

การแนะนำและการพัฒนาเซนเซอร์วัดการคายน้ำของพืชยืนต้น Introduction and Development of Sap Flow Probe for Transpiration Measurement of Perennial Trees

เจษฎา โสภารัตน์^{1*} จตุรงค์ จันทร์สีทิศ² อุษณีย์ พิชกรกรม³ นิลุบล นวลจันทร์คง⁴ และ วิจิตรา เชื้อพราหมณ์¹
Jessada Sopharat^{1*}, Charturong Chanseetis², Aussanee Pichakum³, Nilubol Nuanjungkong⁴
and Wichittra Chueapram¹

บทคัดย่อ

หัววัดอัตราการไหลของน้ำในท่อลำเลียงน้ำของพืช (xylem sap flow probe) เป็นเครื่องมือที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับศึกษาการคายน้ำของพืชยืนต้น โดยเฉพาะพืชในเขตอบอุ่น แต่การศึกษากับพืชเขตร้อนยังคงค่อนข้างจำกัด เพื่อที่จะพัฒนาเทคนิคความรู้ด้าน sap flow สำหรับพืชเมืองร้อน การศึกษานี้จึงทำการพัฒนาหัวเซนเซอร์ sap flow ชนิดนำพาความร้อน เพื่อทดสอบการใช้งาน โดยพัฒนาเซนเซอร์ชนิด 2 หัว หรือแบบมาตรฐาน ทดสอบการบันทึกข้อมูลกับต้นลำไย และพัฒนาเซนเซอร์ชนิด 1 หัว ตรวจสอบความแม่นยำกับไม้ผล 4 ชนิด ได้แก่ พุริณ มะม่วง ลองกอง และมังคุด พบว่า เซนเซอร์ชนิด 2 หัวที่จ่ายไฟกระแสตรงแบบคงที่ ให้ค่าข้อมูลการคายน้ำได้ตรงตามทฤษฎี ส่วนเซนเซอร์ชนิด 1 หัว ที่จ่ายไฟกระแสตรงโดยสลับการ ปิด-เปิด การให้ความร้อน ให้ค่าความแม่นยำแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) ได้เท่ากับ 0.92, 0.82, 0.79 และ 0.21 ตามลำดับ ผลการทดสอบชี้ว่าเซนเซอร์ sap flow ชนิดนำพาความร้อนที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถใช้ในการศึกษาการคายน้ำไม้ผลเมืองร้อนได้ อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปสำหรับการประยุกต์ใช้งานในอนาคต

คำสำคัญ: เซนเซอร์วัดการคายน้ำ, การนำพาความร้อน, ไม้ผลเมืองร้อน

Abstract

Xylem sap flow probe has been widely used to investigate plant transpiration, particularly of temperate trees. However, such investigation is lacking in many tropical species. To extend the application and mitigate such problem, the dual and single thermal dissipation probes had been developed. The dual probes were installed and tested with longan tree (*Dimocarpus longan* Lour.). The single probe was calibrated with four tropical fruit species; durian (*Durio zibethinus* L.), mango (*Mangifera indica* L.), longkong (*Lansium domesticum* Corr.) and mangosteen (*Garcinia mangostana* L.). The results showed that the dual probes supplied with constant power were able to record daily transpiration in agreement with the theory. The single probe supplied with transient power provided measurements with high precision as indicated by the coefficient of determination values in durian, mango, and longkong ($R^2= 0.92, 0.82$ and 0.79 , respectively) and low correlation in mangosteen ($R^2=0.21$). The results confirm that the homemade sap flow sensors are able to monitor water use of selected tropical fruit trees. However, more research in applications is further required.

Keywords: sap flow, thermal dissipation probe, tropical fruit tree

คำนำ

เซนเซอร์ sap flow เป็นเครื่องมือ สำหรับประเมินปริมาณการคายน้ำหรือการใช้น้ำของพืช ข้อมูลที่ได้บ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่พืชดูดจากดิน ลำเลียงผ่านท่อน้ำของรากและลำต้น (xylem) และคายออกสู่บรรยากาศทางปากใบ ข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญต่อการวิจัยด้านเกษตร ทั้งในพืชสวน และพืชไร่ และสามารถประยุกต์ใช้กับการบริหารจัดการด้านชลประทานใน

¹ ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

¹ Earth Science Department, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand

² สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี 71150

² Division of Agricultural Science, Mahidol University, Kanchanaburi, 71150 Thailand

³ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

³ Department of Plant Science, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400 Thailand

