาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

ผู้สนับสนุน
ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ渥ฟาร์ม 888

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	1
สารบัญตาราง	2
สารบัญภาพ	3
บทสรุปผู้บริหาร	4
บทนำ	5
วัตถุประสงค์	5
วิธีการดำเนินการ	6
ผลการศึกษา	13
อภิปรายผล	26
สรุป	28
เอกสารอ้างอิง	29

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ข้อมูลขนาดความโต ความสูงและน้ำหนักสดส่วนต่างของต้น Silver Oak AVAONE 3 ช่วงอายุของตัวอย่างจากแปลงปลูกของ AVA farm 888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา	14
ตารางที่ 2 ค่าเบอร์เท็นต์ความชื้นในส่วนของ ลำต้น กิ่ง ใน และราก ของตัวอย่างจากแปลงปลูก ของ AVA farm 888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา	16
ตารางที่ 3 ข้อมูลตัวแปรอิสระ DBH ² Ht และค่ามวลชีวภาพในส่วน ลำต้น กิ่ง ใน ราก และ มวล ชีวภาพเนื้อพื้นดินของต้น Silver Oak AVAONE ตัวอย่าง จากแปลงปลูกในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ของ AVA Farm888	18
ตารางที่ 4 สมการ allometric equation และค่า R ² ของสมการในแต่ละส่วนของต้น Silver Oak AVAONE จากแปลงปลูกในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ของ AVA Farm888	22
ตารางที่ 5 ค่าสัดส่วนองค์ประกอบธาตุ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และ ไนโตรเจน (N) ในมวล ชีวภาพ วิเคราะห์โดยวิธี LECO method ด้วยเครื่อง CHN Elemental Analyzer model CHN628	24
ตารางที่ 6 ข้อมูลมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE จากส่วนของ ลำต้น กิ่ง ใน ราก มวล ชีวภาพเนื้อพื้นดิน และมวลชีวภาพรวมทั้งต้นแยกตามรายแปลงปลูก (Site)	15
ตารางที่ 7 แสดงปริมาณมวลชีวภาพเนื้อพื้นดิน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน และปริมาณการดูดซับ กําชคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละแปลงปลูก และรวมทุกแปลง	15
ตารางที่ 8 แสดงปริมาณมวลชีวภาพทั้งต้น ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน และปริมาณการดูดซับ กําชคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละแปลงปลูก และรวมทุกแปลง	16

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แผนที่ตำแหน่งแปลงป่าลูก Silver Oak AVAONE ที่ดำเนินการสำรวจ แปลงหมายเลข SO01 ตำบลคงพญาเย็น อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา	7
รูปที่ 2 การวางแผนตัวอย่างและการวัดขนาดความโตและความสูงของต้น Silver Oak AVAONE ในแปลงป่าลูกของ AVA Farm888 ในพื้นที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา	10
รูปที่ 3 ขั้นตอนการล้มและการตรวจวัดข้อมูลทางชีวภาพของต้น Silver Oak AVAONE ตัวอย่าง	11
รูปที่ 4 การตรวจวัด และซึ่งน้ำหนักของชิ้นส่วนตัวอย่าง Silver Oak AVAONE เพื่อเตรียมส่งวิเคราะห์ต่อในห้องปฏิบัติการ	12
รูปที่ 5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงต้น (Height) ของ Silver Oak AVAONE ตามช่วงอายุการปลูก	14
รูปที่ 6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกอบแห้งของส่วนประกอบต่าง ๆ ของ Silver Oak AVAONE (ลำต้น กิ่ง ใบ และราก) ตามช่วงอายุ	18
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพ กับค่าตัวแปรอิสระ (D^2H)	21

บทสรุปผู้บริหาร

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอผลการพัฒนา สมการแอลโลเมต릭 (Allometric Equation) สำหรับประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนของไม้ Silver Oak AVAONE (*Grevillea robusta* A.Cunn. ex R.Br.) ที่ปลูกในอาเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยอาศัยข้อมูลภาคสนามจากแปลงของ AVA Farm 888 ครอบคลุมตัวอย่าง 8 ช่วงอายุ (2–9 ปี) งานวิจัยดำเนินการโดยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงสมการให้เหมาะสมกับสภาพการเจริญเติบโตของ Silver Oak AVAONE ในประเทศไทย เพื่อยกระดับความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของการประเมิน

โมเดลใช้ตัวแปรสอง DBH² × Ht (D²H) เชื่อมโยงลักษณะทางกายภาพกับการสะสมชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้สมการและค่าความสอดคล้องดังนี้: ลำต้น (Ws = Ws = 0.0562(D²H)^{0.8678}, R² = 0.9044), กิ่ง (Wb = 0.1350(D²H)^{0.5893}, R² = 0.8414), ใบ (WL = 0.2300(D²H)^{0.3842}, R² = 0.7365), ราก (Wr = 0.1333(D²H)^{0.6451}, R² = 0.9372) และ มวลชีวภาพเห็นพื้นดิน—AGB (Wt = 0.1609(D²H)^{0.7846}, R² = 0.8409) ค่าดังกล่าวสะท้อนสมการที่มีศักยภาพสูงในการคำนวณและพร้อมใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับ Silver Oak AVAONE ในบริบทไทย

ด้านองค์ประกอบการบอน การทดสอบด้วยวิธี LECO (เครื่อง CHN628, ห้องปฏิบัติการมาตรฐาน ISO/IEC 17025) พบว่าสัดส่วนคาร์บอนอยู่ในกรอบ 45.561–48.704% ครอบคลุม ลำต้น (เฉลี่ย 48.063%, 46.324–48.704%), กิ่ง (เฉลี่ย 45.781%, 45.561–45.992%), ใบ (เฉลี่ย 47.678%, 45.561–48.516%) และ ราก (เฉลี่ย 47.019%, 46.015–48.428%) โดยภาพรวม ใกล้เคียง 47% ตาม IPCC (2006) รองรับการใช้ค่าแปลงสัดส่วนคาร์บอน 0.47 ในการคำนวณ และเพิ่มความน่าเชื่อถือของการประมาณการภายใต้กระบวนการ MRV ของมาตรฐานคาร์บอนเครดิต (เช่น T-VER, VERRA, Gold Standard)

การมีสมการเฉพาะพื้นที่สำหรับ Silver Oak AVAONE ช่วยลดความไม่แน่นอนจากการนำสมการต่างประเทศมาใช้ในบริบทที่ต่างกัน ทำให้ผลประเมินสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการคำนวณ คาร์บอนเครดิตตามมาตรฐานสากล เสริมความเชื่อมั่นให้ผู้ปลูกและนักลงทุนว่าไม่ชนิดนี้สร้างมูลค่าทั้งจาก ผลผลิตและคาร์บอนเครดิตควบคู่กัน สมการที่พัฒนาขึ้นจึงมีคุณค่าเชิงวิชาการและปฏิบัติ เป็นเครื่องมือที่แม่นยำ เชื่อถือได้ และสอดคล้องมาตรฐาน สามารถสนับสนุนการจัดการส่วนป่า การเข้าสู่กลไกตลาดcarbon และการขับเคลื่อนประเทศไทยเป็นกลางทางคาร์บอน (Net Zero Emission) ได้อย่างเป็นรูปธรรม

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจาก การสะสมของก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากกิจกรรมด้านพลังงาน การเกษตร และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน กำลังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมทั่วโลก ต้นไม้มีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหานี้ เนื่องจากสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และกักเก็บไว้ในรูปของมวลชีวภาพ ทั้งเห็นได้ดินและใต้ดิน การปลูกและการจัดการป่าไม้ รวมถึงไม้เศรษฐกิจ จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการลดการสะสมของก๊าซเรือนกระจกในบรรยายกาศ

การประเมินปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้จำเป็นต้องอาศัย สมการแอลโลเมตทริก (allometric equation) ซึ่งเป็นเครื่องมือเชื่อมโยงระหว่างลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (DBH) และความสูงต้นไม้ (H) กับมวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสม อย่างไรก็ตาม สมการแอลโลเมตทริกที่สร้างขึ้นสำหรับไม้บางชนิดหรือพื้นที่เฉพาะอาจไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้องในพื้นที่อื่นที่มีเงื่อนไขการเจริญเติบโตแตกต่างกัน จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาและปรับปรุงสมการที่สอดคล้องกับสภาพการปลูกในแต่ละพื้นที่

ในประเทศไทย Silver Oak AVAONE (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br) เป็นไม้เศรษฐกิจที่มีมูลค่าสูง เจริญเติบโตเร็ว ทนแล้ง มีทรงพุ่มโปร่งเหมาะสมกับระบบเกษตรผสมผสาน และมีศักยภาพสูงในการกักเก็บคาร์บอน งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาสมการแอลโลเมตทริกสำหรับการประเมินมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE ซึ่งนำเข้าจากประเทศออสเตรเลียและปลูกในพื้นที่เศรษฐกิจของไทยบริเวณอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ตัวแปร $\text{DBH}^2 \times H$ ในการสร้างสมการ และแยกการประเมินออกเป็นส่วนลำต้น กิ่ง ใบ และราก ผลการศึกษาพบว่าไม้ชนิดนี้มีศักยภาพสูงในการกักเก็บคาร์บอน โดยมีค่าเฉลี่ยคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้เท่ากับ 45.805% แสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของ Silver Oak AVAONE ต่อการลดก๊าซเรือนกระจกและการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน

อย่างไรก็ตาม สมการแอลโลเมตทริกจากการวิจัยดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากความหลากหลายของอายุไม้ สภาพแวดล้อม และรูปแบบการปลูก ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องของการประเมินคาร์บอน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการ ปรับปรุงสมการแอลโลเมตทริก สำหรับการประเมินมวลชีวภาพและการบอนของ Silver Oak AVAONE ที่ปลูกในแปลงของ AVA Farm 888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา พร้อมทั้งทดสอบสมการโดยใช้ข้อมูลภาคสนามเพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการประเมิน โดยข้อมูลที่ได้จะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดการไม้เศรษฐกิจเชิงนิเวศ สนับสนุนการพัฒนาโครงการคาร์บอนเครดิต และช่วยขับเคลื่อนประเทศไทยสู่เป้าหมาย Net Zero ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- เพื่อปรับปรุงสมการแอลโลเมตทริก (allometric equation) สำหรับการประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนของไม้ Silver Oak AVAONE ที่ปลูกในประเทศไทย

2. เพื่อตรวจสอบและทดสอบความถูกต้องของสมการที่พัฒนาขึ้นโดยการประเมินปริมาณคาร์บอนกักเก็บในแปลงปลูก Silver Oak AVAONE ของ AVA Farm888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

