รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดการไหลของน้ำเพื่อปรับปรุงการผลิตไม้ผล

Research and Technology Transfer of the Application Use of Sap Flow Sensors to Improve Fruit Production

โดย

สายัณห์ สดุดี

ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล

สาวิตร์ ตัณฑนุช

มณเทพ เกียรติวีระสกุล

ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ปี 2551

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเพื่อปรับปรุงการผลิตไม้ผล ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2548 – 2550 โดยได้รับความร่วมมือจากภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โครงการวิจัยดังกล่าวได้สำเร็จลงด้วยดีทุกประการ จึงขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้

.....

(รศ.ดร.สายัณห์ สดุดี)

หัวหน้าโครงการวิจัยฯ

บทคัดย่อ

ในการวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้นไม้ผลโดยวิธีพัลส์ความร้อน จำเป็นต้องมีการศึกษาพารามิเตอร์ของเนื้อไม้อ่อนในไม้ผล วิธีการนี้ใช้ไม้ผลเมืองร้อน 4 ชนิด คือ ทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง ในการศึกษาพบว่าทุเรียนมีความหนาแน่นของเนื้อไม้น้อยที่สุด (Vw = 0.30) รองลงมาคือ ลองกอง (Vw = 0.43) และเงาะ (Vw = 0.45) ส่วนมังคุดมีความหนาแน่นเนื้อไม้มากที่สุด (Vw = 0.52) นอกจากนี้การศึกษาขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาดของกระพี้ (sapwood) และความหนาเปลือก เป็นข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ในการคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำ จากนั้นทำการวัดการไหลของน้ำในลำต้นด้วยเครื่องมือ PSU-NRC โดยเปรียบเทียบกับการวัดการใช้น้ำโดยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric method) ทำการทดลองกับต้นลองกองอายุ 3 ปี ที่ปลูกในกระถาง ผลปรากฏว่าค่าที่วัดการใช้น้ำด้วยเครื่องมือ PSU-NRC มีความสัมพันธ์สูงกับวิธีการวัดด้วยการชั่งน้ำหนัก (r^2 = 0.91) แสดงว่าเครื่องมือ PSU-NRC ให้ความแม่นยำในการวัดสูง

การวัดด้วยเครื่อง PSU-NRC กับต้นไม้ผลในสภาพแปลงปลูกที่ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ โดยทำการวัดผลต่อเนื่องกับเงาะ และลองกอง พบว่าสามารถเก็บข้อมูลอัตโนมัติได้อย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าหัววัดเมื่อปักกับลำต้น และเมื่อดึงออกทำให้เสียหายได้ จึงได้ปรับปรุงหัววัดใหม่ซึ่งแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้พบว่า เมื่อทำการวัดในไม้ผลทั้ง 4 ชนิด ในสภาพแปลงปลูก พบว่าการวัดผลในทุเรียนให้ค่าการวัดไม่สม่ำเสมอ ขณะที่วัดผลได้ดีในมังคุด เงาะ และลองกอง ดังนั้น จึงได้ศึกษาทางกายภาพของเนื้อไม้อ่อน หรือกระพี้ของไม้ผล 4 ชนิด โดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทำสไลด์ถาวร เพื่อวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำ (xylem vessels) และระยะห่างระหว่างท่อน้ำ ผลจากการศึกษา แสดงให้เห็นว่า ท่อน้ำในกระพี้ของทุเรียนไม่มีความสม่ำเสมอ แต่ท่อน้ำในกระพี้ของไม้ผลชนิดอื่นมีความสม่ำเสมอ แสดงว่าความแม่นยำของการวัดโดยวิธีพัลส์ความร้อนขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของท่อน้ำในกระพี้ ดังนั้นจึงแนะนำว่าความไม่สม่ำเสมอของท่อน้ำในกระพี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นข้อจำกัดในการวัดการไหลของน้ำโดยวิธีพัลส์ความร้อน

Abstract

The measurement of sapflow in the stem of fruit trees by heat-pulse method, it is necessary to investigate the parameters of sapwood. In this research, 4 species of tropical fruits (durian, mangoteen, rambutan and longkong) were conducted. It was found that wood density or wood fraction volume of durian was lowest (V_W = 0.30), followed by those of longkong (V_W = 0.43) and rambutan (V_W = 0.45) While word density of mangoteen was the highest (V_W = 0.52). The other parameters: stem diameter, sap-wood range and bark thicken were also determined. All parameters were used in calculation of sapflow rates in the fruit trees. Then, the heat-pulse sapflow sensors (PSU-NRC) were used to measure water use of the tested plants (3-year longkong tree grown in the plot) compared with the measurement by gravimetric method. There was high correlation (r^2 = 0.91) between the both methods. This indicated the reliable of the measurement by heat-pulse sapflow sensor (PSU-NRC).

The measurement in the field-trial was done at the Department of Plant Science, Faculty of Natural Resource. Continuous measurement was tested in rambutan and longkong. It was found that the equipment can be uses for the continuously automated record. However, there was a problem of broken probe when it was installed on the tree for a long period. Therefore, the probe was improved to be stronger. Beside, it was found that the result of measurement in durian was not consistency. While the measurement in the other species were consistency. The, anatomical study of sapwood in the 4 species of the fruit trees was done by Scanning Electron Microscope (SEM), permanent slide to determine xylem vessels diameter and distance between xylem vessel. The result showed that xylem vessel in the sapwood of durian was quite heterogeneous, but xylem vessel in the sapwood of remaining species were homogeneous. This indicated that reliability of heat-pulse method depended on homogeneous of xylem vessel in the sap-wood. Hence, it is suggested that heterogeneous of xylem vessel in the sap-wood is a limiting factor in the sapflow measurement using heat-pulse method.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญภาพ	จ
สารบัญตาราง	ช
บทนำ	1
บทที่ 1 : 1. การตรวจเอกสาร	3
2. การออกแบบเครื่องมือ	8
3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	11
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการประดิษฐ์คิดค้น	11
บทที่ 2 : วิธีการวิจัย	12
บทที่ 3 : ผลการวิจัย	
1. การทดสอบในสภาพโรงเรือน	17
2. การวัดการไหลของน้ำของต้นไม้ผลในสภาพแปลงปลูก	18
3. การศึกษาพารามิเตอร์เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณการใช้น้ำของไม้ผลแต่ละชนิด	27
วิจารณ์	29
สรุป	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก	