⁴ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

⁴ Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000 Thailand

* Corresponding author: jessadaso@gmail.com

ระดับแปลงปลูกพืช ในต่างประเทศมีการใช้ sap flow กำหนดการให้น้ำแก่พืชบางชนิด เช่น องุ่น (McClymont *et al.*, 2009) แอปเปิล (Fernández *et al.*, 2008) และมะกอก (Tognetti *et al.*, 2004) เพื่อเพิ่มทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ในหลายกรณีศึกษาใช้คาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำของป่าไม้ในระดับลุ่มน้ำ และปริมาณการใช้น้ำของสวนป่าเชิงอุตสาหกรรม อาทิ ยูคาลิปตัส (Yin *et al.*, 2004; Benyon, 1999; Dye and Olbrich, 1993) และไม้สน (Martin, 1999)

การวัดการคายน้ำของพืชด้วยเซนเซอร์ฮีตดิSSIPATION จำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่ 1. สมดุลความร้อน (Heat Balance) (Sakuratani, 1981, 1984) 2. การนำพาความร้อน (Thermal Dissipation) (Granier, 1987) และ 3. แบบพัลส์ความร้อน (Heat Pulse Velocity) (Green *et al.*, 2003) หลักการโดยรวมของทั้ง 3 ประเภท คือ การวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความร้อนของเซนเซอร์ ซึ่งสัมพันธ์กับการลำเลียงน้ำผ่านทางท่อ xylem หรืออัตราการคายน้ำของต้นพืช ข้อจำกัดสำหรับการใช้ sap flow ในประเทศไทย ประกอบด้วยสองประการหลัก คือ องค์กรวิจัยยังไม่แพร่หลาย และต้นทุนการใช้งานยังค่อนข้างสูง ทำให้การใช้งาน sap flow โดยนักวิจัยชาวไทย และเกษตรกรภายในประเทศยังค่อนข้างจำกัด ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเซนเซอร์ sap flow ชนิด Thermal Dissipation และแนะนำการใช้งาน sap flow ให้เป็นที่รู้จัก รวมทั้งทดสอบการใช้งานกับพืชที่เป็นไม้ผลเมืองร้อน ได้แก่ ทุเรียน มะม่วง ลองกอง และมังคุด เพื่อให้ได้วิธีการประเมินความต้องการน้ำของไม้ผลและไม้ยืนต้นที่แม่นยำ

อุปกรณ์และวิธีการ

การพัฒนาเซนเซอร์

การประดิษฐ์หัวเซนเซอร์ sap flow ชนิด Thermal Dissipation ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ Thermocouple Type-T เป็นเซนเซอร์วัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดย sap flow ชนิดนี้ประกอบด้วยเซนเซอร์ 2 หัว ติดตั้งโดยการปักในส่วนของเนื้อไม้ที่เป็นท่อน้ำ (sapwood) ในแนวรัศมีของลำต้น ความลึก 20 มิลลิเมตร ตัวบนถูกจ่ายกระแสไฟให้เกิดความร้อน ตัวล่างวัดอุณหภูมิอ้างอิง (Figure 1) เมื่อมีน้ำไหลผ่านเซนเซอร์ตัวบนจะทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเซนเซอร์ตัวบนและตัวล่าง (ΔT) เปลี่ยนไป สัมพันธ์กับอัตราการไหลที่น้ำไหลผ่านลำต้น และอัตราการคายน้ำ ของพืช ในสภาวะที่ไม่มีการคายน้ำ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิตัวบนและตัวล่างจะสูงที่สุด (Lu *et al.*, 2004; Granier, 1987)

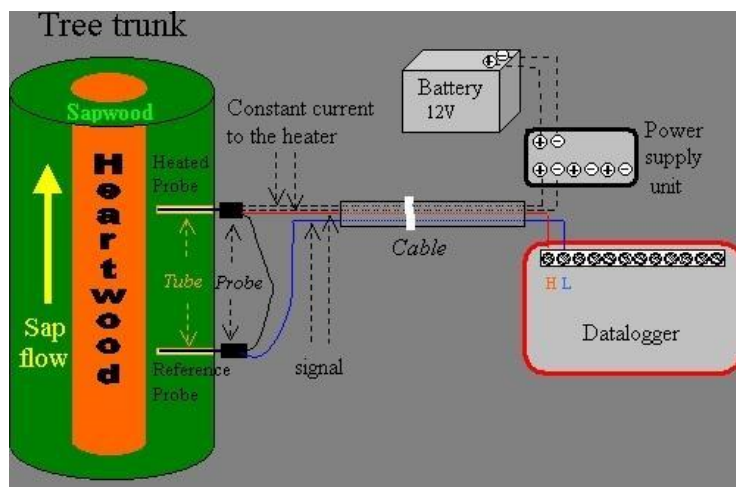


Figure 1 The configuration of sap flow probe; thermal dissipation sensor.