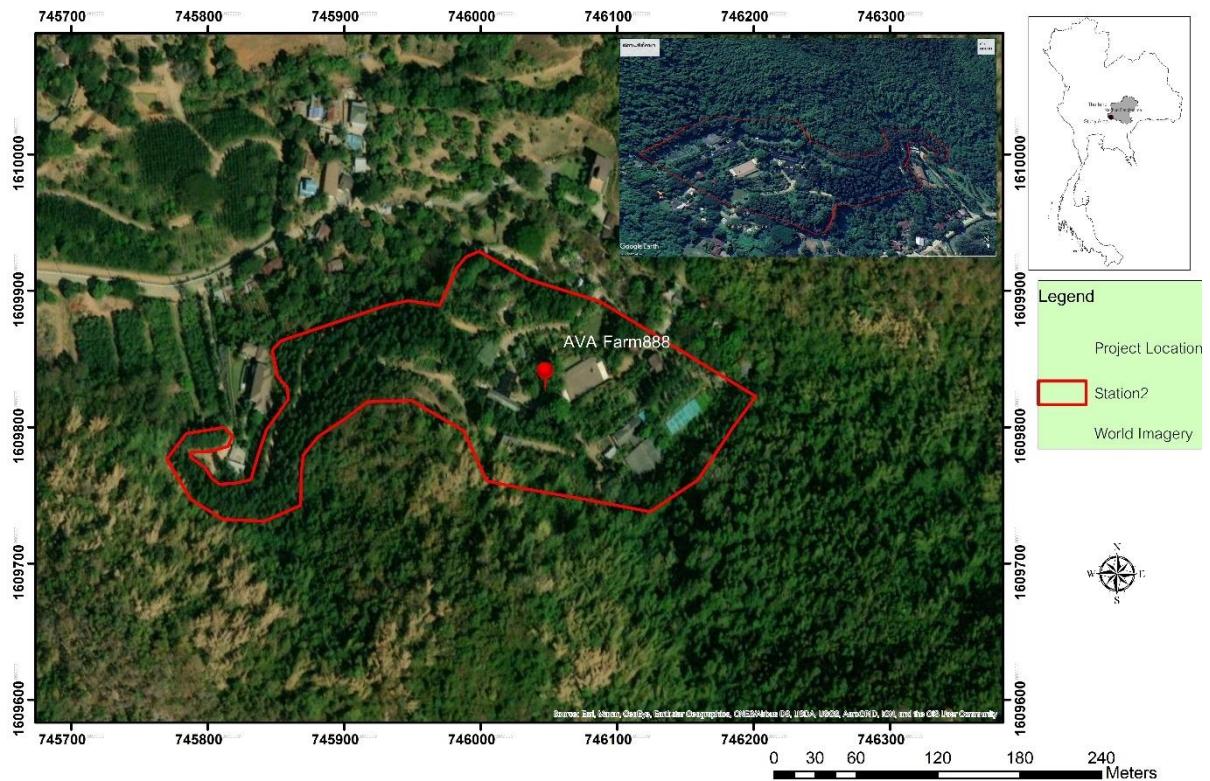
3. เพื่อจัดทำฐานข้อมูลสนับสนุนการจัดการไม้เศรษฐกิจเชิงนิเวศ และใช้ประโยชน์ในการพัฒนาโครงการcarbon credit ในอนาคต

3. วิธีการดำเนินการ

3.1 สถานที่ศึกษา

ในการวิจัยนี้ดำเนินการในพื้นที่แปลงปลูก Silver Oak AVAONE ในขอบเขตของ AVA Farm888 ตำบลพญาเย็น อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ตั้งอยู่ในพิกัด $14^{\circ}33'1.30"N$ $101^{\circ}17'0.30"E$ (รูปที่ 1) สภาพภูมิประเทศ ลักษณะภูมิประเทศที่ว่าไปของอำเภอปากช่อง มีความหลากหลาย โดยทางทิศตะวันตกเป็นเทือกเขาสูงสลับซับซ้อน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาดงพญาเย็น ซึ่งเป็นที่ตั้งของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ยอดเขา มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1,200 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และค่อนข้างลาดต่ำลงมาทางทิศตะวันออก กลายเป็นที่ราบสูงและที่รับ�อนคลื่น ซึ่งเหมาะสมแก่การทำเกษตรกรรม นอกจากนี้ ยังมีแม่น้ำลำตะกองเป็นแหล่งน้ำสายสำคัญที่ไหลผ่านพื้นที่ จากลักษณะพื้นที่ภูเขาและที่สูงชัน จึงทำให้ส่วนใหญ่เป็นดินตื้น มีหินโผลจำนวนมาก ไม่เหมาะสมกับการเพาะปลูก แต่เป็นพื้นที่ป่าไม้ที่สำคัญ ข้อมูลชุดเดียว ดินในพื้นที่อำเภอปากช่อง มีความหลากหลายตามลักษณะภูมิประเทศ โดยสามารถแบ่งกลุ่มดินที่สำคัญ คือ ชุดดินปากช่อง (Pak Chong series: Pc): เป็นดินเหนียวสีแดงหรือสีน้ำตาลแดง เกิดจากการสลายตัวของหินปูน มีการระบายน้ำดี จัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไร่ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และมันสำปะหลัง เป็นดินเหนียวที่เกิดจากการสลายตัวของหินตะกอนเนื้อละเอียดที่มีปูนปน มีสีน้ำตาลเหลือง หรือแดง มีการระบายน้ำปานกลางและความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

สภาพภูมิอากาศ อำเภอปากช่อง มีสภาพภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าสะวันนา (Tropical Savanna Climate) โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีฤดูกาลที่ชัดเจน 3 ฤดู: ฤดูร้อน (ประมาณเดือนมีนาคม - พฤษภาคม): อากาศร้อนอบอ้าว แต่ในบริเวณพื้นที่สูงบนเขาใหญ่จะมีอากาศเย็นสบาย ฤดูฝน (ประมาณเดือนมิถุนายน - กันยายน): มีฝนตกชุก ทำให้สภาพป่าไม้และทุ่งหญ้ามีความเขียวขจีและชุ่มชื้น น้ำตกต่างๆ มีปริมาณน้ำมาก ฤดูหนาว (ประมาณเดือนตุลาคม - กุมภาพันธ์): อากาศเย็นและแห้ง โดยเฉพาะในพื้นที่สูง อุณหภูมิอาจลดต่ำลง อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ประมาณ 21-27 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 แผนที่ตำแหน่งแปลงป่าลูก Silver Oak AVAONE ที่ดำเนินการสำรวจ AVA Farm888 ตำบลลดงพญาเย็น อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

ขั้นตอนการปรับปรุง Allometric Equation เพื่อใช้ประเมินการเติบโต และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลซีวภาพของ Silver Oak AVAONE ในแปลงป่าลูก ดำเนินการตามขั้นตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การคัดเลือกต้น Silver Oak AVAONE ที่มีขนาดความโตและความสูงที่เป็นตัวแทนที่ในแต่ละช่วงอายุ
2. ทำการล้มต้น Silver Oak AVAONE ด้วยวิธีการใช้เลื่อยตัดที่โคนต้นระดับพื้นดิน
3. วัดขนาดความโตวัดจากโคนถึงระดับความสูงเพียงอก (Diameter at breast height: DBH ที่ระดับ 1.30 เมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ D มีหน่วยเป็น เซนติเมตร) และค่าความสูงจากโคนต้นถึงปลายยอด (total tree height แทนด้วยสัญลักษณ์ H มีหน่วยเป็น เมตร)
4. แยกส่วนต่างๆของต้น Silver Oak AVAONE ออกเป็นส่วนของ ลำต้น (stem) กิ่ง (branch) ใน (leaf) และราก (root) เพื่อชั่งน้ำหนักสด
5. ตัดแบ่งส่วนต่างๆ จากข้อ 4 เพื่อเป็นตัวอย่างตัวแทนเพื่อชั่งน้ำหนักสด (fresh weight : FW) โดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดอีกครั้ง

6. นำส่วนตัวอย่างน้ำหนักสดจากข้อ 5 ทั้งหมดไปอบแห้ง (dry weigh: DW) ในห้องปฏิบัติการ
7. หาค่าน้ำหนักอบแห้งของส่วนตัวอย่างโดยการซึ่งโดยเครื่องซึ่งที่ละเอียด
8. นำข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักอบแห้งของส่วนตัวอย่างไปคำนวณหาค่าความชื้นในส่วนต่างๆ ของ Silver Oak AVAONE (moisture content) ในรูปแบบร้อยละความชื้น (percent moisture)
9. นำค่าร้อยละความชื้นไปคำนวณหาค่าน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ของ Silver Oak AVAONE ตัวอย่างแต่ละต้น ซึ่งเป็นส่วนของมวลชีวภาพ (Biomass) ของ Silver Oak AVAONE แต่ละต้นมีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)
- 10 นำข้อมูลมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE ตัวอย่างทั้งหมด มาเพื่อคำนวณปรับปรุงสมการ allometric equation ในรูปสมการเลขยกกำลัง $Y=aX^b$ (a และ b เป็นค่าสัมประสิทธิ์)
โดยค่า Y จะถูกพิจารณาแยกตามส่วน เป็น ลำต้น กิ่ง ใบ ราก มวลชีวภาพเห็นอพืนดิน (ลำต้น+กิ่ง+ใบ) และ มวลชีวภาพทั้งต้น (มวลชีวภาพเห็นอพืนดิน + ราก) ส่วนค่า X จะถูกแทนด้วยค่า D²H โดยที่ D แทน เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และ H แทน ความสูงตั้งต้น (total tree height)
11. นำค่าชี้ส่วนตัวอย่างที่อบแห้งแล้วส่งไปวิเคราะห์หาค่าบริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ CNH Elemental Analyzer จากห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐานห้องปฏิบัติการ ISO 17025
12. นำสมการ allometry ที่เหมาะสมที่พัฒนาได้ไปใช้วิเคราะห์และประเมินหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE ในแปลงปลูก

3.2 การล้มต้นไม้ตัวอย่าง

1. สุ่มตัวเลือกเลือกตัวอย่างต้น Silver Oak AVAONE จากแปลงปลูกจากช่วงอายุ 4 5 6 8 และ 9 ปี ตามลำดับ โดยเลือกต้นที่มีลักษณะเป็นตัวแทนของแปลงทั้งหมด จากนั้น วัดขนาด DBH ของต้นไม้ โดยต้นที่เลือกต้องมี DBH ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ตามข้อมูลการกระจาย DBH ที่รวมรวมในภาคสนาม
2. จากนั้นใช้เลื่อยโซ่ยนต์มาโค่นต้นไม้ตัวอย่าง โดยตัดที่ระดับความสูง 0.3 เมตรจากพื้นดิน
3. วัดความสูงของต้นไม้ที่โค่นจากส่วนโคนถึงส่วนยอดก่อนที่จะตัดลำต้นเป็นท่อน
4. ตัดส่วนของกิ่งทั้งหมดออกจากลำต้นและรวบรวมไว้ จากนั้นลิตใบทั้งหมดแยกออกจากกิ่ง รวมรวมไว้ บนพ้าใบหรือวัสดุปูรอง แล้วแยกซึ่งน้ำหนักสดทั้งหมดในส่วนของกิ่ง และส่วนของใบ แล้วบันทึกน้ำหนักแยกเป็นรายส่วนหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) ในแบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม
5. ถอนลำต้นออกเป็นส่วนๆ ส่วนละเท่าๆ กัน โดยส่วนแรกจำกัดที่ระดับ 1.3 เมตร ส่วนท่อนถัดไปจะตัดเป็นท่อนความยาว 1 หรือ 2 เมตร ตามขนาดและความสูงของลำต้น เพื่อให้สะดวกต่อการซึ่งน้ำหนัก ทุกท่อนที่จะตัดออกต้องทำเครื่องหมายเพื่อบ่งบอกลำดับต้นตัวอย่างและลำดับของท่อน เช่น 1.3 เมตร 3.3 เมตร 5.3 เมตร เป็นต้น ในการทำเครื่องหมายต้นไม้ตัวอย่างแต่ละต้นต้องมี

หมายเลขอักษัยและท่อนไม้ที่ตัดออกมานั้นมีหมายเลขเดียวกัน ความยาวของท่อนไม้ตัวอย่างสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับขนาดของต้นไม้



รูปที่ 2 ขั้นตอนการล้มและการตรวจข้อมูลทางชีวภาพของต้น Silver Oak AVAONE ตัวอย่าง

6. การท่อนซุงตัดต้องตัดตามตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ หลังจากตัดแล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลายด้านล่างของท่อนซุงแต่ละท่อน
7. จานวนน้ำท่อนซุงแต่ละท่อนไปชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูลน้ำหนักของท่อนซุงแต่ละท่อนในแบบบันทึกข้อมูลภาคสนามมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