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงหลักการติดตั้งหัววัดที่มีขดลวดให้ความร้อนและมี sensor probe 2 อัน (A) เพื่อวัด T_{up} หรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก่อนจากการวัดด้วย probe ตัวล่างและ T_{down} หรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายหลังที่ probe ตัวบน และที่อุณหภูมิของ T_{up} และ T_{down} เท่ากันคือค่า Delay time หรือ to (B) (ปรับจาก Smith and Allen, 1996)	6
2	เครื่องต้นแบบรุ่น PSU-NRC ซึ่งติดตั้งบนต้นลองกอง (ก), เครื่อง PSU-NRC ที่ปรับปรุง (ข)	7
3	โครงสร้างของอุปกรณ์ส่วนเก็บข้อมูล	9
4	โครงสร้างของอุปกรณ์ส่วนแสดงผลและประมวลผล	10
5	สภาพต้นลองกองอายุ 3 ปี ที่ใช้ในการทดลอง	13
6	การใช้รอกพวงเพื่อหาปริมาณการใช้น้ำของต้นลองกองที่ปลูกในกระถางโดยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric water loss)	14
7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำของต้นลองกองด้วยการชั่งน้ำหนักและการใช้เครื่องมือ	17
8	หัววัดที่ประกอบเสร็จแล้ว (A) และแสดงการติดตั้งแท่งฮีตเตอร์และหัววัดอุณหภูมิภายในหัววัด (B)	18
9	ไมโครลอกเกอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ(A) เครื่องวัดความเข้มของแสง (B)	19
10	การติดตั้งเครื่องวัดความเข้มของแสง ไว้เหนือทรงพุ่ม	19
11	การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำวัดกับต้นเงาะ	20
12	การติดตั้งไมโครลอกเกอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิไว้ภายในทรงพุ่ม	20
13	การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำวัดกับต้นลองกอง	21
14	แสดงค่าอัตราการไหลของน้ำ(A) ปริมาณความเข้มแสง (B) ปริมาณความชื้น(C) และอุณหภูมิ(D) ของต้นลองกอง	22
15	แสดงค่าอัตราการไหลของน้ำ(A) ปริมาณความเข้มแสง (B) ปริมาณความชื้น(C) และอุณหภูมิ(D) ของต้นเงาะ	23
16	แสดงการปักหัววัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้นด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบ พัลส์ความร้อนรุ่น PSU-NRT	24
17	อัตราการไหลของน้ำ(A), ค่าศักย์ของน้ำในใบ (B) และค่าชักนำปากใบ (C) ในรอบวันของทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

18 ภาพตัดขวางของท่อน้ำในทุเรียน (A), มังคุด (B), เงาะ (C) และลองกอง (D) ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (1.x40., 2.x450.) 26

19 โครงสร้างเนื้อไม้และการจัดเรียงตัวของท่อน้ำจากการตัดตามขวางของกิ่งทุเรียน (A), มังคุด (B), เงาะ (C) และลองกอง (D) 27

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำ และระยะห่างระหว่างท่อน้ำที่กระจายตัวในส่วนกระพี้ของทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง	28
2	ค่าเฉลี่ยความหนาของเปลือกไม้ กระพี้ และแก่นไม้ และค่า Vh และ Vw ของเงาะและลองกองอายุ 12 ปี	28

บทนำ

เนื่องจากสภาวการณ์ในปัจจุบันมีความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศมากจนส่งผลกระทบต่อพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทย ดังเช่นในปี 2541 ปรากฏการณ์เอล นิโญ (El Niño) ทำให้เกิดสภาวะแห้งแล้งอย่างรุนแรง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2541) สวนไม้ผลในพื้นที่ปลูกที่สำคัญได้รับผลกระทบ เช่น บางจังหวัดในภาคใต้และภาคตะวันออกได้รับผลรุนแรงมากพบว่า มีต้นไม้ผลตายเป็นจำนวนมาก เกิดการร่วงของดอก ผลอ่อนส่งผลให้ผลผลิตเสียหาย ด้วยเหตุนี้นักวิชาการจึงได้ตระหนักถึงความสำคัญในการจัดการให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาผลกระทบที่เกิดจากสภาวะขาดน้ำ (water deficit) ที่มีต่อไม้ผล ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นในอนาคต นอกจากนี้ภายใต้สภาวะเศรษฐกิจตกต่ำในปัจจุบัน การปรับปรุงการผลิตไม้ผลเพื่อส่งออกจำเป็นต้องมุ่งเน้นถึงการผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ ดังนั้นน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตที่ต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับความต้องการใช้น้ำของไม้ผลแต่ละชนิดอย่างเหมาะสม กอร์ปกับในภาวะปัจจุบันมีเกษตรกรผู้ผลิตไม้ผลให้ความสนใจระบบการใส่ปุ๋ยพร้อมไปกับการให้น้ำ (fertigation) เพราะมีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นความคุ้มทุน ในการใช้ระบบดังกล่าว เพราะทำให้ไม้ผลมีผลผลิตและคุณภาพสูง นับว่าเป็นระบบการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ระบบน้ำมินิสปริงเกอร์เป็นต้น (ปัญจพรและคณะ, 2538) ดังนั้นการศึกษาถึงความต้องการใช้น้ำของไม้ผลจึงช่วยให้สามารถใช้น้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด และให้ผลตอบแทนสูงที่สุดด้วย แต่ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าการให้น้ำแก่พืชปลูกของประเทศไทย ส่วนใหญ่ยังใช้วิธีการคำนวณปริมาณน้ำที่จะให้แก่พืช โดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา คือนำค่าการระเหยของน้ำที่วัดจากถาดระเหย ซึ่งพบว่ามีผลคลาดเคลื่อนจากสภาพปลูกจริง (Caspari *et al.,* 1993, Schuch and Burger; 1997) ในขณะที่ต่างประเทศได้พัฒนาการวัดการใช้น้ำของพืชโดยตรงโดยการวัดการไหลของน้ำ (sap flow) ในลำต้น ซึ่ง Smith และ Allen (1996) ได้แนะนำว่า หลักการวัดแบบพัลส์ความร้อน (heat pulse) เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับต้นไม้ที่มีเนื้อไม้แข็ง เช่น ไม้ผล เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพเพราะการวัดผลการใช้น้ำของไม้ผลได้หลายวันอย่างต่อเนื่องในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช

จากเหตุผลดังกล่าว ชูศักดิ์ และคณะ (2539) จึงได้พัฒนาเครื่องมือต้นแบบ (prototype) ของเซนเซอร์วัดการไหลของน้ำโดยพัลส์ความร้อน ซึ่งพัลส์ความร้อนในที่นี้หมายถึงความร้อนที่ได้จากขดลวดความร้อนเป็นระยะเวลาสั้นๆ โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนเป็นระยะเวลาสั้นๆ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ตั้งแต่ปี 2537-2539 และได้มีการทดสอบการวัดและปรับปรุงเครื่องมือในสภาพห้องปฏิบัติการมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้ผลการวัดใกล้เคียงกับเครื่องมือที่ผลิตจากต่างประเทศ (สายัณห์และคณะ, 2543) ต่อมาในปี 2543 คณะผู้วิจัยได้รับอนุมัติทุนสนับสนุนการวิจัยจากมูลนิธิโทเร เพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย ทำให้มีการพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่องได้ซึ่งเป็นเครื่องต้นแบบรุ่น PSU-TTSF

(ดังภาพที่ 2) ผลจากการดำเนินงานดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่นำเครื่องมือไปทดสอบการวัดในสภาพแปลงปลูกหรือสวนไม้ผลของเกษตรกร เพื่อจะได้นำข้อมูลมาปรับปรุงเครื่องมือให้มีความสมบูรณ์ในการวัดยิ่งขึ้น เหมาะสมกับความต้องการของเกษตรกร โดยเน้นถึงความถูกต้องในการวัด ใช้ได้ง่ายและราคาถูกซึ่งจะนำไปสู่การผลิตเครื่องมือในเชิงพาณิชย์ เพราะปัจจุบันมีบริษัทเอกชน (บริษัทไทยวิคตอรี กรุงเทพฯ ซึ่งเป็นตัวแทนจำหน่ายเครื่องมือ Sap Flow Sensors ในประเทศไทย) ที่แสดงความจำนงในการร่วมมือ ดังนั้นผลจากโครงการนี้จะช่วยส่งเสริมการผลิตเครื่องมือในประเทศเพื่อลดการนำเข้า