Source: <http://www.plantsensors.com/>

1. หลักการของการให้ความร้อนแบบคงที่

ในเซนเซอร์ชนิด 2 หัว หรือ Granier method คำนวณค่าอัตราการคายน้ำของน้ำที่ไหลผ่านเนื้อไม้ (sapwood) หรือพื้นที่หน้าตัดท่อน้ำ (J_s : sap flux density, $L \cdot dm^{-2} \cdot h^{-1}$) ได้ดังนี้

$$J_s = (\alpha \cdot K)^\beta$$

เมื่อ
$$K = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T}{\Delta T} \quad \text{และเมื่อ} \quad \Delta T = T_{\text{low}} - T_{\text{up}}$$

เมื่อ J_s คือ อัตราความหนาแน่นของน้ำที่ไหลผ่าน sapwood ($L \cdot dm^{-2} \cdot h^{-1}$), K คือ ดัชนีการไหล, ΔT_{max} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดระหว่างเซนเซอร์ด้านบน (T_{up}) และด้านล่าง (T_{low}) ที่อัตราไหลเป็นศูนย์, ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์ด้านบน (T_{up}) และด้านล่าง (T_{low}) ที่อัตราไหลใดๆ, α และ β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความร้อนของเซนเซอร์และเนื้อไม้

อัตราการใช้น้ำของต้นพืชทั้งต้นคำนวณจาก J_s คูณด้วยพื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหลผ่าน หรือเท่ากับพื้นที่เนื้อไม้ที่ยังมีน้ำไหลผ่าน (active xylem) ดังสมการ

$$T = J_s \cdot A_s$$

เมื่อ T คือ อัตราการใช้น้ำหรือการคายน้ำของต้นพืช ($L \cdot h^{-1}$) และ A_s คือ พื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหลผ่าน หรือเท่ากับพื้นที่เนื้อไม้ที่มีท่อ xylem ที่ยังมีน้ำไหลผ่าน (dm^2)

2. หลักการของการให้ความร้อนแบบสลับ

การใช้เซนเซอร์ sap flow ชนิด 2 หัว โดยให้ไฟกระแสตรงแบบต่อเนื่อง จะทำให้เกิดค่าความต่างของอุณหภูมิโดยธรรมชาติ (natural temperature gradient: ΔNT) ค่า ΔNT อาจมีค่าได้ถึง $+1$ °C ในช่วงเวลากลางคืน และอาจถึง -2 °C ในช่วงเวลากลางวันทำให้การประมวลผลและแปลค่าข้อมูลอัตราการไหลของน้ำในท่อลำเลียงอาจเกิดความคลาดเคลื่อน (Do et al., 2011) ดังนั้นเพื่อเป็นการลดอิทธิพลของอุณหภูมิโดยธรรมชาติ Do et al. (2011) จึงได้พัฒนาระบบจ่ายกระแสไฟให้แก่หัวตรวจวัดในรูปแบบเปิด-ปิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งในช่วงที่เปิดกระแสไฟฟ้าจะทำให้หัวตรวจวัดเกิดความร้อน (heating) และในช่วงที่ปิดกระแสไฟฟ้าหัวตรวจวัดจะเย็นลง (cooling) ไม่เกิดความแตกต่างระหว่างเซนเซอร์ด้านบนและเซนเซอร์ด้านล่าง เรียกว่าระบบให้ความร้อนแบบชั่วคราว (transient thermal dissipation method: TTD) ซึ่งรูปแบบการให้พลังงานแก่หัวเซนเซอร์จะทำการ heating 10 นาที ตามด้วย cooling 10 นาที และบันทึกข้อมูลทุก 10 วินาที โดยที่ความค่าความต่างของอุณหภูมิที่ใช้คำนวณค่าดัชนีการไหลคำนวณได้จาก

$$\Delta T_a = \Delta T_{on} - \Delta T_{off}$$

เมื่อ ΔT_a คือความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงของ heating และ cooling ที่อัตราการไหลใดๆ, ΔT_{on} คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิเซนเซอร์ด้านบนและด้านล่างเมื่อสิ้นสุดระยะ heating และ ΔT_{off} คือความแตกต่างของอุณหภูมิเซนเซอร์ด้านบนและด้านล่างเมื่อสิ้นสุดระยะ cooling ที่อัตราการไหลใดๆ

ดังนั้นดัชนีการไหลของเซนเซอร์ Sap flow ชนิด 2 หัว ระบบ TTD (K_a) คำนวณได้ดังนี้

$$K_a = \frac{\Delta T_{a_max} - \Delta T_a}{\Delta T_a}$$

และเมื่อ ΔT_{a_max} คือความแตกต่างของอุณหภูมิในระยะ heating และ cooling สูงสุด หรือที่อัตราการไหลมีค่าเป็นศูนย์ และ ΔT_a คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิในระยะ heating และ cooling ที่อัตราการไหลใดๆ

สำหรับการวัดสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิด 1 หัว ที่มีการให้กระแสไฟแบบสลับ heating 10 นาที (หรือ 5 นาที) ตามด้วย cooling 10 นาที ลักษณะสัญญาณที่บันทึกได้ ดังภาพที่ 2 ซึ่งค่า T_{c0} คือค่าอุณหภูมิที่อ่านจากเซนเซอร์ก่อน heating (0 นาที), T_{h1} คือ ค่าอุณหภูมิที่อ่านจากเซนเซอร์เมื่อ heating ครบ 10 นาที และ T_{c2} คือค่าอุณหภูมิที่อ่านจากเซนเซอร์เมื่อ cooling ครบ 10 นาที และ T_{r0} , T_{r1} และ T_{r2} คือค่าอุณหภูมิอ้างอิงของวัสดุหรือเนื้อไม้ในขณะวัด sap flow ที่เวลา 0, 10 และ 20 นาที ตามลำดับ (ครบ 1 รอบการวัด)

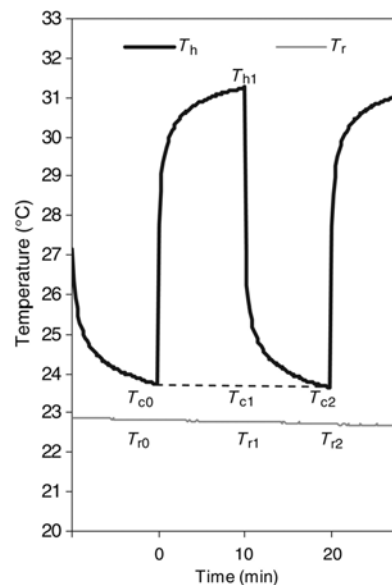


Figure 2 The signal collected from single sap flow probe with heating and cooling every 10 minutes.
Source: Do *et al.* (2011)

การคำนวณความต่างอุณหภูมิของเซนเซอร์ชนิด 1 หัว ที่มีการให้กระแสไฟฟ้าแบบสลับ heating 10 นาที ตามด้วย cooling 10 นาที ภายใต้สมมุติฐานว่าอุณหภูมิอ้างอิงของวัสดุหรือเนื้อไม้มีการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta T_{si} = T_{h1} - (T_{c2} + T_{c0})/2$$

เมื่อ ΔT_{si} คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อสุดระยะ heating และ cooling, T_{h1} คือ อุณหภูมิเมื่อสุดระยะ heating 10 นาที, T_{c0} คือ อุณหภูมิก่อนเริ่มระยะ heating ที่เวลา 0 นาที และ T_{c2} คือ อุณหภูมิหลังสิ้นสุดระยะ cooling 10 นาที

ดังนั้นดัชนีการไหลของ sap flow ชนิด 1 หัว (K_{si}) สามารถได้จาก

$$K_{si} = \frac{\Delta T_{si_max} - \Delta T_{si}}{\Delta T_{si}}$$

เมื่อ ΔT_{Oa} คือความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุด หรือที่อัตราการไหลมีค่าเป็นศูนย์ และ ΔT_u คือค่าความแตกต่างอุณหภูมิ ณ เวลาใดๆ

ดังนั้น อัตราความหนาแน่นของน้ำที่ไหลผ่าน (J_s) จากเซนเซอร์ชนิด 1 หัว สามารถได้จาก

$$J_s = (\alpha \cdot K_{si})^\beta$$

การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์

ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์ โดยทดสอบติดตั้งเซนเซอร์ชนิด 2 หัว จำนวน 4 คู่ กับกิ่งของลำไยอายุ 20 ปี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 13 - 15 เซนติเมตร (Figure 3A) ทดสอบการบันทึกข้อมูลในภาคสนามที่สวนลำไยของเกษตรกร อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร จ่ายไฟกระแสตรงขนาด 135 mA แบบคงที่ (constant heating) บันทึกข้อมูลด้วย data logger รุ่น CR1000 (Campbell Scientific, UK) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงในคาบเวลากลางคืน-กลางวัน