8. ส่วนราก ทำการขุดส่วนรากที่อยู่ใต้ดินทั้งหมดเก็บตัวอย่างรากทั้งหมดขึ้นมาจากนั้นนำมาราบเรียบ สะอาดเพื่อนำส่วนดินและวัสดุส่วนเกินออกโดยการฉีดด้วยน้ำหลังจากนั้นนำไปผึ่งลมจนแห้งไม่ควรนำไปตากแดดเนื่องจากจะทำให้สูญเสียความชื้นในเนื้อไม้ จากนั้นนำมาซึ่งน้ำหนักแล้วค่อยนำมาหา น้ำหนักรวมในภายหลัง เมื่อนำมาซึ่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าน้ำหนักกลงในแบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม หน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) ขั้นตอนการดำเนินงาน การล้มต้น และการตรวจวัดข้อมูลของต้น Silver Oak AVAONE ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2

3.3 การเตรียมขั้นส่วนตัวอย่างเพื่อตรวจวัดน้ำหนักแห้ง

หลังจากการซึ่งน้ำหนักสดของตัวอย่างทั้งหมดแล้วจะทำการตัดขั้นส่วนตัวอย่างของส่วนต่างๆ ของต้นไม้เพื่อนำมาหาน้ำหนักแห้งโดยแต่ละส่วนของต้นไม้จะมีวิธีการเลือกตัวอย่างเพื่ออบแห้งแตกต่างกันไป ได้แก่

ส่วนลำต้น จะทำการตัดส่วนด้านล่างของแต่ละท่อนให้มีความหนาประมาณ 2-4 เซนติเมตร หรือมีน้ำหนักประมาณ 100-1,000 กรัม จากนั้นทำการตัดหัวส่วนต้นไม้ตัวอย่างและรักษาท่อนชุง ตามลำดับ ห่อตัวอย่างแยกและบรรจุในถุงเก็บตัวอย่าง แล้วนำไปปั๊มน้ำหนักสดด้วยเครื่องซึ่งแบบละเอียด บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดของแต่ละชิ้นส่วนตัวอย่าง หน่วยเป็นกรัม (g)

ส่วนกิ่ง เนื่องจากกิ่งมีหลายขนาดจึงทำการแยกขนาดของกิ่งตัวออกเป็น 4 กลุ่มขนาด เพราะกิ่งแต่ละขนาดอาจจะมีความชื้นไม่เท่ากัน โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกิ่งเป็นกลุ่มที่มีขนาด >10 เซนติเมตร 5-10 เซนติเมตร 2-5 เซนติเมตร และกลุ่มที่มีขนาด <2 เซนติเมตร สุมตัดใส่ถุงเก็บตัวอย่างแล้วทำการตัดหัวส่วนต้นไม้ตามด้วยหมายเลขที่ระบุถึงชิ้นส่วนตัวอย่างและซึ่งน้ำหนักในแต่ละกลุ่มตัวอย่างมาซึ่งน้ำหนักสด กลุ่มละ 500-1,000 กรัม ด้วยเครื่องซึ่งแบบละเอียด ทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนักสดของตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ในแบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม หน่วยเป็นกรัม (g)

ส่วนใบ ทำการสุมตัวอย่างจากตัวอย่างใบทั้งหมดใส่ถุงเก็บตัวอย่างแล้วทำการตัดหัวส่วนต้นไม้จากนั้นนำไปปั๊มน้ำหนักสดโดยน้ำหนักตัวอย่างใบที่จะนำไปอบแห้งจะมีน้ำหนักประมาณ 500-1,000 กรัม ถ้าตัวอย่างใบมีน้อยอาจใช้หั้งหมดก็ได้ บันทึกน้ำหนักสดตัวอย่างลงในแบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม หน่วยเป็นกรัม (g)

ส่วนราก ส่วนของรากแยกกลุ่มประเภทของรากออกเป็น 3 กลุ่ม “ได้แก่ รากแก้ว (primary root: PR) รากแขนง (secondary root :SR) และรากฟอย (find root: FR) ใน การสุมตัวอย่างรากจะสุมตัวอย่างจากรากแก้ว ตามขนาดและความยาวตัดเป็นท่อน ความยาวท่อนละ 2-5 เซนติเมตร จำนวน 3-5 ชิ้น รากแขนงถ้ามีจำนวนมากจะสุมคละขนาดเพื่อเป็นตัวแทน 3-5 ราก แล้วตัดเป็นท่อนความยาว 2-5 เซนติเมตร รากละ 3-5 ชิ้น แล้วทำการตัดหัวส่วนต้นไม้ตามด้วยหมายเลขที่ระบุถึงชิ้นส่วนตัวอย่างและซึ่งน้ำหนักสด ที่ระบุตำแหน่งลำดับของรากและลำดับท่อนตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นส่วนตัวอย่างแต่ละชิ้นไปปั๊มน้ำหนักสด

บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดของแต่ละชิ้นลงในแบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม หน่วยเป็นกรัม (g) และแยกบรรจุลงในถุงเก็บตัวอย่าง

การเตรียมและตรวจวัดตัวอย่างชิ้นส่วนของต้น Silver Oak AVAONE ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 7 เมื่อวัดขนาดและซั่งน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดแล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปบรรจุลงในกล่องเก็บตัวอย่างแยกรายต้นเพื่อทำการขนส่งไปอบแห้งในห้องปฏิบัติการในขั้นต่อไป



รูปที่ 3 การตรวจวัด และซั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนตัวอย่าง Silver Oak AVAONE เพื่อเตรียมส่ง วิเคราะห์ต่อในห้องปฏิบัติการ

3.4 การอบแห้งตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจจะถูกนำมาทำการอบแห้งในตู้อบอุณหภูมิสูงเพื่อลดความชื้นที่อยู่ในเนื้อไม้และผนังเซลล์ออกให้หมดโดยทำการอบในตู้อบไอร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ติดต่อกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และสุมซั่งน้ำหนักตัวอย่างครั้งที่ 1 จากนั้nobtอไป 24 ชั่วโมง ทำซั่งน้ำหนักกลุ่มที่สูงสุดครั้งที่ 2 ทำเช่นนี้จนน้ำหนักที่ซึ่งได้คงที่ เมื่อน้ำหนักคงที่แล้วจะนำตัวอย่างมาพักไว้ในโถดูดความชื้นซึ่งบรรจุ ซิลิกาเจล เอาไว้เพื่อให้ตัวอย่างเย็นตัวลง และค่อยนำตัวอย่างแต่ละชิ้นมาซั่งน้ำหนักด้วยเครื่องซั่งน้ำหนักแบบละเอียด ดังรูปที่ 8 และบันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้งในตารางเดียวกับที่บันทึกข้อมูลเดียวกันกับแบบบันทึกข้อมูลภาคสนามในช่องน้ำแห้ง (dry weight) หลังอบแห้งแล้ว หน่วยเป็นกรัม (g)



รูปที่ 4 ขั้นตอนการอบและการซั่งน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งของตัน Silver Oak AVAONE เพื่อนำเข้ามูลไป
วิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และมวลชีวภาพ

3.5 การคำนวณค่าน้ำหนักแห้งจากตัวอย่างภาคสนาม

การคำนวณหนาน้ำแห้งของตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งและซั่งน้ำหนักแล้วจะนำ
ข้อมูลทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในแต่ละส่วนของแต่ละตัน ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

เมื่อได้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของแต่ส่วนแล้วจะนำมาคำนวณหนาน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ของตันไม้เพื่อ
เปลี่ยนจากน้ำหนักสดให้เป็นน้ำหนักแห้งดังสูตร

$$\text{น้ำหนักแห้ง} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสด}}{100 + \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}}$$

โดยที่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่คำนวณได้จะถูกเปลี่ยนไปจากหน่วยกรัม (g) กลับไปอยู่ในหน่วย
กิโลกรัม (kg)

3.5 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาราดูราบอนในเนื้อไม้

ตัวอย่างส่วนหนึ่งจากส่วน ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ที่นอกเหนือจากส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์มวลชีวภาพ
ของแต่ละตัน จะถูกนำมาเตรียมเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบราดู ในกรณีนี้เนื้อรากุ่นที่ราดูราบอน (C) ในกรณีอบ
ตัวอย่างแห้งเพื่อนำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบราดูจะอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการ
ระเหิดของราดูบางอย่าง เช่น ไนโตรเจน (N) เมื่อได้ตัวอย่างที่อบแห้งแล้วตัวอย่างจะถูกนำไปบดให้เป็นผง
ละเอียดแล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมครอน และนำไปบรรจุในถุงบรรจุตัวอย่างพร้อมทำ
เครื่องหมายรหัสระบุต้น ส่วนลำต้น กิ่ง ใบ หรือราก และนำส่งห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO

17025 วิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุและค่าสัดส่วนปริมาณธาตุคาร์บอนด้วยเครื่อง CNH Elemental Analyzer

3.6 การพัฒนาสมการ allometric equationเพื่อประเมินมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE

การพัฒนาสมการ allometry เป็นการพัฒนาสมการความสัมพันธ์จากการคำนวณค่าข้อมูลน้ำหนักแห้งของต้นไม้ตัวอย่างที่ได้จากการวัดและซึ่งน้ำหนักจากข้อมูลภาคสนามมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่กำหนด เช่น DBH DBH² Ht หรือ DBH²·Ht กับตัวแปรตามคือ มวลชีวภาพของลำต้น (Ws) กิโล (Wb) ใน (Wl) หรือ ราก (Wr) (below ground biomass: BGB) มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (above ground biomass :AGB) รวมทั้งมวลชีวภาพทั้งต้น (Wt) ซึ่งมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพรวมทั้งต้นอาจมีแนวทางในการสร้างสมการได้เป็น 2 แบบ โดยอาจจะพัฒนาในรูป $AGB = Ws + Wb + Wl$ และ $Wt = AGB + BGB$ หรือพัฒนาเป็นสมการมวลชีวภาพเฉพาะกีดี โดยรูปของสมการ allometry ที่ใช้ในการพัฒนามีอยู่หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับแบบแผนการติบโตของของต้นไม้ตามเขตภูมิศาสตร์ในการวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบของสมการ allometry ที่พัฒนาเป็นแบบสมการยกกำลัง ตามแนวทางของ Ogawa et al (1961) ดังนี้