ในปี 2546 คณะผู้วิจัยได้ขอรับการทุนวิจัยเพื่อการส่งเสริมและสนับสนุนการประดิษฐ์คิดค้นที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ เพื่อสร้างเครื่องมือต้นแบบรุ่น PSU-NRC โดยเน้นการใช้วัสดุและอุปกรณ์ภายในประเทศเป็นหลัก ทำให้มีราคาต้นทุนเพียงเครื่องละ 8,000 บาท ซึ่งเป็นมูลค่าต่ำกว่าเครื่องมือที่นำเข้าจากต่างประเทศมาก (เครื่องมือนำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย โดย บริษัทไทยวิคตอรี กรุงเทพฯ เสนอราคาในปี 2547 ราคาเครื่องละ 370,700 บาท)

จากผลดังกล่าวทำให้นักวิชาการและเกษตรกรได้ให้ความสนใจนำไปทดลองใช้งานจริงกับสวนผลไม้ ทำให้คณะผู้วิจัยได้รับข้อมูลตอบกลับอันเป็นประโยชน์ อาทิ ความต้องการให้เครื่องมือมีขนาดเล็กเพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการเคลื่อนย้าย หรือการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์วัดความเข้มของแสงเพื่อให้สามารถประเมินการตอบสนองของพืชได้ ฯลฯ ด้วยเหตุนี้ ประกอบกับเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจรู้และระบบเก็บข้อมูลที่มีศักยภาพสูงขึ้น จึงเกิดเป็นแนวทางการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องมือให้สามารถวัดค่าการใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ พร้อมทั้งถ่ายทอดเทคโนโลยีให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อไป

บทที่ 1

1. ตรวจเอกสาร

การวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช Smith และ Allen (1996) กล่าวว่าสามารถทำการวัดได้โดยใช้ความร้อนเป็นตัววัดการเคลื่อนที่ของน้ำในต้นพืชได้ ซึ่งมี 3 แบบ คือ 1) การวัดโดยวิธีสมดุลย์ความร้อน (heat balance method) 2) การวัดโดยวิธีพัลส์ความร้อน (heat pulse method) และ 3) การวัดโดยวิธีกระจายความร้อน (thermal dissipation method) แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันคือ วิธีสมดุลย์ความร้อนซึ่งพัฒนาโดย Vieweg และ Ziegler (1960) มีข้อดีที่ใช้วัดกับต้นไม้ผลได้หลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กมาก (2-3.5 มม.) ไปจนถึงขนาดใหญ่มาก (100-125 มม.) แต่ทั้งนี้ต้องใช้เกจ (guage) ที่หุ้มรอบต้นให้เหมาะสมแต่ละขนาด ดังนั้นผู้ใช้จำเป็นต้องซื้อเกจหลายขนาดซึ่งมีราคาสูง ส่วนวิธีพัลส์ความร้อนซึ่ง Cohen และคณะ (1981) ได้ประยุกต์ใช้ในสภาพแปลงปลูก เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับวัดต้นไม้ผลที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 30 มม. ขึ้นไป เพราะต้องเจาะต้นเพื่อปัก probe ในการวัด แต่มีข้อดีที่วัดได้กับต้นไม้ผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นไปได้โดยไม่ต้องเปลี่ยน probe ขนาดอื่น สำหรับวิธีกระจายความร้อน ซึ่งพัฒนาโดย Granier *et al.* (1990) เป็นวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำโดยการคำนวณไม่ต้องใช้พารามิเตอร์ของพืชติดตั้งง่ายโดยปักเข้ากับลำต้น แต่ยังมีข้อเสียที่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนต่อเนื่องดังนั้นจะต้องมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าเพียงพอซึ่งต่างกับระบบพัลส์ความร้อนที่ให้ความร้อนเป็นช่วงสั้นๆเท่านั้นจึงสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า ด้วยเหตุผลดังกล่าววิธีพัลส์ความร้อนจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมในการวัดอัตราการไหลของน้ำของไม้ผล ซึ่งมีการศึกษาในไม้ผลเมืองหนาวหลายชนิด (Cohen *et al.*, 1981, Edwards and Warwick, 1984, Green and Clothier, 1988, Steinberg *et al*., 1990, Caspari *et al*., 1993, Green and Clothier, 1995, Moreno *et al*., 1996, Green *et al.*, 1997) อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการศึกษาในไม้ผลเมืองร้อนจนกระทั่ง สายัณห์ และคณะ (2543) ได้ทดสอบวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นลองกองและมังคุดด้วยวิธีพัลส์ความร้อน ซึ่งพบว่าอัตราการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่พืชได้รับในรอบวัน

หลักการทำงานของการวัดโดยวิธีพัลส์ความร้อนมีขดลวดความร้อนดังรูปที่ 1 (A) ซึ่งเป็น probe ที่อยู่ตรงกลาง และมี sensor probe สำหรับวัดอุณหภูมิ 2 อันคือ probe ตัวล่าง อยู่ด้านล่างห่างจากขดลวดความร้อน 5 มม. และ probe ตัวบน ซึ่งอยู่ด้านบนและห่างจากขดลวดความร้อน 10 มม. เมื่อเริ่มทำการวัดจะให้ความร้อนจาก ขดลวดความร้อนประมาณ 1 นาที ความร้อนจะแผ่ไปยัง probe ตัวล่าง ก่อนทำให้ ทำอุณหภูมิ probe ตัวล่างสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่วัดด้วย probe ตัวล่างเรียกว่า T_{up} จากนั้นน้ำจะนำความร้อนไปยัง probe ตัวบน ทำให้ อุณหภูมิ probe ตัวบนสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่วัดด้วย probe ตัวบนเรียกว่า T_{down} หลังจากช่วงเวลาหนึ่งผ่านไปอุณหภูมิของ sensor probe ทั้งสองจะมีค่าเท่ากันซึ่งเวลานี้เรียกว่า delay time หรือ to ดังแสดงในรูป 1 (B)

จากค่า delay time (to) นำไปคำนวณหาค่า heat pulse velosity (V) โดยใช้สูตรต่าง ๆ ตามวิธีของ Green และ Clothier (1988) ดังนี้

$$V = (X_u + X_d)/2to \quad (1)$$

เมื่อ X_u เป็นระยะห่างระหว่าง heater probe กับ upstream sensor probe

X_d เป็นระยะห่างระหว่าง heater probe กับ downstream sensor probe

ขั้นต่อไปคำนวณค่า Sap flux density (J) โดยสูตร

$$J = P(0.33+M)V \quad (2)$$

เมื่อ P เป็นความหนาแน่นเนื้อไม้ (ส่วน sapwood)

M เป็นความชื้นของเนื้อไม้สด

จากค่า sap flux density ที่ได้นำไปคำนวณค่า volume flux (Q) เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำโดยใช้สูตร