การตรวจสอบความแม่นยำเซนเซอร์ชนิด 1 หัว ในห้องปฏิบัติการกับลำต้นของไม้ผล 4 ชนิด ได้แก่ พุริณ มะม่วงลองกอง และมังคุด (Figure 3B) จ่ายไฟกระแสตรงขนาด 120 mA แบบสลับการ ปิด-เปิด (transient thermal dissipation method) โดยตัดเลือกกิ่งที่มีลักษณะตรง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5-6.0 เซนติเมตร ไม้อ่อนหรือแก่เกินไป ตัดจากลำต้นด้วยเลื่อย หุ้มท่อนไม้ด้วยถุงพลาสติก และรีบน้ำกลับยังห้องปฏิบัติการ ใช้เลื่อยตัดปลายทั้ง 2 ด้านให้ได้ท่อนไม้ตัวอย่างยาว 23 เซนติเมตร ใช้มีดคัดเตอร์แต่งผิวหน้าของรอยตัดให้เรียบเพื่อหลีกเลี่ยงการอุดตันของท่อลำเลียงน้ำ สวมส่วนโคนของท่อนไม้ตัวอย่างเข้ากับชุดอุปกรณ์ (Figure 3B) จากนั้นจึงติดตั้งเซนเซอร์ชนิด 1 หัว กับท่อนไม้ตัวอย่าง พร้อมกับติดตั้งเซนเซอร์ชนิด 2 หัวของบริษัท Dynamax Inc, USA ให้อยู่ในทิศทางกันข้ามเพื่อเปรียบเทียบค่าสัญญาณ ใช้ชุดควบคุมแรงดันปรับอัตราการ

ไหลของน้ำให้ไหลผ่านท่อไม้ของพืชตัวอย่าง โดยเริ่มที่อัตราการไหลต่ำไปหาสูง บันทึกข้อมูลด้วย Data logger รุ่น CR1000 (Campbell Scientific, UK)



Figure 3 Sap flow installation: (A) field test with longan tree (B) calibration of single probe compared with commercial product.

ผล

การทดสอบเซนเซอร์ชนิด 2 หัว

การทดสอบติดตั้งเซนเซอร์ชนิด 2 หัว กับต้นลำไยในภาคสนาม พบว่า ค่าสัญญาณที่บันทึกได้เป็นไปตามทฤษฎีการคายน้ำ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเซนเซอร์ตัวบนและตัวล่าง แสดงทางอ้อมด้วย ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV : mV) ในช่วงเวลากลางวันที่มีการคายน้ำ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวบนและตัวล่างมีค่าต่ำ เนื่องจากมีน้ำไหลผ่านหัวเซนเซอร์ อุณหภูมิของเซนเซอร์ตัวบนจะลดลง ขณะที่เวลากลางคืนความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์ตัวบนและตัวล่างมีค่าสูงและสูงที่สุดที่เวลาประมาณ 6.00 น. (Figure 4) การแปลค่าอัตราการความหนาแน่นของน้ำที่ไหลผ่าน (J_s) สอดคล้องกับการคายน้ำในรอบวันของพืช (Figure 5) โดยพบว่าการคายน้ำของลำไยมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 7.00 - 9.00 น.

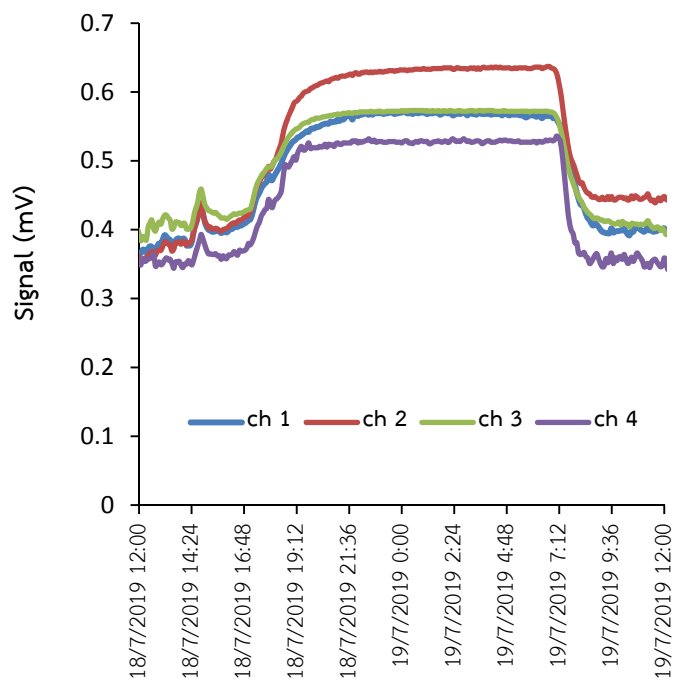


Figure 4 The signal collected from dual sap flow probe of longan tree in 24 hours.