$$Y = a \cdot (D^2 H)^b$$

หรืออาจอยู่ในรูปของ

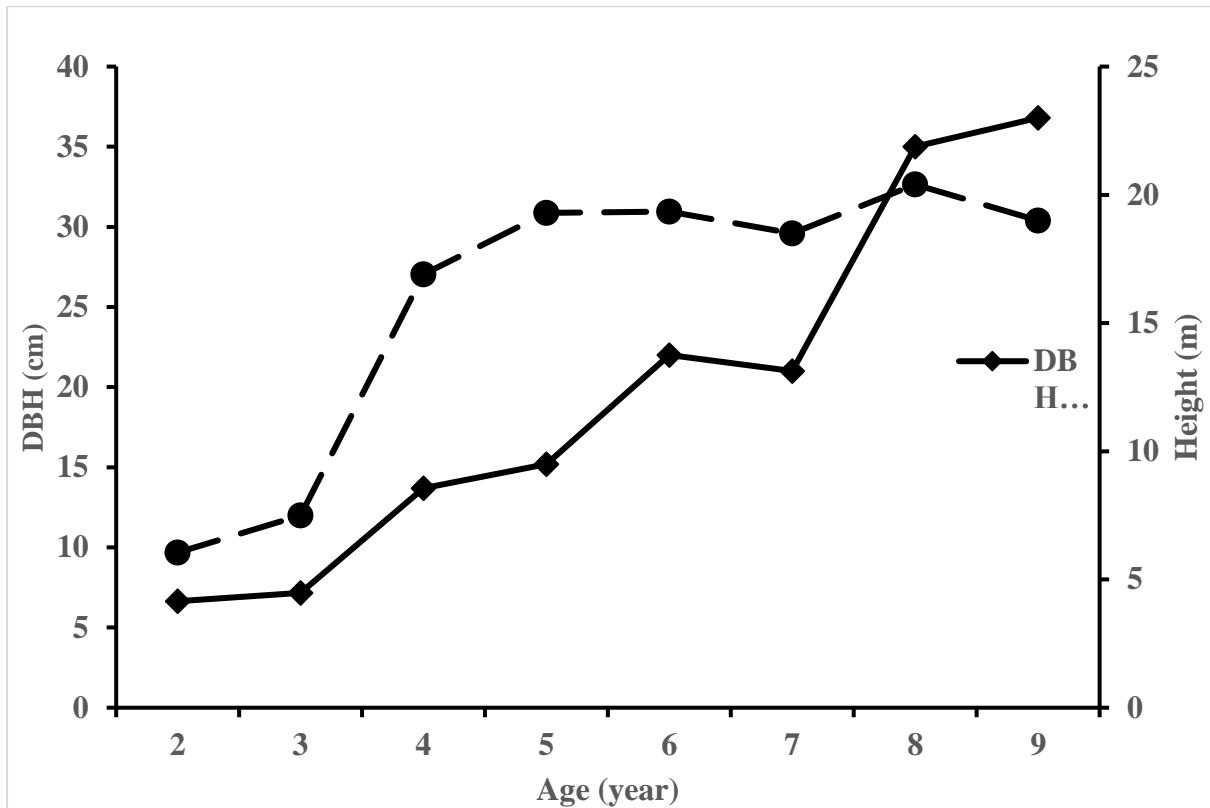
$$\ln Y = \ln a + b \cdot \ln(D^2 H)$$

โดยที่	Y	แทน Ws หรือ Wb หรือ Wl หรือ Wr หรือ AGB หรือ Wt มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)
	D	แทน DBH มีหน่วยเป็น เซนติเมตร (cm)
	H	แทน ความสูงทั้งต้น (Ht) มีหน่วยเป็นเมตร (m)
	a และ b	เป็นค่าคงที่ของสมการ

4. ผลการศึกษา

4.1 การสะสมชีวมวลเหนือพื้นดิน

การศึกษารังนี้ได้ดำเนินการสู่เม็ดเก็บตัวอย่างต้น Silver Oak AVAONE จากแปลงปลูกของ AVA Farm 888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยพิจารณาจำนวน 8 ช่วงอายุ 2-9 ปี เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาสมการแอลโลเมตريสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพ และปริมาณคาร์บอนสะสม จากการตรวจวัดในภาคสนามและการเก็บตัวอย่าง พบร้า ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงต้น (Total height) ของ Silver Oak AVAONE แสดงลักษณะการเติบโตที่แตกต่างกันตามช่วงอายุ โดยในช่วงต้นของการเจริญเติบโต (อายุ 2-5 ปี) พบร้า การเพิ่มขึ้นของ DBH และความสูงต้นยังค่อนข้างช้า แต่เมื่ออายุมากกว่า 5 ปีขึ้นไป พบรการเจริญเติบโตในลักษณะก้าวกระโดด โดยเฉพาะในช่วงอายุ 6-9 ปี ขนาดของ DBH และน้ำหนักสดของส่วนต่าง ๆ ของต้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลในช่วงอายุ 5-6 ปียังคงมีข้อจำกัดด้านจำนวนตัวอย่าง จึงไม่สามารถสรุปแนวโน้มที่ชัดเจนได้



รูปที่ 5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงต้น (Height) ของ Silver Oak AVAONE ตามช่วงอายุการปลูก

ทั้งนี้ ข้อมูลน้ำหนักสดของส่วนประกอบต้น ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใน และราก แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นตามอายุอย่างต่อเนื่องและเป็นอัตราเร่ง โดยเฉพาะในอายุ 8–9 ปี พบร่วมกับชีวภาพของลำต้นและกิ่งมีการขยายตัวอย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการสะสมมวลเนื้อดินที่สูงขึ้นตามลำดับตารางที่ 1 ข้อมูลขนาดความโต ความสูงและน้ำหนักสดส่วนต่างของต้น Silver Oak AVAONE 8 ช่วงอายุของตัวอย่างจากแปลงปลูกของ AVA farm 888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

ตารางที่ 1 แสดงการสะสมมวลเนื้อดินที่สูงขึ้นตามลำดับ

Tree ID	Age (year)	Ht (m)	DBH (cm)	Fresh weight (kg)			
				Stem	Branch	Leaf	Root
SO02	2	6.65	6.05	18.40	11.20	4.85	12.60
SO03	3	7.50	7.16	16.90	5.10	6.40	6.90
SO04	4	16.90	13.70	116.60	20.00	4.40	45.20
SO05	5	19.30	15.20	148.19	20.05	6.70	58.30
SO06	6	19.34	22.00	209.35	41.10	7.50	65.50
SO07	7	18.50	21.00	283.60	89.60	22.80	50.30

SO08	8	20.40	35.00	647.24	157.10	32.00	206.30
SO09	9	19.00	36.80	1,075.87	497.00	46.20	174.30

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่า การเจริญเติบโตของ Silver Oak AVAONE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุ ทั้งในด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และน้ำหนักสดของส่วนต่าง ๆ ของต้น ความสูงต้น (Height) ความสูงต้นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 16.55 เมตร (อายุ 2 ปี) เป็น 19.00-20.40 เมตร ในช่วงอายุ 8-9 ปี แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตด้านความสูงมีลักษณะค่อนข้างคงที่เมื่อเข้าสู่วัย 6-9 ปี สะท้อนถึงการชะลอตัวของการเจริญทางความสูงเมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นของ DBH และน้ำหนักสด เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจน โดยเพิ่มจาก 6.05 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 2 ปี เป็น 36.80 เซนติเมตร ในช่วงอายุ 9 ปี คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่า 6 เท่าภายใน 8 ปี แสดงให้เห็นว่าการสะสมชีมวลในลำต้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการเพิ่มขึ้นของ DBH น้ำหนักสด (Fresh Weight) ลำต้น (Stem): เพิ่มจาก 18.40 กิโลกรัม (อายุ 2 ปี) เป็น 1,075.87 กิโลกรัม (อายุ 9 ปี) คิดเป็นการเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เท่า กิ่ง (Branch): เพิ่มจาก 11.20 กิโลกรัม เป็น 497.00 กิโลกรัม แสดงถึงการขยายตัวของโครงสร้างเหนือดินอย่างชัดเจน ใน (Leaf): เพิ่มจาก 4.85 กิโลกรัม เป็น 46.20 กิโลกรัม โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง แม้จะมีอัตราการเพิ่มต่ำกว่าส่วนลำต้นและกิ่ง และส่วนของราก (Root): เพิ่มจาก 12.60 กิโลกรัม เป็น 206.30 กิโลกรัมที่อายุ 8 ปี ก่อนจะลดลงเล็กน้อย เป็น 174.30 กิโลกรัมที่อายุ 9 ปี ซึ่งอาจสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงสรีรวิทยาของการกระจายชีมวลระหว่างส่วนเหนือดินและใต้ดิน แนวโน้มเชิงสัมพันธ์ (DBH–Height–Biomass Relationship) การเพิ่มขึ้นของ DBH มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสะสมมวลชีวภาพ โดยเฉพาะในส่วนของลำต้นและกิ่ง ซึ่งมีการขยายตัวอย่างก้าวกระโดดในช่วงอายุ 6-9 ปี ในขณะที่ความสูงต้นเริ่มมีการชะลอตัวลง แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงสัดส่วนของการเจริญเติบโต โดยมุ่งเน้นการเพิ่มความแข็งแรงและการสะสมชีมวลมากกว่าการยืดตัวในแนวตั้ง

4.2 ผลการวิเคราะห์เบอร์เซ็นต์ความชื้นในส่วนต่างๆของ Silver Oak AVAONE

จากการวิเคราะห์ค่าเบอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการอบแห้งขึ้นส่วนตัวอย่างต้น Silver Oak AVAONE ในห้องปฏิบัติการ พบว่าชื่นส่วนของลำต้นและใบมีค่าความชื้นสูงกว่าส่วนของกิ่งและรากอย่างชัดเจน (ตารางที่ 2) โดยเฉพาะในช่วงอายุ 2-6 ปี แสดงให้เห็นแนวโน้มการสะสมความชื้นในลำต้นและใบอย่างต่อเนื่อง สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของส่วนที่เหนือดินในการเก็บกักน้ำเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเพิ่มปริมาณชีมวล อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าค่าความชื้นในรากมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุต้นเพิ่มขึ้น โดยในช่วงอายุ 6-9 ปี รากของต้น Silver Oak AVAONE มีค่าเบอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่าส่วนอื่น ๆ ของต้น สอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่า เมื่ออายุต้นเพิ่มขึ้น การจัดสรรน้ำมีแนวโน้มถูกส่งไปสะสมในลำต้นและใบมากกว่าการเก็บกักในระบบราก ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของการกระจายความชื้นภายในต้นไม้เป็นไปในลักษณะที่ตอบสนองต่อความต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มปริมาณชีมวลเหนือพื้นดิน ยิ่งอายุมากขึ้น Silver Oak

AVAONE ยิ่งมีความต้องการน้ำเพื่อคงอัตราการเจริญเติบโตและการสะสมสาร์บอนสูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยเชิงนิเวศที่มีผลโดยตรงต่อสมดุลน้ำของระบบบนิเวศ

ตารางที่ 2 ค่าเบอร์เซ็นต์ความชื้นในส่วนของ ลำต้น กิ่ง ใน และราก ของตัวอย่างจากแปลงปลูกของ AVA farm 888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

Tree ID	Age (year)	%Moisture			
		Stem	Branch	Leaf	Root
SO02	2	92.67	88.45	78.99	88.21
SO03	3	129.05	64.57	104.30	68.07
SO04	4	87.24	89.26	98.80	67.76
SO05	5	88.46	95.36	96.29	68.94
SO06	6	90.98	88.18	100.87	49.83
SO07	7	108.26	72.99	122.47	69.84
SO08	8	83.21	81.22	100.94	58.94
SO09	9	90.44	95.80	87.75	54.30

จากผลข้างต้นนี้สะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของต้นไม้กับกลุ่มธุรกิจการจัดสรรทรัพยากรน้ำภายในต้น Silver Oak AVAONE โดยค่าเบอร์เซ็นต์ความชื้นที่สูงในลำต้นและใบ แสดงถึงบทบาทสำคัญของส่วนที่มีการกักเก็บน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสร้างมวลชีวภาพ ขณะที่ระบบ rakชั้น มีบทบาทหลักในการดูดซึมน้ำกลับมีค่าเบอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงตามอายุ อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรากหรือการจัดสรรทรัพยากรน้ำที่เน้นไปยังส่วนเหนือดินแนวโน้มนี้ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อ Silver Oak AVAONE มีอายุมากขึ้น ความต้องการน้ำเพื่อการคงสภาพการเจริญเติบโตและการสะสมมวลชีวภาพจะเพิ่มขึ้น และส่วนเหนือพื้นดินจะกลายเป็นแหล่งกักเก็บน้ำสำคัญ ข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจผลวัตถุของน้ำในระบบสวนป่า รวมทั้งสามารถประยุกต์ใช้ในการจัดการน้ำและการวางแผนปลูกต้นไม้เพื่อเพิ่มศักยภาพการกักเก็บสาร์บอนในอนาคต

4.3 การวิเคราะห์มวลชีวภาพของต้น Silver Oak AVAONE เพื่อพัฒนาสมการแอลโอลometrik

การศึกษาการสะสมมวลชีวภาพของต้นไม้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อด้านนิเวศวิทยาป่าไม้และการจัดการcarบอน เนื่องจากมวลชีวภาพเป็นตัวชี้วัดหลักในการประเมินศักยภาพการกักเก็บcarบอนของระบบบนิเวศป่าไม้ งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากต้น Silver Oak AVAONE ที่เก็บจากแปลงปลูกของ AVA Farm 888 ในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา มาวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์