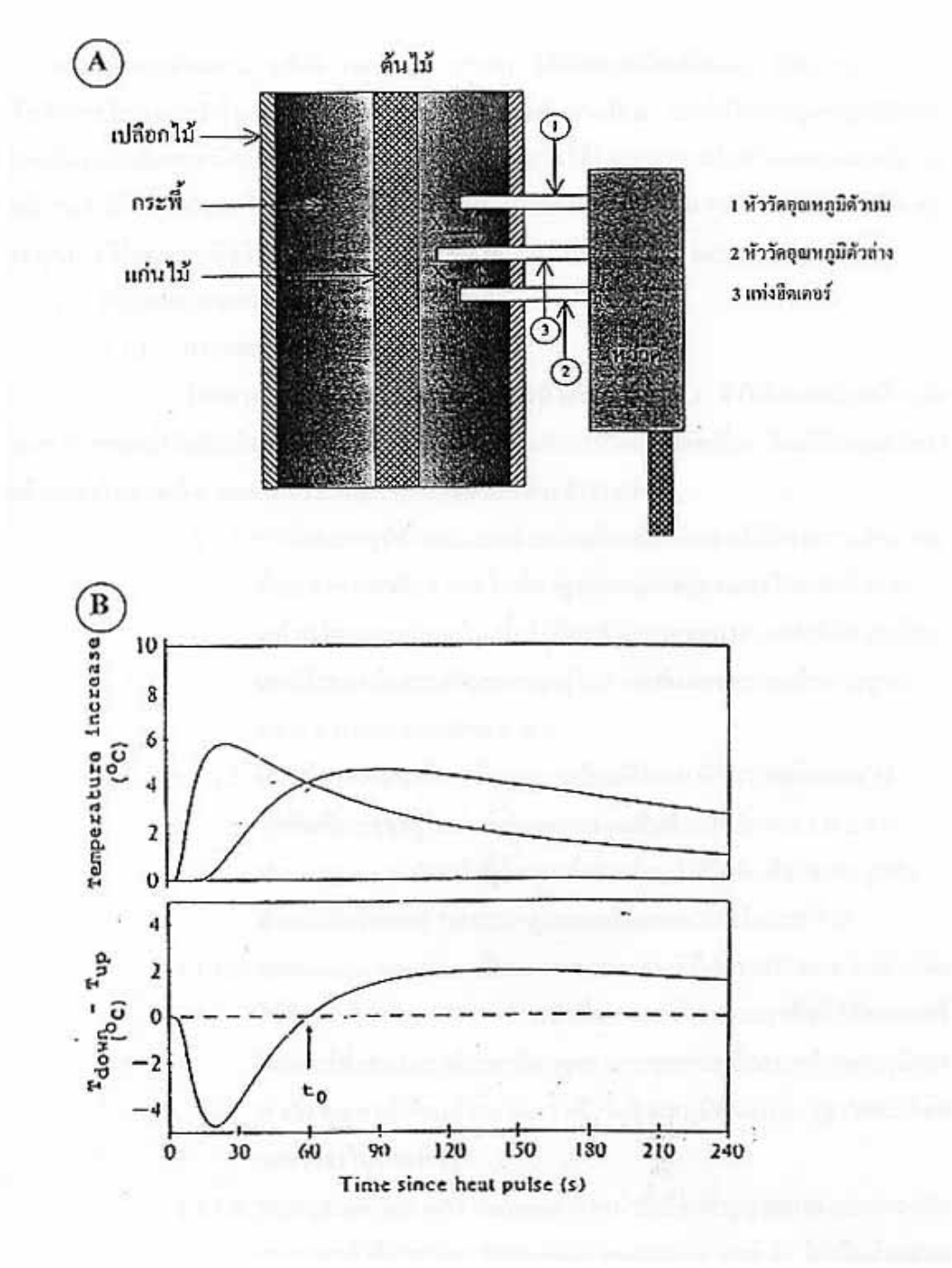
$$Q = \int_H^R 2\pi rJ(r)dr \quad (3)$$

เมื่อ r เป็นระยะรัศมีส่วนที่เป็นเนื้อไม้อ่อนหรือกระพี้ (sapwood) คือ ส่วนเนื้อไม้ระหว่างเปลือกและแก่นไม้ (hardwood)

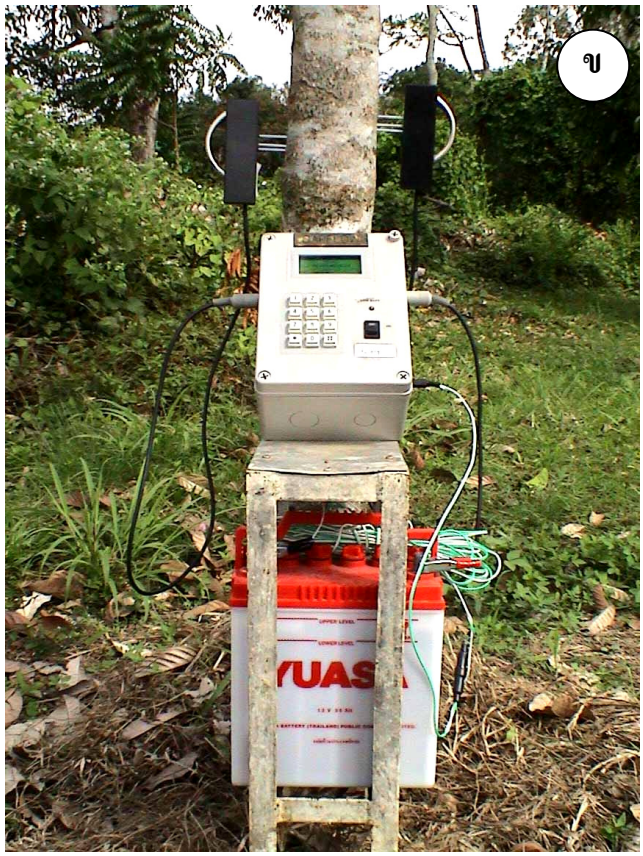
จากหลักการดังกล่าว ชูศักดิ์และคณะ (2539) ได้พัฒนาเครื่องต้นแบบ (PSU-NECTEC 1) สำหรับวัดการไหลของน้ำในต้นพืชด้วยหลักการของวิธีพัลส์ความร้อน โดยได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ซึ่งวัดได้โดยการกดสวิทช์วัดผลแต่ละครั้ง ต่อมาในปี 2543 ได้มีการพัฒนาให้เก็บผลได้อย่างต่อเนื่อง เป็นเครื่องต้นแบบรุ่น PSU-TTSF โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมูลนิธิโทเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย และได้พัฒนาต่อเนื่องในปี 2547 เป็นเครื่องวัดรุ่น PSU-NRC โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจังแห่งชาติ เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องมือเชิงพาณิชย์ (ภาพที่ 2)

นอกจากนี้พบว่าในการปรับปรุงการผลิตไม้ผลจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับแสง อุณหภูมิ และความชื้นบริเวณรอบต้นพืชด้วย เพราะเมื่อใบพืชได้รับแสงคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์คุมหรือการ์ดเซลล์ (guard cell) จะเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และเกิดเป็นการสร้างน้ำตาลขึ้น ทำให้สารละลายในเซลล์คุมเข้มข้นกว่าเซลล์ข้างเคียง น้ำจากเซลล์ข้างเคียงจะออสโมซิสเข้าในเซลล์คุม เป็นผลให้เซลล์คุมเต่ง และผนังเซลล์ด้านในหนายืดตัวได้น้อยกว่าผนังเซลล์ด้านนอก ช่องว่างระหว่างเซลล์คุมซึ่งเป็นปากใบ (stomata) จะขยายกว้าง เรียกภาวะนี้ว่า “ปากใบเปิด” ทำให้พืชเกิดการคายน้ำ กระบวนการคายน้ำนี้ทำให้พืชสูญเสียน้ำมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณน้ำที่พืชดูดขึ้นมาจากราก ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยแวดล้อมของสภาพอากาศ อาทิ แสงอุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น การประยุกต์ใช้อุปกรณ์