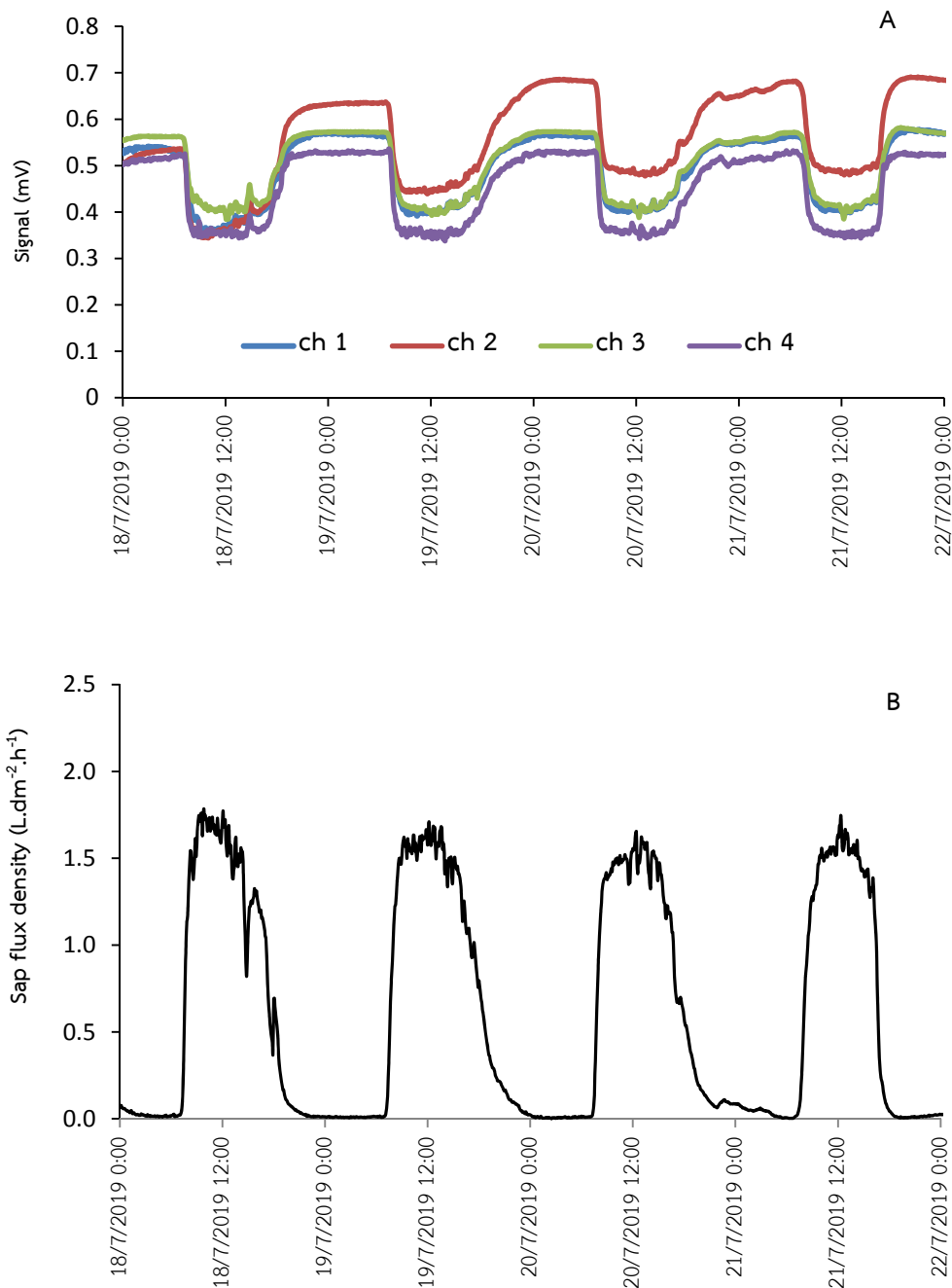


Figure 5 The data collected from dual sap flow probe of longan tree (A) signal of four probes and (B) average of sap flux density (J_s).

ความแม่นยำของเซนเซอร์ชนิด 1 หัว

ผลการทดสอบความแม่นยำเซนเซอร์ชนิด 1 หัว กับต้น พุเรียน มะม่วง ลองกอง และมังคุด พบว่า ความแม่นยำแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.92, 0.82, 0.79 และ 0.21 ตามลำดับ (Figure 6)