ระหว่างตัวแปรโครงสร้างของต้นไม้ ได้แก่ DBH (Diameter at Breast Height), Ht (ความสูงต้นไม้) และตัวแปรเชิงผสม DBH^2Ht กับการสะสมมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้

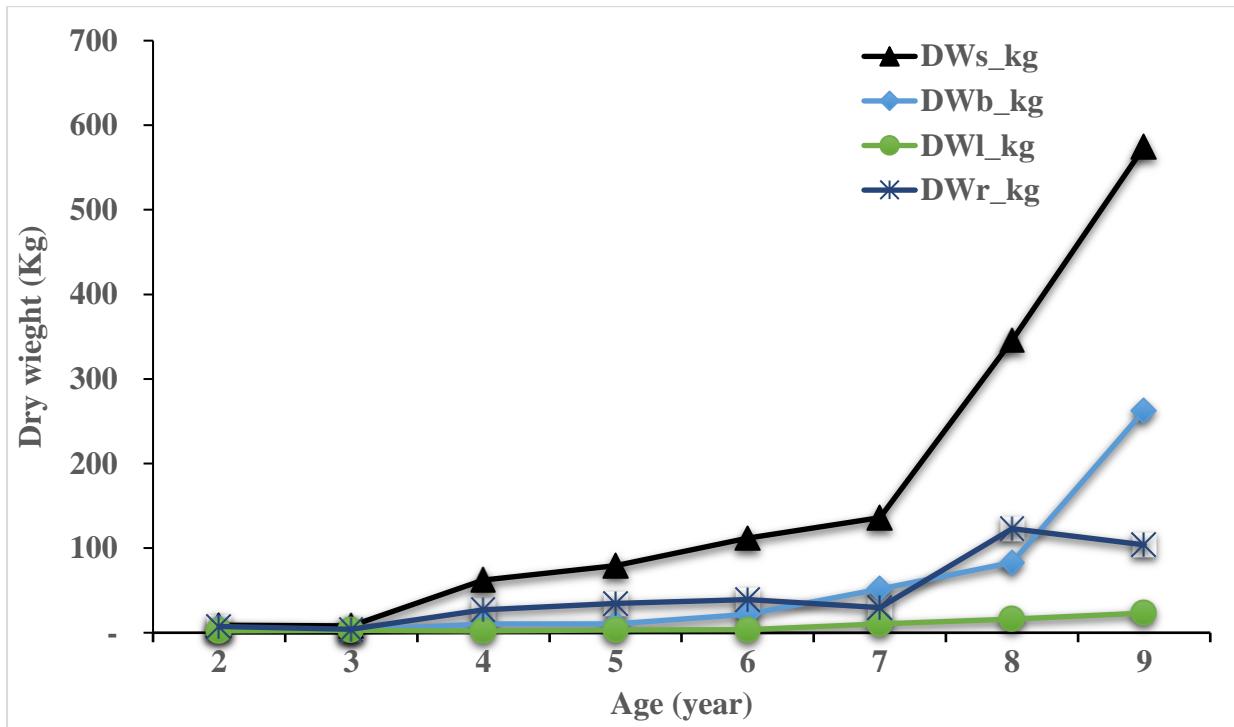
ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลมวลชีวภาพของไม้ยืนต้นในช่วงอายุ 2–9 ปี เป็นฐานสำคัญในการพัฒนาสมการแอลโลเมต릭 (Allometric Equation) สำหรับประเมินค่ารับอนซีมวลเหนื้อพื้นดินทั้งในระดับแปลงและระดับภูมิภาค โดยการสุมเก็บตัวอย่างต้น Silver Oak AVAONE (*Grevillea robusta*) และทำการตรวจวัดค่าความสูง (Ht), เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (DBH) รวมทั้งชั้นน้ำหนักแห้งในแต่ละส่วนของต้น ได้แก่ ลำต้น (Ws), กิ่ง (Wb), ใบ (WL) และราก (Wr) จากนั้นคำนวนมวลชีวภาพเหนื้อพื้นดิน (AGB)

ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นไม้ในช่วงอายุน้อย 2–3 ปี (SO02–SO03) มีความสูงเฉลี่ยเพียง 6.05–7.50 เมตร และ DBH อยู่ระหว่าง 6.65–7.16 เซนติเมตร เมื่ออายุเพิ่มขึ้น ความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะช่วงอายุ 4–5 ปี (SO04–SO05) ที่ความสูงเพิ่มเป็น 16.90–19.30 เมตร และ DBH ขยายเป็น 13.70–15.20 เซนติเมตร ในขณะที่ช่วงอายุ 8–9 ปี (SO08–SO09) ค่า DBH เพิ่มสูงสุดถึง 35.00–36.80 เซนติเมตร แต่ความสูงคงที่อยู่ประมาณ 19–20 เมตร แสดงให้เห็นว่าหลังอายุ 7 ปี ต้น Silver Oak AVAONE จะขยายเส้นรอบวงลำต้นมากกว่าการเพิ่มความสูง

ผลดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อการสะสมมวลชีวภาพ โดยลำต้น (Ws) ซึ่งเป็นส่วนที่มีน้ำหนักมากที่สุด เพิ่มจาก 8.83 กิโลกรัม (อายุ 2 ปี) เป็น 574.58 กิโลกรัม (อายุ 9 ปี) ส่วนกิ่ง (Wb) มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยเฉพาะในช่วง 6–9 ปี ที่เพิ่มจาก 51.80 กิโลกรัม เป็น 262.60 กิโลกรัม ขณะที่ใบ (WL) มีน้ำหนักไม่มากนัก และไม่เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง สะท้อนข้อจำกัดทางสรีรวิทยาและการผลัดใบของไม้ชนิดนี้ สำหรับราก (Wr) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยสูงสุดที่ 122.97 กิโลกรัมในอายุ 8 ปี และลดลงเล็กน้อยที่อายุ 9 ปี เหลือ 103.90 กิโลกรัม ซึ่งอาจสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงในการจัดสรรชีวมวลระหว่างส่วนเหนือดินและใต้ดิน

มวลชีวภาพเหนื้อพื้นดิน (AGB) มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามอายุ โดยจาก 17.49 กิโลกรัมในอายุ 2 ปี เพิ่มขึ้นเป็น 860.42 กิโลกรัมในอายุ 9 ปี และพบว่าช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นเด่นชัดที่สุดคือระหว่างอายุ 6–9 ปี ซึ่ง AGB เพิ่มขึ้นกว่า 4 เท่า จาก 198.22 กิโลกรัม เป็น 860.42 กิโลกรัม ผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงในรูปที่ 6 และรายละเอียดปรากฏในตาราง 3

ผลการศึกษานี้ยืนยันว่า Silver Oak AVAONE มีอัตราการสะสมมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยเฉพาะในช่วงเกิน 5 ปีขึ้นไป ซึ่งเป็นช่วงที่ DBH และลำต้นเจริญเติบโตอย่างชัดเจน ข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้สามารถนำไปใช้พัฒนา สมการแอลโลเมต릭 (Allometric Equation) ที่มีความแม่นยำสำหรับการประเมินค่ารับอนของไม้ Silver Oak AVAONE ในประเทศไทย อีกทั้งยังสะท้อนถึงศักยภาพของไม้ชนิดนี้ในการเป็นไม้เศรษฐกิจที่สำคัญและเป็นแหล่งศักยภาพในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ



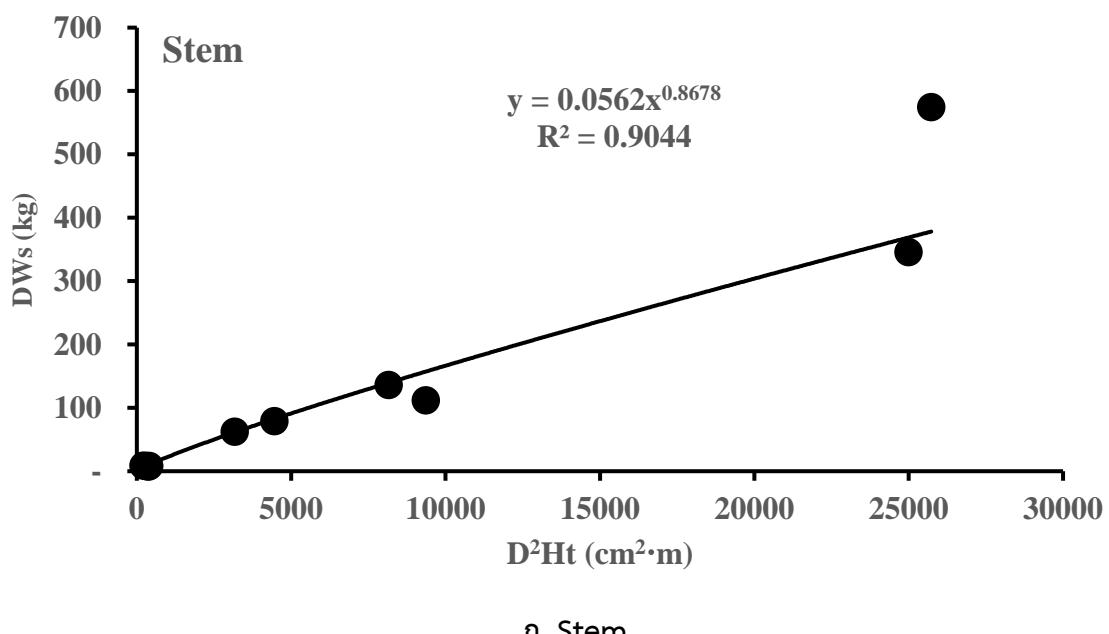
รูปที่ 6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอบแห้งของส่วนประกอบต่าง ๆ ของ *Silver Oak AVAONE* (DWs แทนน้ำหนักแห้งส่วนลำต้น DWb แทนน้ำหนักแห้งส่วนกิ่ง DWl แทนน้ำหนักแห้งส่วนใบ และ DWr แทนน้ำหนักแห้งส่วนราก หน่วยเป็นกิโลกรัม) ตามช่วงอายุ