วัดแสง อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และอุปกรณ์วัดความชื้น ร่วมกับเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช จะช่วยให้การประเมินความต้องการน้ำของต้นพืชมีความสมบูรณ์มากขึ้น



ภาพที่ 1 แสดงหลักการติดตั้งหัววัดที่มีขดลวดให้ความร้อนและมี sensor probe 2 อัน (A) เพื่อวัด T_{up} หรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก่อนจากการวัดด้วย probe ตัวล่างและ T_{down} หรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายหลังที่ probe ตัวบน และที่อุณหภูมิของ T_{up} และ T_{down} เท่ากันคือค่า Delay time หรือ to (B) (ปรับจาก Smith and Allen, 1996)



ภาพที่ 2 เครื่องต้นแบบรุ่น PSU-NRC ซึ่งติดตั้งบนต้นลองกอง (ก), เครื่อง PSU-NRC ที่ปรับปรุง (ข)

2. การออกแบบเครื่องมือ

เครื่องมือที่ออกแบบจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ อุปกรณ์ส่วนเก็บข้อมูล กับอุปกรณ์ส่วนแสดงผลและประมวลผล

2.1 การออกแบบอุปกรณ์ส่วนเก็บข้อมูล

ในส่วนเก็บข้อมูลจะประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจรู้ 3 ประเภท ได้แก่

- อุปกรณ์ตรวจรู้การไหลของน้ำในต้นพืช

จะใช้หลักการวัดค่าแบบพัลส์ความร้อนดังที่ได้กล่าวไว้ในเครื่องวัดการไหลของน้ำในต้นพืชแบบพัลส์ความร้อนรุ่น PSU-NRC ปี 2546 ประกอบด้วยหัววัด 2 ชุด แต่ละชุดจะมีขดลวดความร้อน 1 ขด และตัวตรวจรู้อุณหภูมิ 2 ตัว ขดลวดความร้อนจะทำงานตามการกำหนดเวลาการให้ความร้อน (heat time) และรอบเวลาการให้ความร้อน (period) จากนั้นจะคำนวณเวลาที่อุณหภูมิเสถียร (delay time, to) เนื่องจากการอ่านค่าจากอุณหภูมิที่เท่ากันของตัวตรวจรู้อุณหภูมิทั้ง 2 ตัว ค่าที่ได้จะถูกบันทึกค่าเก็บในหน่วยความจำ เพื่อนำไปคำนวณผลตามสมการ (1) ต่อไป

- อุปกรณ์ตรวจรู้ความเข้มแสง

จะใช้สารกึ่งตัวนำจำพวกโฟโตไดโอด (photo diode) ความเข้มของแสงที่ทำการวัดค่าจะไปกระตุ้นบริเวณย่านปลอดพาหะ (depletion region) บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพี ดังนั้นเมื่อจัดวงจรให้อยู่ในภาวะไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) จำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อนี้จะแปรผันกับความเข้มของแสง ทำให้สามารถแปลงผลความเข้มแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วบันทึกเก็บไว้ในหน่วยความจำ ค่าที่วัดได้จากตัวตรวจรู้ชนิดนี้มีความแม่นยำในตอบสนองต่อแสงแม่นยำกว่าตัวตรวจรู้ความเข้มแสงชนิดอื่นๆ

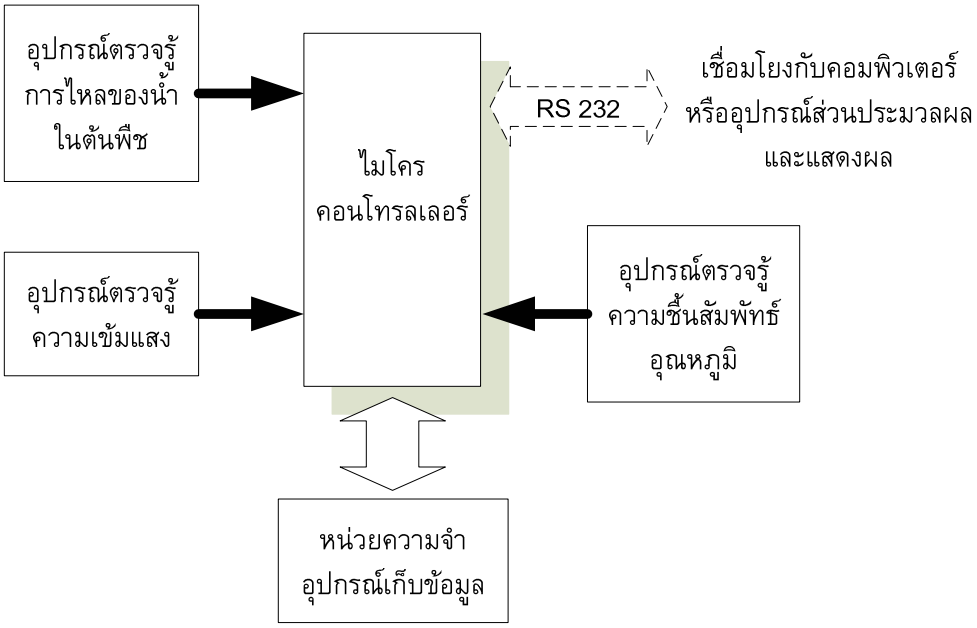
- อุปกรณ์ตรวจรู้อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

โดยทั่วไปการวัดอุณหภูมิและปริมาณไอน้ำในอากาศอาจกระทำโดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิในอากาศซึ่งเรียกว่า การวัดแบบกระเปาะแห้ง (dry bulb) ซึ่งจะได้ค่าอุณหภูมิปกติของสภาพอากาศ อีกส่วนหนึ่งจะใช้วัสดุซึมน้ำเช่นผ้าฝ้าย พันรอบกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์เทอร์โมมิเตอร์ โดยให้ปลายอีกด้านของผ้าจุ่มลงในน้ำ ทำให้น้ำซึมตามผ้าและเปียกชุ่มตลอดเวลา เรียกว่าการวัดแบบกระเปาะเปียก (wet bulb) น้ำที่เปียกชุ่มผ้านี้จะระเหยโดยได้ความร้อนแฝงจากเทอร์โมมิเตอร์ ทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์นี้มีต่ำค่ากว่าอุณหภูมิในอากาศจริง ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิทั้งสองจะถูกนำไปคำนวณด้วยแผนภูมิไซโครเมตริก (psychrometric chart) เพื่อประเมินสัดส่วนความชื้นที่อากาศขณะนั้นมีอยู่ต่อความชื้นที่อากาศขณะนั้นสามารถรับได้ ณ อุณหภูมินั้น ๆ และแสดงผลเป็นปริมาณร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์ การวัดค่าด้วยวิธีการนี้จะไม่สะดวก

อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือการวัดค่าด้วยไฮโกรมิเตอร์ (hygrometer) ซึ่งมีทั้งรูปแบบการบันทึกเป็นแผนภูมิกราฟ (hygrograph) และการบันทึกด้วยเครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือเหล่านี้มีราคาสูงและนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการมากกว่าการนำไปใช้งานภาคสนาม

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ตัวตรวจรู้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยอาศัยเทคโนโลยีวงจรโซลิดสเตต ทำให้ได้อุปกรณ์ตรวจรู้ที่มีขนาดเล็ก มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียส สำหรับการวัดอุณหภูมิ และค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 5 สำหรับการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ และเหมาะสมที่นำไปใช้งานภาคสนามร่วมกับอุปกรณ์ตรวจรู้อื่นๆ ได้

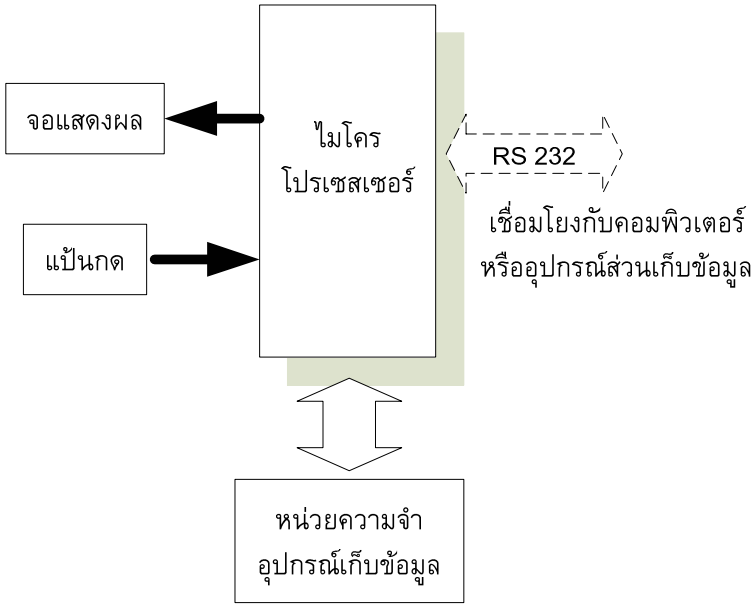
ตัวตรวจรู้ทั้ง 3 ประเภท จะถูกเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมอัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณการวัดค่า (sampling) และนำผลการวัดไปเก็บในหน่วยความจำ สามารถเชื่อมต่อได้โดยตรงกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS 232 เพื่อถ่ายโอนข้อมูลและควบคุมการกำหนดค่าต่างๆ หรือเชื่อมโยงกับอุปกรณ์แสดงผลและประมวลผล เพื่อกำหนดเงื่อนไขการวัดผลและแสดงผลการวัดค่าในปัจจุบันได้ ดังแสดงโครงสร้างของอุปกรณ์ส่วนเก็บข้อมูลในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของอุปกรณ์ส่วนเก็บข้อมูล

2.2 การออกแบบอุปกรณ์ส่วนแสดงผลและประมวลผล

อุปกรณ์ส่วนแสดงผลและส่วนประมวลผลนี้ ถูกสร้างขึ้นเพื่อเชื่อมต่อแบบไม่ถาวรกับส่วนเก็บข้อมูล ทำให้สามารถดำเนินการวัดค่าโดยติดตั้งเฉพาะส่วนเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียวจึงมีความสะดวกในการใช้งานภาคสนามและจะลดการใช้พลังงาน อุปกรณ์ในส่วนนี้จะมีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 4 โดยมีไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้จากแป้นกดในการกำหนดเงื่อนไขการวัดผลเพื่อการควบคุมอุปกรณ์ส่วนเก็บข้อมูลและสามารถประมวลผลค่าที่เก็บบันทึกในหน่วยความจำของอุปกรณ์ส่วนเก็บข้อมูลเพื่อนำแสดงผลแบบเวลาปัจจุบันได้



ภาพที่ 4 โครงสร้างของอุปกรณ์ส่วนแสดงผลและประมวลผล

3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อปรับปรุงต้นแบบเครื่องมือวัดการไหลของน้ำในต้นพืชแบบพัลส์ความร้อน ให้สามารถประยุกต์ใช้วัดการใช้น้ำของไม้ผลเศรษฐกิจในสภาพแปลงปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งานได้อย่างสะดวก มีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถพัฒนาเพื่อการผลิตเป็นเครื่องมือเชิงพาณิชย์ซึ่งเหมาะสมในการประเมินการใช้น้ำในต้นไม้ผลและปรับปรุงระบบการให้น้ำของเกษตรกรให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคตต่อไป

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการประดิษฐ์คิดค้น

- เป็นการพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัดการไหลของน้ำในต้นพืชแบบพัลส์ความร้อน ร่วมกับเครื่องมือวัดอื่นๆ อาทิ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น ให้สามารถประยุกต์ใช้ในงานสนาม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวัดการใช้น้ำของต้นไม้ผลได้อย่างสมบูรณ์
- เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศ ซึ่งเป็นทรัพย์สินทางปัญญาอันนำไปสู่การจดสิทธิบัตร สามารถผลิตเป็นเครื่องมือเชิงพาณิชย์ที่มีต้นทุนต่ำและใช้ง่าย และยังเป็นการช่วยลดการนำเข้าของเครื่องมือจากต่างประเทศด้วย
- เป็นการพัฒนาระบบข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำของต้นพืชแบบทันเวลา ซึ่งจะช่วยบริหารระบบการให้น้ำพืชอย่างประหยัดพร้อมทั้งช่วยยกระดับคุณภาพของผลผลิต อันจะนำไปสู่ระบบการจัดการทรัพยากรน้ำที่มีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผล
- เป็นการพัฒนาเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการในการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับสรีรวิทยาของไม้ผลเพื่อประเมินความผิดปกติของต้นไม้ผล เช่น อาการของรากพืชที่ถูกทำลายจากโรคทางดินที่ทำให้การดูดน้ำของพืชผิดปกติ เป็นต้น

หน่วยงานที่นำผลงานการประดิษฐ์คิดค้นไปใช้ประโยชน์

- กรมวิชาการเกษตร, กรมชลประทาน, กรมพัฒนาที่ดิน
- สถาบันการศึกษา เพื่อประโยชน์ในการสอนและการวิจัย
- สวนผลไม้ของเกษตรกร เช่น สวนส้มโชกุน ลองกอง เงาะและทุเรียน เป็นต้น

บทที่ 2
วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาพารามิเตอร์เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณการใช้น้ำของไม้ผลแต่ละชนิด

เนื่องจากปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดการใช้น้ำของไม้ผลเมืองร้อนและกึ่งเมืองร้อนยังมีน้อย ประกอบกับไม้ผลเศรษฐกิจของประเทศไทยมีความแตกต่างของความหนาแน่นเนื้อไม้ ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการคำนวณ คือค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ ซึ่งจะทำการเจาะเนื้อไม้โดยใช้ increment borer นอกจากนี้จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ของเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นกับรัศมีของส่วนที่เป็นเนื้อไม้อ่อน ระหว่างแก่นไม้กับเปลือกไม้ เพราะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในสูตรคำนวณ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการทำคู่มือประกอบการใช้ด้วย

2.2 ทดสอบความถูกต้องในการวัดของเครื่องมือ

2.2.1 การทดสอบโดยการวัดผลด้วยการชั่ง (gravimetric method) โดยตรง

ซึ่งจะทำการทดลองในเรือนกระจกของ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต้นพืชที่ใช้ในการทดสอบคือ ต้นลองกองอายุ 3 ปี ซึ่งปลูกในภาชนะปลูกขนาดความจุดิน 45 ลิตร เตรียมต้นพืชให้พร้อมจำนวน 12 ต้น คัดเลือกไว้ 7 ต้นเพื่อทดสอบการวัด และเมื่อเริ่มทำการวัดผลใช้วิธีชั่งน้ำหนักก่อนเริ่มวัดผล ปิดผิวหน้าดินภาชนะปลูกด้วยพลาสติกและหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยด์และชั่งน้ำหนักในช่วงบ่าย 16.00 น. โดยที่ช่วงการวัดผลระหว่าง 8.00 – 16.00 น.