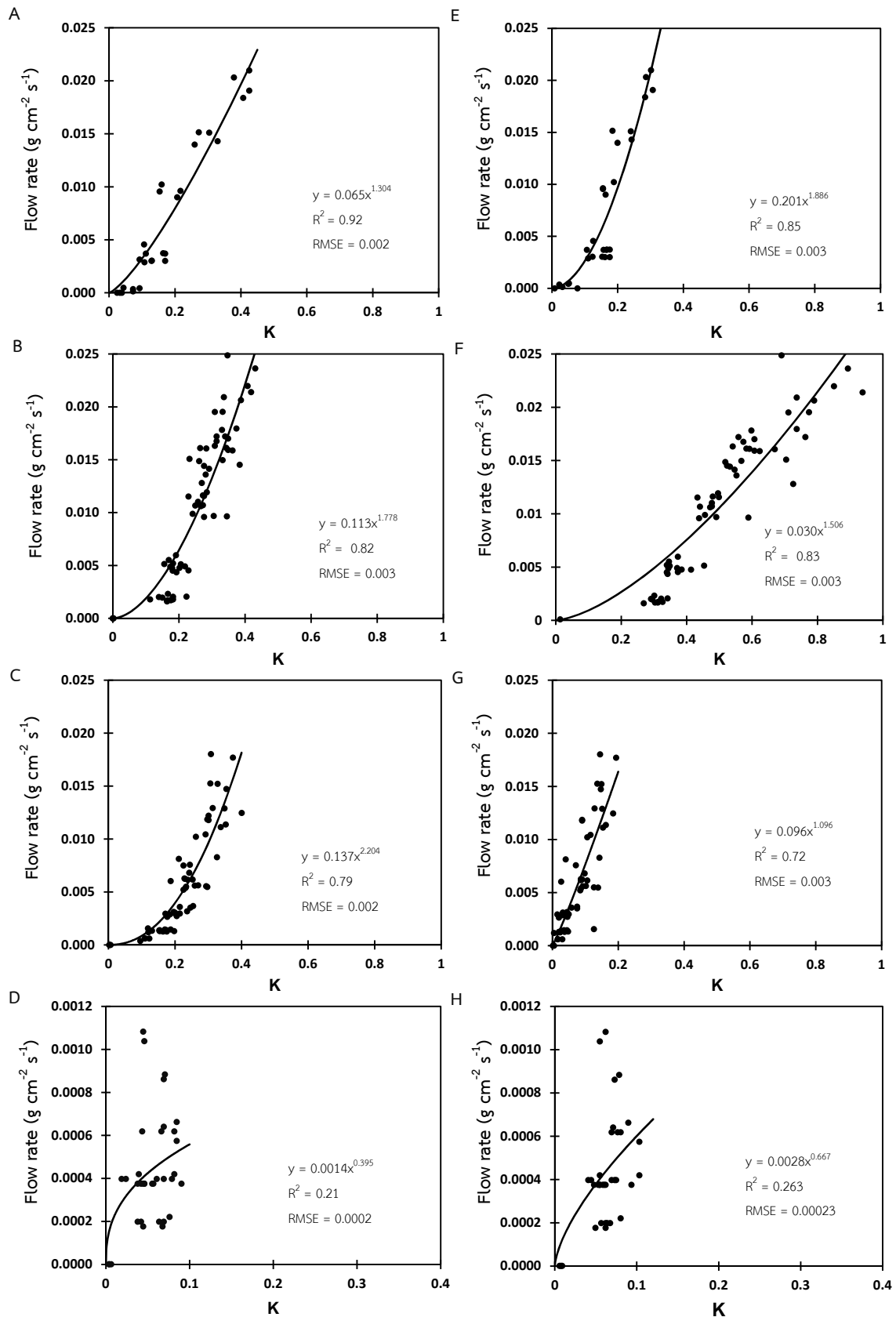


Figure 6 The calibration results of single sap flow probe, correlation between flow coefficient (K) and flow rate; (A) single probe with longkong (B) single probe with durian (C) single probe with mango (D) single probe with mangosteen (E) commercial probe with longkong (F) commercial probe with durian (G) commercial probe with mango and (H) commercial probe with mangosteen.

วิจารณ์

เซนเซอร์ sap flow ชนิด 2 หัว ที่พัฒนาขึ้น เป็นการพัฒนาโดยใช้ต้นแบบการประดิษฐ์ของ Granier (1987) ลักษณะการออกแบบและการทำงานเหมือนกันทุกประการ แต่เซนเซอร์ชนิด 1 หัว เป็นการพัฒนาต่อยอดการทดสอบของ Do *et al.* (2011) ที่พัฒนาเทคนิคการจ่ายกระแสไฟและการคำนวณข้อมูลจากเซนเซอร์ชนิด 2 หัว เพื่อลดอิทธิพลของค่าความต่างของอุณหภูมิโดยธรรมชาติ หรือ ΔNT การทดสอบการใช้งานของเซนเซอร์ชนิด 2 หัวกับต้นลำไยให้ผลการทดสอบสอดคล้องกับทฤษฎีสากล (Lu *et al.*, 2004; Granier, 1987) นอกจากนี้การตรวจวัดความแม่นยำเซนเซอร์ชนิด 1 หัว กับพืชที่เป็นไม้ผลเมืองร้อนที่เป็นไม้ผลเศรษฐกิจของไทย ซึ่งว่าการใช้เซนเซอร์ sap flow ศึกษาการใช้น้ำของไม้ผลเมืองร้อนมีศักยภาพเช่นเดียวกับการศึกษากับพืชในเขตอบอุ่น (McClymont *et al.*, 2009; Fernández *et al.*, 2008; Tognetti *et al.*, 2004; Yin *et al.*, 2004; Benyon, 1999; Martin, 1999; Dye and Olbrich, 1993) ทั้งนี้การใช้กับพืชแต่ละชนิดจะต้องคำนึงถึงสมการปรับค่าที่แตกต่างกัน และการใช้กับพืชบางชนิดมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ ดังที่พบว่า R^2 ในมังคุดมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะทางกายวิภาคของท่อลำเลียงใน sapwood ไม่เอื้อต่อการใช้เซนเซอร์ sap flow แบบ Thermal Dissipation (Bush *et al.*, 2010)