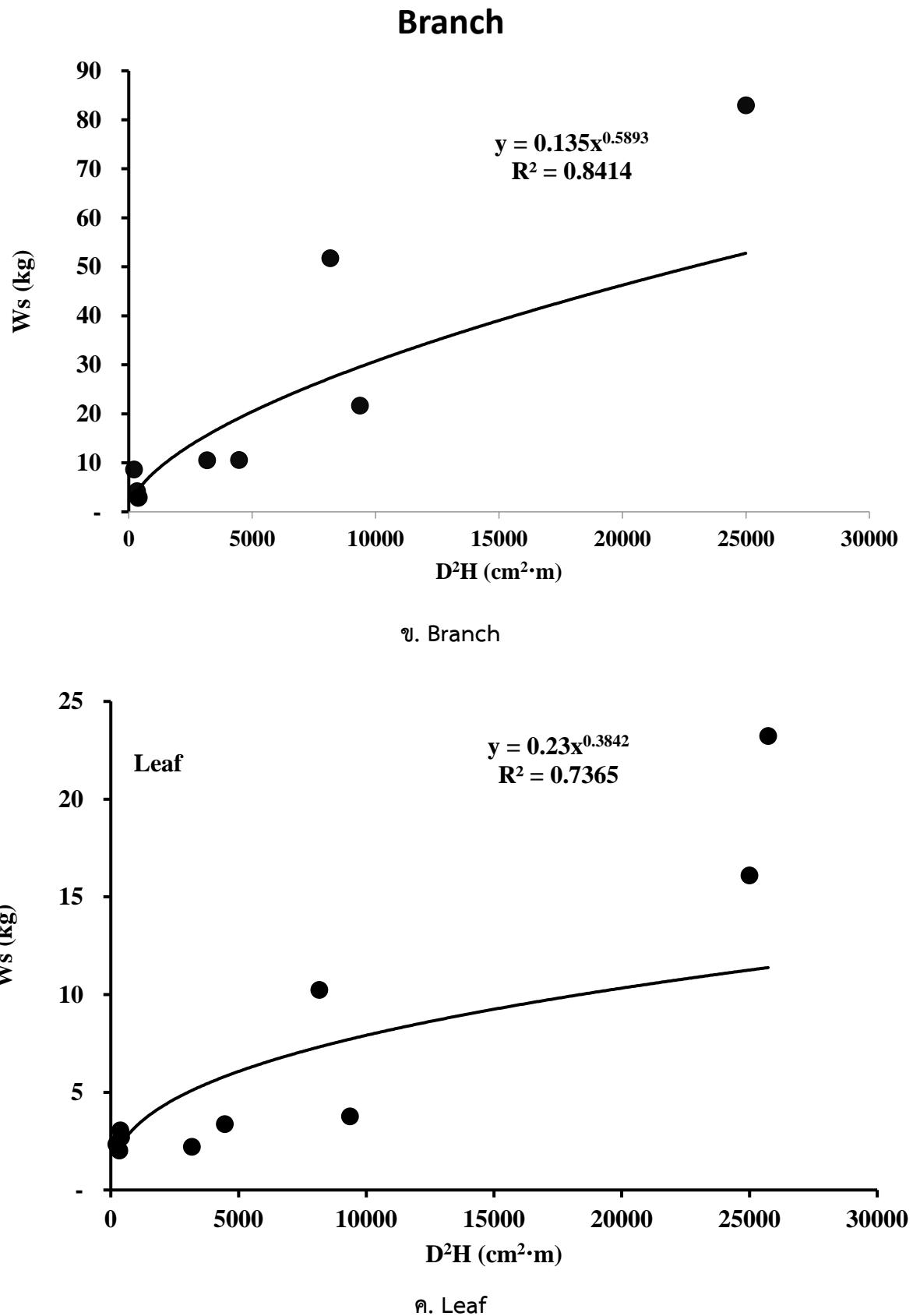
ตารางที่ 3 ข้อมูลตัวแปรอิสระ DBH^2Ht และค่ามวลชีวภาพในส่วน ลำต้น กิ่ง ใบ ราก และ มวลชีวภาพหนื่อย พื้นดินของต้น *Silver Oak AVAONE* ตัวอย่าง จากแปลงปลูกในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ของ AVA Farm888

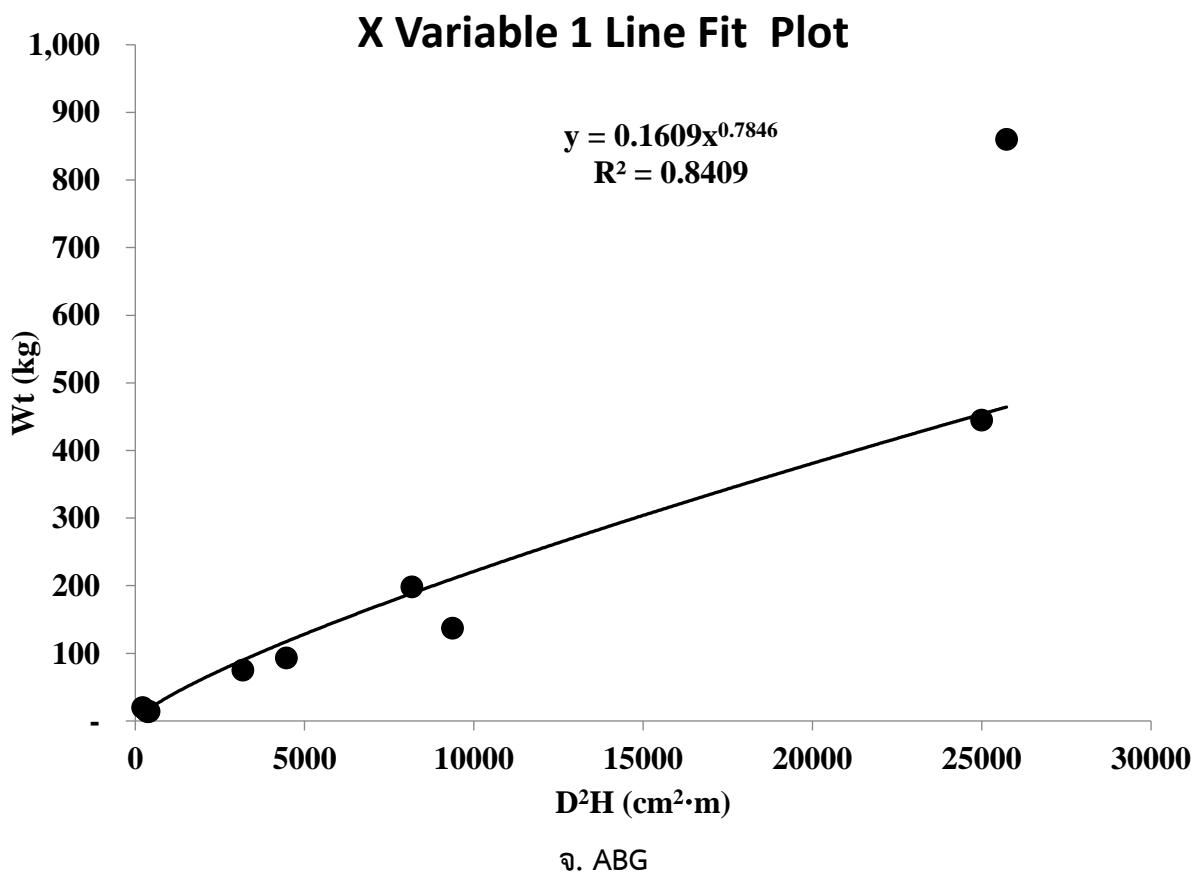
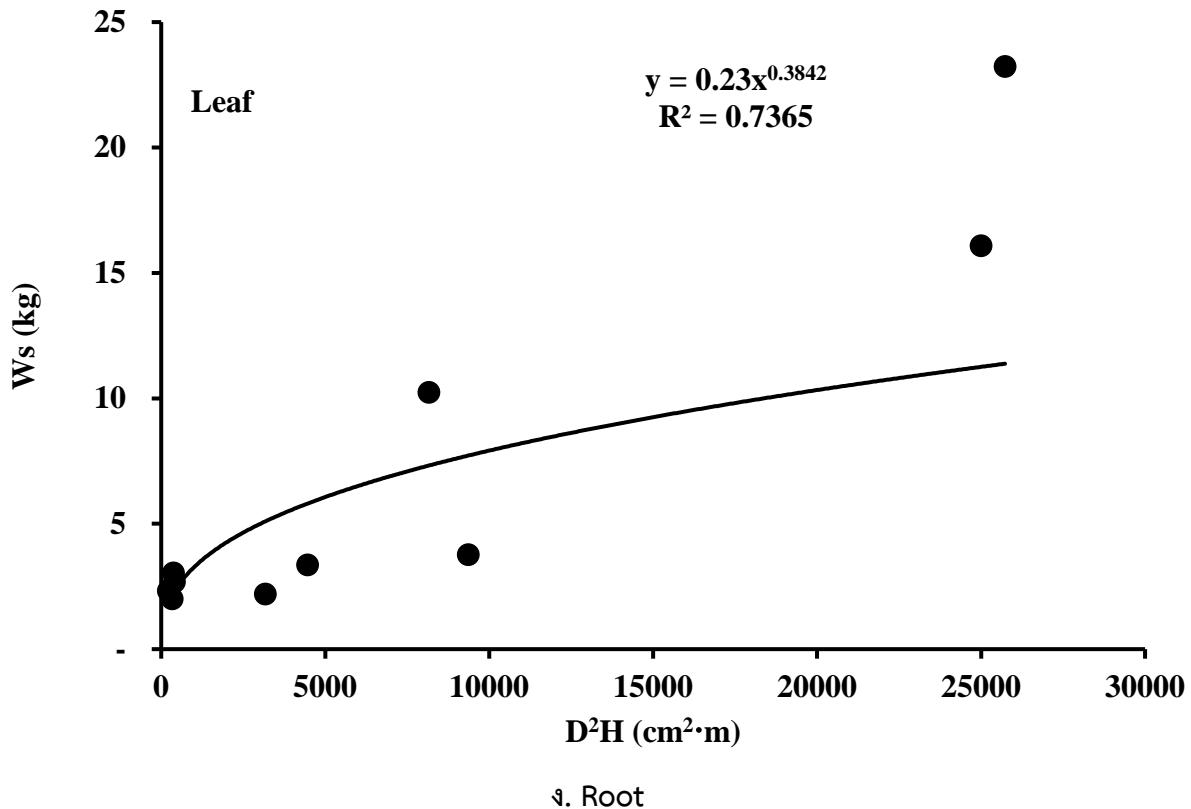
Tree ID	Age (year)	Ht (m)	DBH (cm)	DBH ² Ht	Dry weight (kg)				
					Stem	Branch	Leaf	Root	AGB
SO02	2	6.05	6.65	267.14	8.83	6.47	2.18	7.42	17.49
SO03	3	7.50	7.16	384.49	8.11	2.95	2.88	4.06	13.94
SO04	4	16.90	13.70	3,171.96	62.27	10.57	2.21	26.94	75.05
SO05	5	19.30	15.20	4,459.07	79.14	10.59	3.37	34.75	93.11
SO06	7	19.34	22.00	9,360.56	111.80	21.72	3.77	39.04	137.29
SO07	6	18.50	21.00	8,158.50	136.17	51.80	10.25	29.62	198.22
SO08	8	20.40	35.00	24,990.00	345.67	83.01	16.10	122.97	444.77
SO09	9	19.00	36.80	25,730.56	574.58	262.60	23.24	103.90	860.42

จากการแสดงให้เห็นว่า DBH^2Ht มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (AGB) อย่างชัดเจน โดยต้นที่มีค่า DBH^2Ht ต่ำ (เช่น SO02 และ SO03) มีค่า AGB เพียง 13–17 กิโลกรัม ขณะที่ต้นที่มีค่า DBH^2Ht สูง เช่น SO08 และ SO09 มีค่า AGB เพิ่มขึ้นเป็น 444.77 และ 860.42 กิโลกรัม ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นดังกล่าวสะท้อนถึงความก้าวกระโดดของการเจริญเติบโตเมื่อเข้าสู่ช่วงอายุ 7–9 ปี ซึ่งเป็นช่วงที่ลำต้นและกิ่งก้านสะสมมวลชีวภาพได้อย่างเด่นชัด ในด้านองค์ประกอบของมวลชีวภาพ ลำต้น (Stem biomass) เป็นส่วนที่มีสัดส่วนมากที่สุดในทุกช่วงอายุ แสดงถึงบทบาทหลักในการกักเก็บคาร์บอนและสร้างโครงสร้างทางกายภาพของต้นไม้ ขณะที่กิ่งและใบเริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้นเมื่ออายุของต้นเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในต้นที่มีเรือนยอดพัฒนาเต็มที่ เช่น SO07 และ SO09 ซึ่งมีน้ำหนักกิ่งสูงถึง 51.80 และ 262.60 กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ ระบบราชยังคงมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีสัดส่วนน้อยกว่าส่วนเหนือพื้นดิน แต่ก็มีความสำคัญต่อการพยุงต้นไม้และการดูดซับน้ำและธาตุอาหาร จากข้อมูลทั้งหมดนี้ สามารถสรุปได้ว่า ค่า DBH^2Ht เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติสูง และสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาสมการอลลومิตริก (Allometric equation) ของ Silver Oak AVAONE เพื่อนำไปใช้ในการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในแปลงปลูกเชิงเศรษฐกิจและเชิงอนุรักษ์ การสร้างสมการที่มีความแม่นยำ