การดำเนินงาน ทำการติดตั้งเครื่องมือรุ่น PSU-NRC เพื่อทำการประเมินผลความถูกต้องในการวัด โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักน้ำที่พืชใช้ไปซึ่งวัดโดยการชั่ง โดยติดตั้ง 2 หัววัดต่อต้น

2.2.2 ทำการทดสอบผลการวัดในสภาพแปลงปลูกไม้ผล

โดยทดสอบที่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ในสภาพแปลงปลูกไม้ผล 4 ชนิด คือ ทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง ชนิดละ 2 ต้นโดยการให้น้ำในระดับความชื้นชลประทาน (field capacity) เพื่อประเมินการวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้นในรอบวัน

1) ศึกษาการวัดผลต่อเนื่อง

เตรียมต้นลองกองอายุ 3 ปี จำนวน 12 ต้น คัดเลือกไว้ 7 ต้น ซึ่งปลูกในภาชนะปลูกขนาดความจุดิน 45 ลิตร ภายในเรือนกระจกของ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยการใส่ปุ๋ยบำรุงต้นสูตร 15-15-15 ปุ๋ยละลายช้า และปุ๋ยคอก รวมทั้งกำจัดแมลงศัตรูพืชของต้นลอง เพื่อให้ต้นมีความพร้อมในการทดสอบโดยการวัดผลด้วยการชั่ง (gravimetric method)

จากแผนงานเดิมที่จะทำในโรงเรือนกระจก ได้มีการปรับการทดลองภายใต้โรงเรือนที่มุงหลังคาพลาสติก เพราะต้นพืชทดลองมีขนาดใหญ่ ประกอบกับต้องมีลอกตาชั่ง ซึ่งไม่สามารถทำได้สะดวกในเรือนกระจก เพราะสถานที่แคบเกินไปในการทำงาน ต้นที่จะใช้ทดสอบคือ ต้นลองกองอายุ 3 ปี

ซึ่งปลูกในภาชนะปลูกขนาดบรรจุดิน 45 ลิตร ใช้ต้นพืชจำนวน 12 ต้น เพื่อทดสอบการวัด ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการไหลของน้ำโดยวิธีพัลส์ความร้อนรุ่น PSU-NRC ทำการติดตั้ง 2 หัววัด ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักโดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าที่แขวนกับลอก (ภาพที่ 5 และ 6)

ภาพที่ 5 สภาพต้นลองกองอายุ 3 ปี ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 6 การใช้รอกพวงเพื่อหาปริมาณการใช้น้ำของต้นลองกองที่ปลูกในกระถางโดยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric water loss)

เมื่อเริ่มทำการวัดผลทำการวัดผลโดยชั่งน้ำหนักก่อนการวัดผลปิดผิวหน้าภาชนะปลูกด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งชั่งน้ำหนัก 2 ครั้ง เวลา 9.00 น. และ เวลา 16.00 น. เปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำจากการวัดด้วยเครื่องวัดการไหลของน้ำด้วย เครื่องมือวัดการไหลของน้ำ โดยรวมค่าการไหลของน้ำสะสม ในช่วงเวลา 9.00 – 16.00 น.

2) ศึกษาข้อจำกัดในการวัดผล

เนื่องจากพบปัญหาในการวัดการไหลของน้ำในทุเรียน ซึ่งต้องทำการศึกษาคุณสมบัติของท่อน้ำ โดยทำการศึกษาขนาดของท่อน้ำ (xylem vessel) และการกระจายตัวของท่อน้ำ โดยการเจาะเนื้อไม้ด้วย increment borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. โดยเจาะเนื้อไม้ของลำต้นไม้ผลทั้ง 4 ชนิดที่ความสูง 40 ซม.จากผิวดิน โดยเจาะให้ถึงแก่นไม้ และนำส่วนของกระพี้มาแบ่งเป็น 6 ส่วน โดยตัดตามแนวขวางนำชิ้นส่วนแต่ละท่อนแช่ในสารละลาย FAA เพื่อรักษาสภาพเซลล์ จากนั้นทำการดึงน้ำออกจากตัวอย่างก่อนนำไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น JSM-5008LV (JEOL, Japan) ที่ศูนย์

เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ แล้วทำการวัดขนาดของท่อน้ำและระยะห่างของท่อน้ำด้วย นอกจากนี้นำชิ้นส่วนของกระพี้จากส่วนด้านนอกที่ติดกับเปลือกไม้ไปจนถึงแก่นไม้ของไม้ผลทั้ง 4 ชนิด ไปทำสไลด์ถาวรเพื่อวาดรูปการกระจายตัวของท่อน้ำในส่วนของกระพี้

2.3 ศึกษาพารามิเตอร์เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณการใช้น้ำของไม้ผลแต่ละชนิด

เนื่องจากปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดการใช้น้ำของไม้ผลเมืองร้อนและกึ่งเมืองร้อนยังมีน้อย ประกอบกับไม้ผลเศรษฐกิจของประเทศไทยมีความแตกต่างของความหนาแน่นเนื้อไม้ ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการคำนวณ คือค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ ซึ่งจะทำการเจาะเนื้อไม้โดยใช้ increment borer นอกจากนี้จะศึกษาถึงความสัมพันธุ์ของเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นกับรัศมีของส่วนที่เป็นเนื้อไม้อ่อน ระหว่างแก่นไม้กับเปลือกไม้ เพราะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในสูตรคำนวณ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการทำคู่มือประกอบการใช้ด้วย

<u>วิธีการหาค่า Volume fraction ของน้ำและเนื้อไม้</u>

นำตัวอย่างเนื้อไม้ (เฉพาะส่วนที่เป็นกระพี้) ที่ได้จากการเจาะโดยใช้สว่านมือ (Increment borer) สำหรับเจาะต้นไม้ (จำนวน 30 ตัวอย่าง) บรรจุในขวดขนาดเล็กเพื่อป้องกันการระเหยน้ำจากตัวอย่าง จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักสด (Wf) น้ำหนักเนื้อไม้ในน้ำ (Wi) และน้ำหนักแห้ง(Wd) จากนั้นคำนวณค่า volume fraction ของน้ำ (Fl) และค่า Volume fraction ของเนื้อไม้ (Fm) ตามสูตรดังนี้

$$Fl = (Wf - Wd) / Wi$$

$$Fm = Wd / (1.53 \times Wi)$$

1.53 คือ specific gravity of wood constant ซึ่งมีค่าคงที่ในไม้เนื้อแข็งแต่ละชนิด (Edward and Warwick, 1984)