สรุป

เซนเซอร์ sap flow ที่พัฒนาเซนเซอร์ขึ้นทั้งชนิด 2 หัว และชนิด 1 หัว มีศักยภาพที่จะใช้ในการศึกษาการคายน้ำของไม้ผลยืนต้นเขตร้อน โดยเซนเซอร์ชนิด 2 หัว ให้ค่าการบันทึกข้อมูลได้ตรงตามหลักทฤษฎี และการตรวจสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ชนิด 1 หัว กับต้นทุเรียน มะม่วง และลองกอง ให้ค่า R^2 ค่อนข้างสูง แต่จะมีค่าต่ำในมังคุด ผลการทดสอบชี้ว่าเซนเซอร์ sap flow ที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถใช้ในการศึกษาการคายน้ำไม้ผลเมืองร้อนได้ อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปสำหรับการประยุกต์ใช้งานในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยพัฒนาเซนเซอร์ sap flow ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) รหัสโครงการ CRP5905010570 และการศึกษาข้อมูลภาคสนามในสวนลำไย ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการ การศึกษาผลกระทบของสภาพอากาศผันแปรต่อการผลิตลำไยบริเวณอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร สัญญาเลขที่ RDG6120031

เอกสารอ้างอิง

- Benyon, R.G. 1999. Nighttime water use in an irrigated *Eucalyptus grandis* plantation. *Tree Physiology* 19: 853-859.
- Bush, S.E., K.R. Hultine, J.S. Sperry and J.R. Ehleringer. 2010. Calibration of thermal dissipation sap flow probes for ring-and diffuse-porous trees. *Tree Physiology* 30: 1545-1554.
- Do, F.C., S. Isarangkool Na Ayutthaya and A. Rocheteau. 2011. Transient thermal dissipation method for xylem sap flow measurement: implementation with a single probe. *Tree Physiology* 31: 369-380.
- Dye, P.J. and B.W. Olbrich. 1993. Estimating transpiration from 6-year-old *Eucalyptus grandis* trees: development of a canopy conductance model and comparison with independent sap flux measurements. *Plant, Cell & Environment* 16: 45-53.
- Fernández, J.E., S.R. Green, H.W. Caspari, A. Diaz-Espejo and M.V. Cuevas. 2008. The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant and Soil* 305: 91-104.
- Granier, A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology* 3: 309-320.
- Green, S., B. Clothier and B. Jardine. 2003. Theory and practical application of heat pulse to measure sap flow. *Agronomy Journal* 95: 1371-1379.
- Lu, P., L. Urban and P. Zhao. 2004. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. *Acta Botanica Sinica* 46: 631-646.
- Martin, T.A. 1999. Winter season tree sap flow and stand transpiration in an intensively-managed loblolly and slash pine plantation. *Journal of Sustainable Forestry* 10: 155-163.
- McClymont, L., I. Goodwin, D.M. Whitfield and S. Green. 2009. The relationship between grapevine sap flow, ETO and effective area of shade. *Acta Horticulturae* 846:185-192.

- Sakuratani, T. 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *Journal of Agricultural Meteorology* 37: 9-17.
- Sakuratani, T. 1984. Improvement of the probe for measuring water flow rate in intact plants with the stem heat balance method. *Journal of Agricultural Meteorology* 40: 273-277.
- Tognetti, R., R. d'Andria, G. Morelli, D. Calandrelli and F. Fragnito. 2004. Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk sap flow and leaf water relations in olive trees. *Plant and Soil* 263: 249-264.
- Yin, G.C., G.Y. Zhou, J. Morris, Z.H. Huang, G.W. Chu and G.Y. Zhou. 2004. Sap flow response of *Eucalyptus (Eucalyptus urophylla)* to environmental stress in South China. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A* 5: 1218-1225.