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นเมื่อนำค่า DBH^2Ht มากำหนดเป็นค่าตัวแปรอิสระ D^2H และนำมาพัฒนาสมการ allometric equation ในรูปสมการเลขยกกำลัง $Y=aX^b$ โดย Y แทนค่ามวลชีวภาพของแต่ละส่วนของ Silver Oak AVAONE X แทนค่าตัวแปรอิสระ D^2H จากตารางที่ 3 a และ b เป็นค่าคงที่ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพ และค่าตัวแปรอิสระโดยในการพัฒนาสมการจะได้ค่าระดับความเชื่อมั่นของความสัมพันธ์ (R^2) ของแต่ละสมการสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพ (kg) กับตัวแปรอิสระ (D^2H) ได้ดังรูปที่ 7 (ก-ง) และสรุปสมการดังตารางที่ 4







รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพ กับค่าตัวแปรอิสระ (D^2H)

ตารางที่ 4 สมการ allometric equation และค่า R^2 ของสมการในแต่ละส่วนของต้น Silver Oak AVAONE จากแปลงปลูกในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ของ AVA Farm888

Tree part	Allometric Equation	R^2
Stem	$Ws = 0.0562(D^2H)^{0.8678}$	0.9044
Branch	$Wb = 0.1350(D^2H)^{0.5893}$	0.8414
Leaf	$Wl = 0.2300(D^2H)^{0.3842}$	0.7365
Root	$Wr = 0.1333(D^2H)^{0.6451}$	0.9372
AGB	$Wt = 0.1609(D^2H)^{0.7846}$	0.8409

เมื่อ Ws Wb Wl และ Wr แทนมวลชีวภาพของส่วน ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ตามลำดับ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) D แทน ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางความสูงเพียงอก มีหน่วยเป็น เซติเมตร (cm) และ H แทน ค่าความสูงทั้งต้น มีหน่วยเป็น เมตร (m)

4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE

การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนธาตุคาร์บอน (C) ในมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE (*Grevillea robusta* A.Cunn. ex R.Br.) ดำเนินการโดยใช้ วิธี LECO (LECO method) ผ่านเครื่อง CHN Elemental Analyzer รุ่น CHN628 ในห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ การวิเคราะห์นี้ครอบคลุมส่วนประกอบหลักของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ผลการวิเคราะห์พบว่า ส่วนของลำต้น มีค่าสัดส่วนคาร์บอนในเนื้อไม้ระหว่าง 46.324–48.704% โดยมีค่าเฉลี่ย 48.063% ขณะที่ ส่วนของกิ่ง อยู่ในช่วง 45.561–45.992% เฉลี่ย 45.781% สำหรับ ส่วนของใบ อยู่ในช่วง 45.561–48.516% ค่าเฉลี่ย 47.678% และ ส่วนของราก อยู่ระหว่าง 46.015–48.428% เฉลี่ย 47.019% (ตารางที่ 5) โดยรวมแล้วค่าสัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพของทุกส่วนของ Silver Oak AVAONE อยู่ในช่วง 45.561–48.704% ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ IPCC (2006) แนะนำ คือ 47% จากการวิเคราะห์ยังพบว่า ค่าสัดส่วนคาร์บอนจะมีค่าสูงในส่วนของ ลำต้น ราก และใบ แต่จะน้อยในส่วนของกิ่ง นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นไม้ในทุกส่วนของมวลชีวภาพ ทั้งนี้ ต้นตัวอย่างที่นำมาศึกษาอยู่มีอายุค่อนข้างน้อย จึงอาจทำให้ค่าสัดส่วนคาร์บอนที่วัดได้ต่ำกว่าค่าที่แท้จริง และมีค่าเริ่มคงที่เมื่อต้นไม้มีอายุมากกว่า 5 ปี เมื่อ Silver Oak AVAONE มีการเจริญเติบโตมากขึ้น คาดว่าการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพ จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเข้าสู่ระดับที่คงที่ในช่วงอายุมากขึ้น ดังนั้น ผลการศึกษาครั้งนี้สะท้อนถึงศักยภาพการสะสมคาร์บอนของ Silver Oak AVAONE ได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ บ่งชี้ว่า สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE ความสอดคล้องใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 47% ตามที่ IPCC (2006) กำหนด ในการคำนวณและประเมินคาร์บอนในงานวิจัยนี้

4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE

การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนธาตุคาร์บอน (C) ในมวลชีวภาพของ Silver Oak AVAONE ดำเนินการด้วยวิธี LECO โดยใช้เครื่อง CHN Elemental Analyzer รุ่น CHN628 ภายใต้ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ มีการควบคุมคุณภาพอย่างเป็นระบบ ได้แก่ การใช้วัสดุมาตรฐานอ้างอิง การวิเคราะห์ซ้ำเฉพาะตัวอย่างบางส่วน และการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมืออย่างสม่ำเสมอ ก่อนนำผลไปสรุปเป็นสถิติรายส่วนของต้นไม้ (ลำต้น กิ่ง ใบ และราก) ตามตารางที่ 5

ผลการทดสอบพบว่า ลำต้น มีค่าสัดส่วนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 46.324–48.704% (เฉลี่ย 48.063%), กิ่ง อยู่ระหว่าง 45.561–45.992% (เฉลี่ย 45.781%), ใบ อยู่ระหว่าง 45.561–48.516% (เฉลี่ย 47.678%), และราก อยู่ระหว่าง 46.015–48.428% (เฉลี่ย 47.019%). เมื่อนำมาพิจารณารวมกัน ค่าโดยรวมของทุกส่วนอยู่ในช่วง 45.561–48.704% ซึ่งใกล้เคียงค่ามาตรฐาน 47% ที่ IPCC (2006) แนะนำ สะท้อนความสอดคล้องของข้อมูลภาคสนามและห้องปฏิบัติการกับมาตรฐานสากล และยืนยันความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูลสำหรับการคำนวณคาร์บอนในงานวิจัยนี้

เชิงชีววิทยา พบนวนไม้ที่ ลำต้น ราก และใบ มีค่าสัดส่วนคาร์บอนเฉลี่ยสูงกว่า กิ่ง ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนลิกนินและความหนาแน่นเนื้อไม้ที่สูงกว่าในเนื้อไม้ส่วนแกน ขณะที่กิ่งมีสัดส่วนเนื้อเยื่ออ่อนและเปลือกมากกว่า จึงมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า (เฉลี่ย 45.781%). นอกจากนี้ ยังเห็นแนวโน้ม เพิ่มขึ้นตามอายุ ในทุกองค์ประกอบ อันเป็นผลจากการสะสมโครงสร้างเนื้อไม้เมื่ออายุเพิ่ม อย่างไรก็ได้ เนื่องจากต้นตัวอย่างส่วนหนึ่งยังมีอายุค่อนข้างน้อย ค่าที่วัดได้อาจ ต่ำกว่าค่าที่แท้จริงเล็กน้อยในระยะต้น และมีแนวโน้ม คงที่มากขึ้นหลังอายุเกิน 5 ปี ตามกระบวนการสกุกของเนื้อไม้

ในเชิงประยุกต์ ผลวิเคราะห์นี้สนับสนุนอย่างชัดเจนให้ใช้ ค่าแปลงสัดส่วนคาร์บอน (carbon fraction) = 0.47 สำหรับ Silver Oak AVAONE ในพื้นที่ศึกษา หากเลือกใช้ค่าทั่วไปที่สูงกว่า (เช่น 0.50) จะเสียต่อ การประเมินคาร์บอนสูงเกินจริงราว ~6–7% เมื่อเทียบกับฐาน 0.47 ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของบัญชีคาร์บอนทั้งในระดับแปลงและระดับโครงการ ทั้งนี้ หากมีข้อมูลน้ำหนักแห้งรายส่วน (Ws, Wb, WL, WR) การคำนวณคาร์บอนแบบถ่วงน้ำหนักตามค่าเฉลี่ยรายส่วนจะช่วยลดความไม่แน่นอนเพิ่มเติมได้ โดยคำนวณเป็น $C_{total} = 0.48063 \cdot Ws + 0.45781 \cdot Wb + 0.47678 \cdot WL + 0.47019 \cdot WR$ ซึ่งใช้ค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดจริง 48.063%, 45.781%, 47.678%, และ 47.019% ตามลำดับ

กล่าวโดยสรุป ค่าสัดส่วนคาร์บอนของลำต้น (46.324–48.704%, เฉลี่ย 48.063%), กิ่ง (45.561–45.992%, เฉลี่ย 45.781%), ใบ (45.561–48.516%, เฉลี่ย 47.678%) และราก (46.015–48.428%, เฉลี่ย 47.019%) ซึ่งรวมอยู่ในช่วง 45.561–48.704% ยืนยันศักยภาพของ Silver Oak AVAONE ในการกักเก็บคาร์บอน และเป็นฐานข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณคาร์บอนในงานวิจัยนี้ รวมถึงการประเมินคาร์บอนในระดับโครงการที่ต้องอาศัยกระบวนการ MRV (Measurement, Reporting, Verification) ภายใต้มาตรฐาน T-VER, VERRA และ Gold Standard ให้มีความโปร่งใส ตรวจสอบได้ และสอดคล้องกับมาตรฐานสากล

ตารางที่ 5 ค่าสัดส่วนองค์ประกอบธาตุ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และ ไนโตรเจน (N) ในมวลชีวภาพ
วิเคราะห์โดยวิธี LECO method ด้วยเครื่อง CHN Elemental Analyzer model CHN628

Part of tree	Sample ID	Carbon %	Hydrogen %	Nitrogen %
Stem	S04_S	46.973	7.16	0.06
	S05_S	47.732	7.287	0.156
	S06_S	48.704	7.37	0.053
	S08_S	48.582	7.323	0.058
	S09_S	48.324	7.399	0.039
Average		48.063	7.308	0.073
Branch	S04_B	45.561	7.134	0.34
	S05_B	45.714	7.103	0.554
	S06_B	45.992	7.197	0.463
	S08_B	45.711	7.116	0.36
	S09_B	45.928	7.193	0.313
Average		45.781	7.149	0.406
Leaf	S04_L	45.561	7.298	1.321
	S05_L	48.51	7.28	1.273
	S06_L	47.758	7.189	1.44
	S08_L	48.047	7.366	1.257
	S09_L	48.516	7.308	1.02
Average		47.678	7.288	1.262
Root	S094R	46.490	7.350	0.053
	S05_R	46.015	7.245	0.192
	S06_R	47.193	7.247	0.21
	S08_R	46.968	7.273	0.179
	S09_R	48.428	7.375	0.106
Average		47.019	7.298	0.148
Average all parts		47.135	7.261	0.472

5. การอภิปรายผล

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการพัฒนาสมการแอลโลเมตทริก (allometric equation) ใหม่สำหรับการประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนของไม้ Silver Oak AVAONE ที่ปลูกในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลภาคสนามจริงจากพื้นที่แปลงปลูกของ AVA Farm 888 จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศเฉพาะตัว การสร้างสมการเฉพาะพื้นที่เช่นนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสมการที่พัฒนาขึ้นจากไม้หรือพื้นที่ที่แตกต่างกันมากไม่สามารถนำมาใช้โดยตรงได้ และอาจก่อให้เกิดความ

คลาดเคลื่อนในการประเมิน ดังนั้น สมการใหม่ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จึงช่วยเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการคำนวณศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในไม้เศรษฐกิจของประเทศไทย

สมการใหม่นี้มีข้อได้เปรียบทลายประการ เริ่มจากการเก็บข้อมูลที่ครอบคลุมตั้งแต่ 8 ช่วงอายุ (2–9 ปี) ทำให้สมการสามารถอธิบายความสัมพันธ์การเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะเริ่มต้นจนถึงระยะวัยกลางได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ ผลการวิเคราะห์พบว่าการใช้ตัวแปรผสม $DBH^2 \times H$ (D^2H) เป็นตัวแปรอิสระสามารถสะท้อนการเจริญเติบโตและการสะสมชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสมการแต่ละส่วนของต้นมีค่า R^2 สูงโดยเฉพาะในส่วนราก (0.94) และลำต้น (0.90) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแข็งแกร่งและความน่าเชื่อถือของการทำนาย เมื่อพิจารณาเชิงชีววิทยาพบว่าสมการยังสามารถอธิบายพลวัตของการจัดสรรชีวมวลในแต่ละส่วนของต้นไม้ได้สอดคล้องกับการเจริญเติบโตตามช่วงอายุ

แม้ว่า Silver Oak AVAONE (*Grevillea robusta*) จะเป็นไม้เศรษฐกิจที่มีความทนทานสูงและเจริญเติบโตได้รวดเร็ว แต่การสะสมมวลชีวภาพ (Biomass Accumulation) ที่ปรากฏในรายงานฉบับนี้อาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยความเครียดทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Stress) ที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะในช่วงเอล Niño (El Niño) ซึ่งมักเกิดภาวะฝนทึ่งช่วงและอุณหภูมิสูงกว่าค่าเฉลี่ย ส่งผลให้ต้นไม้เกิดภาวะขาดน้ำ (Water Stress) อย่างรุนแรง ภาวะขาดน้ำดังกล่าวทำให้การเปิดป่ากใบลดลง ส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและการสร้างเนื้อเยื่อชีวมวล นอกจากนี้ยังจำกัดการดูดซึมธาตุอาหารจากราก ทำให้การขยายเส้นรอบวงและความสูงของต้นลดลง ส่งผลให้ปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนที่กักเก็บได้จริง (Actual Carbon Stock) ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการแอลโลเมตريค (Allometric Equation) ที่พัฒนาภายใต้สภาวะปกติ ในทางตรงกันข้าม ช่วงลานีญา (La Niña) ซึ่งมีฝนตกมากกว่าค่าเฉลี่ย อาจทำให้ดินอิมน้ำและมีการระบายน้ำไม่เพียงพอ ส่งผลให้ระบบ根ขาดออกซิเจน (Root Hypoxia) กระบวนการหายใจของรากและการดูดซึมธาตุอาหารถูกยับยั้ง นอกจากนี้ฝนที่ตกหนักและต่อเนื่องยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil Erosion) และการสูญเสียอินทรีย์วัตถุ ซึ่งลดความสามารถของดินในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในระยะยาว ส่งผลให้ศักยภาพการสะสมชีวมวลและการกักเก็บคาร์บอนของป่าลดลงโดยรวม

เพื่อให้การจัดการสวนป่า Silver Oak AVAONE สามารถรองรับความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงควรพิจารณาแนวทางการบริหารจัดการเชิงปรับตัว (Adaptive Forest Management) ที่สอดคล้องกับฤดูกาลและลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ปลูก อาทิ การวางแผนให้น้ำและระบายน้ำอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันทั้งภาวะขาดน้ำและน้ำท่วมขัง การคลุมดิน (Mulching) และการปักลูกพืชคลุมดิน (Cover Crops) เพื่อช่วยลดการระเหยน้ำและการพังทลายของดิน การเสริมธาตุอาหารและเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินเพื่อคงความอุดมสมบูรณ์ในระยะยาว รวมถึงการคัดเลือกพื้นที่ปลูกที่มีการระบายน้ำดีและมีความลาดชันเหมาะสม แนวทางดังกล่าวไม่เพียงช่วยคงเสถียรภาพของการเจริญเติบโตและศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของไม้ Silver Oak AVAONE ให้มีประสิทธิภาพต่อเนื่อง แต่ยังส่งเสริมความยืดหยุ่นของระบบ呢เวศต่อความแปรปรวนของภูมิอากาศ (Climate Resilience) อันเป็นปัจจัยสำคัญต่อการจัดการสวนป่าเชิง

เศรษฐกิจและการพัฒนาโครงการcarbonเครดิตอย่างยั่งยืนในอนาคต

อีกทั้งการวิเคราะห์องค์ประกอบฐานของชีวมวลยังพบว่าค่าสัดส่วน carbonอยู่ในช่วง 45.78–48.06% ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ IPCC (2006) กำหนดไว้ว่าที่ 47% ความสอดคล้องดังกล่าวสะท้อนว่า สมการที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประเมิน carbon ในระดับประเทศและระดับนานาชาติได้อย่างถูกต้องและเป็นไปตามมาตรฐานสากล การมีข้อมูลที่ยืนยันจากการวิเคราะห์ที่ในห้องปฏิบัติการยังเพิ่มความโปร่งใสและตรวจสอบได้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อระบบการตรวจวัด รายงาน และทวนสอบ (MRV) สำหรับโครงการcarbonเครดิต

สมการใหม่นี้ช่วยลดความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่เกิดจากการใช้สมการซึ่งพัฒนามาจากต่างประเทศที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน การมีสมการที่พัฒนาเฉพาะพื้นที่จึงช่วยเพิ่มความมั่นใจให้กับนักวิจัย หน่วยงานกำกับดูแล และผู้ตรวจสอบมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ นอกจากนี้ สมการดังกล่าวยังสามารถประยุกต์ใช้ในระบบตลาดcarbon เช่น T-VER, VERRA และ Gold Standard ช่วยให้โครงการสามารถเข้าสู่กระบวนการซื้อขายcarbonได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในเชิงเศรษฐกิจและการจัดการ สมการใหม่นี้ยังช่วยเพิ่มความมั่นใจแก่ผู้ลงทุนและผู้ปลูกไม้เศรษฐกิจ เพราะสามารถประเมินรายได้จากการcarbonเครดิตได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังให้ข้อมูลสำคัญต่อการกำหนดรอบตัดฟันที่เหมาะสม โดยจากการศึกษาพบว่าช่วงอายุ 6–9 ปีเป็นช่วงที่มีการสะสมชีวมวลและการcarbonเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด โดยเฉพาะในส่วนลำต้นและกิ่ง ข้อมูลเช่นนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวางแผนเชิงเศรษฐกิจของแปลงป่าคงคลุมคู่ไปกับการเพิ่มศักยภาพการกักเก็บcarbonในระยะยาว

สมการที่พัฒนาขึ้นนี้ยังถือเป็นองค์ความรู้ต้นแบบที่สามารถนำไปต่อยอดในการสร้างสมการและโลเมตريكของไม้เศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ ในประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีสภาพภูมิอากาศและรูปแบบการปลูกใกล้เคียงกัน การต่อยอดเช่นนี้จะช่วยให้เกิดฐานข้อมูลcarbonที่มีมาตรฐานในระดับภูมิภาคและสามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลระดับชาติ (National Carbon Registry) ได้ในอนาคต ความสำเร็จในการพัฒนาสมการครั้งนี้จึงไม่เพียงเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้านนิเวศวิทยาป่าไม้และการประเมินcarbon แต่ยังมีบทบาทเชิงนโยบายที่ช่วยสนับสนุนการบรรลุเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกและการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางcarbon (Net Zero) ของประเทศไทยในระยะยาว

6. สรุป

งานวิจัยนี้พัฒนาวิธีประเมินมวลชีวภาพและการcarbonของ Silver Oak AVAONE ที่ปลูกในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลภาคสนามจากแปลง AVA Farm 888 ครอบคลุมตัวอย่าง 8 ช่วงอายุ (2–9 ปี) ดำเนินการแบบทำลายตัวอย่าง แยกชั้นน้ำหนักแห้งเป็นลำต้น–กิ่ง–ใบ–ราก และประมาณร่วมกับตัวแปรโครงสร้างของต้น (DBH และความสูงรวมในรูปด้านนี้เดียว) เพื่อให้ได้แบบประเมินที่เหมาะสมกับบริบทประเทศไทยมากกว่าการอ้างสมการจากต่างประเทศ

ผลเชิงการเดบติชี้ว่า วัยต้น 2–3 ปี มี ความสูง 6.05–7.50 ม. และ DBH 6.65–7.16 ซม. ต่อเนื่องถึงช่วง 4–5 ปี สูงเพิ่มเร็วเป็น 16.90–19.30 ม. และ DBH 13.70–15.20 ซม. เมื่ออายุ 8–9 ปี ความสูงทรงตัว

ราว 19–20 ม. แต่ DBH ขยายต่อเนื่องถึง 35.00–36.80 ซม. สะท้อนการเปลี่ยนจากการยึดตัวไปสู่การเพิ่มขนาดลำต้น ส่งผลให้มวลชีวภาพเห็นอ dein (AGB) เพิ่มจาก 17.49 กก. (อายุ 2 ปี) เป็น 860.42 กก. (อายุ 9 ปี) โดยช่วงเร่งเด่นคือ อายุ 6–9 ปี (จาก 198.22 เป็น 860.42 กก. มากกว่า 4 เท่า) รายส่วนสอดคล้องกัน: ลำต้นเพิ่มจาก 8.83 เป็น 574.58 กก.; กิ่ง เด่นช่วงปลายอายุ (51.80–262.60 กก. ที่ 6–9 ปี); ราก สูงสุดที่ 122.97 กก. (อายุ 8 ปี) ก่อนลดเล็กน้อยเป็น 103.90 กก. (อายุ 9 ปี) ขณะที่ ใบ มีน้ำหนักต่ำและไม่เพิ่มต่อเนื่อง

ประสิทธิภาพของแบบประเมินอยู่ในระดับสูง (ค่าความสอดคล้อง R^2 ของรายส่วนรวม 0.7365–0.9372 และของ AGB = 0.8409) สอดคล้องกับแนวโน้มภาคสนาม ด้านองค์ประกอบคาร์บอน การทดสอบ LECO/CHN628 (ห้องแล็บ ISO/IEC 17025) ระบุช่วงสัดส่วนคาร์บอนรวม 45.561–48.704% โดยค่าเฉลี่ยรายส่วนคือ ลำต้น 48.063%, กิ่ง 45.781%, ใบ 47.678%, ราก 47.019% สอดคล้องกับค่าอ้างอิง 47% (IPCC, 2006) เหมาะสมต่อการใช้ค่าแปลงสัดส่วนคาร์บอน 0.47 ในการคำนวณ และรองรับกระบวนการ MRV ได้อย่างโปร่งใสและตรวจสอบได้

โดยสรุป การมีแบบประเมินเฉพาะพื้นที่สำหรับ Silver Oak AVAONE ช่วยลดความไม่แน่นอน จากการใช้สมการต่างประเทศ เพิ่มความน่าเชื่อถือ ของการประเมินตามมาตรฐาน T-VER, VERRA, Gold Standard และมี ศักยภาพต่อยอดสูญเสียของคาร์บอนเครดิต ได้จริง เนื่องจากไม่มีชนิดนี้ เติบโตเร็ว และมี ความสามารถดูดซับ/กักเก็บคาร์บอนสูง ช่วยสนับสนุนการจัดการสวนป่าเชิงเศรษฐกิจและการขับเคลื่อนประเทศไทยสู่ Net Zero อย่างเป็นรูปธรรม

เอกสารอ้างอิง

- ชิงชัย วิริยะบุญชาม. (2020). คู่มือการศึกษาแหล่งสะสมคาร์บอนในพื้นที่ป่าธรรมชาติ. สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช, กลุ่มงานวิจัยระบบวนวิเศษป่าไม้และสิ่งแวดล้อม. [ภาษาไทย]
- Laosuwan, T., Uttaruk, Y., Sangpradid, S., Butthep, C., & Leammanee, S. (2023). *The carbon sequestration potential of Silky Oak (Grevillea robusta A. Cunn. ex R. Br.), a high-value economic wood in Thailand. Forests*, 14(9), 1824.
<https://doi.org/10.3390/f14091824>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.). IGES.