- การหาค่าน้ำหนักสด (fresh weight) โดยนำส่วนของกระพี้ที่ได้ชั่งน้ำหนัก
- การหาค่าน้ำหนักกระพี้ในน้ำ (immersed weight) โดยนำส่วนของกระพี้ไปที่ชั่งน้ำหนักสดแช่ในน้ำซึ่งบรรจุในบีกเกอร์ขนาดเล็กและชั่งน้ำหนัก
- การหาค่าน้ำหนักแห้ง (dry weight) โดยนำตัวอย่างกระพี้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

<u>วิธีการวัดความหนาเปลือกไม้ กระพี้ และแก่นไม้</u>

ความหนาของเปลือกไม้ กระพี้ และแก่นไม้ การวัดความหนาของเปลือกไม้ โดยใช้ไขควงปากแบนขนาดเล็กแทงเข้าไปในลำต้นในระดับที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ จากนั้นใช้เวอร์เนียร์วัดความหนาของเปลือกจากความยาวของไขควงที่จมในชั้นเปลือก สำหรับการวัดความหนาของกระพี้และแก่นไม้ใช้สว่านมือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร เจาะลำต้นที่มีขนาดใกล้เคียงกับต้นที่ทำการทดลอง ใน

ระดับใกล้เคียงกับที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ การวัดความหนาดังกล่าวใช้เวอร์เนียวัด ทำซ้ำ 2 ครั้ง ในทิศตรงข้ามเพื่อหาค่าเฉลี่ย

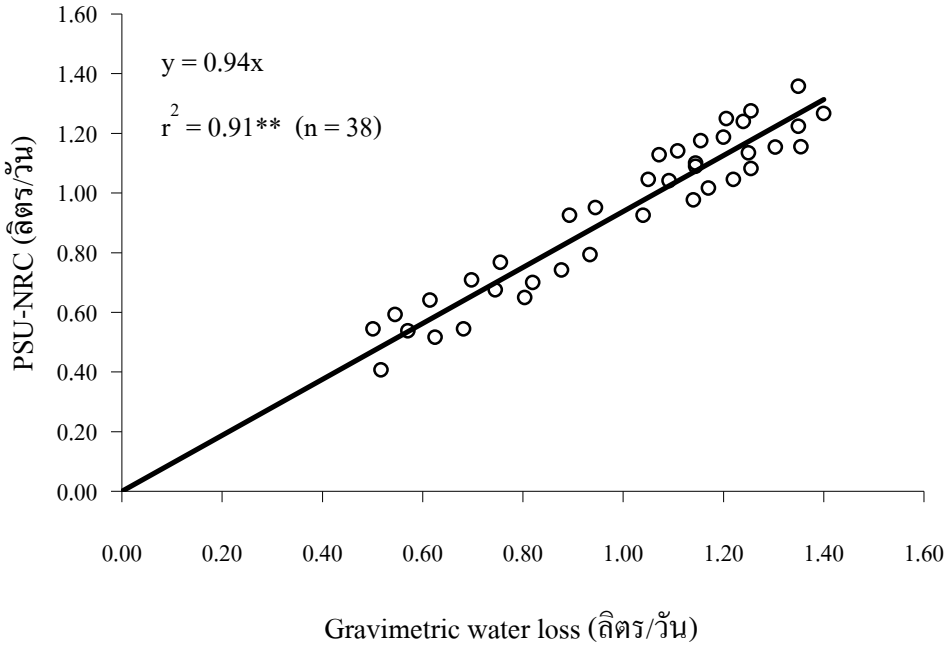
2.4 ทำการปรับปรุงเครื่องมือต้นแบบและจัดทำคู่มือ

เครื่องต้นแบบจะถูกปรับปรุงให้เหมาะสมกับการวัด โดยปรับปรุงให้เครื่องมีความคงทนในการใช้งาน และขยายหน่วยความจำเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่อง และปรับแต่งให้เครื่องมือมีความแม่นยำในการวัด ปรับปรุงเครื่องต้นแบบให้สามารถใช้วัดกับต้นไม้ผลชนิดต่างๆ ที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่างๆกัน และพัฒนารูปแบบการวัดให้ สามารถประเมินผลเพื่อแสดงเป็นปริมาณการใช้น้ำในรอบวันได้ด้วย

บทที่ 3
ผลการวิจัย

3.1 การทดสอบในสภาพโรงเรือน

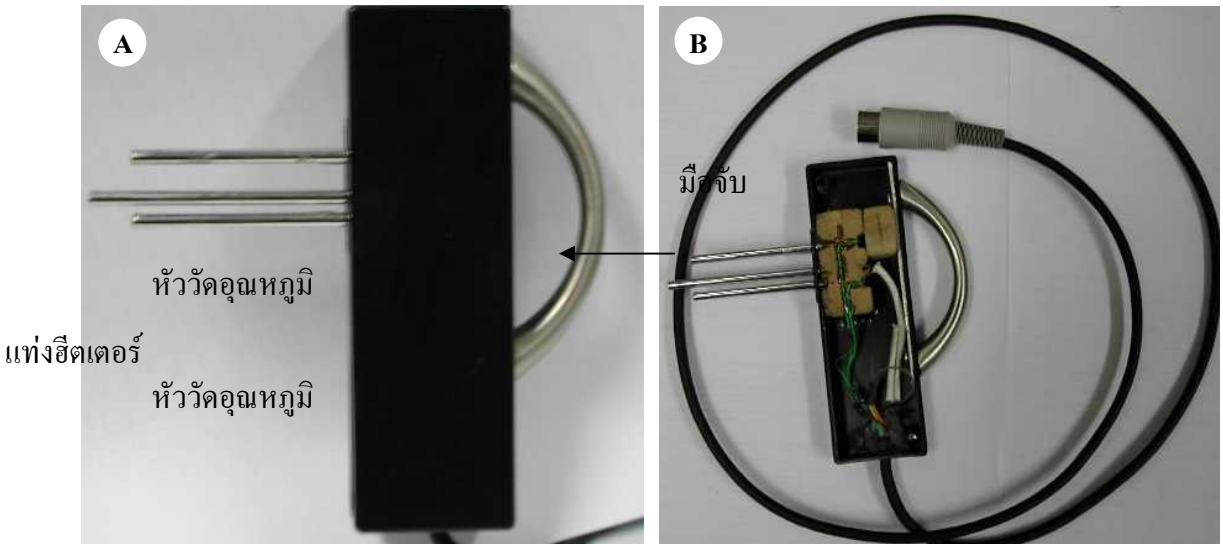
ผลการศึกษาอัตราการไหลของน้ำของต้นลองกองที่ปลูกในกระถางพบว่า อัตราการไหลของน้ำมีค่าต่ำในช่วงเช้า และเพิ่มสูงขึ้นถึงจุดสูงสุดในช่วงใกล้เที่ยงวัน จนกระทั่งในช่วงกลางวันจึงมีค่าอัตราการไหลค่อยๆ ลดลง และมีค่าต่ำในช่วงเย็น และเวลากลางคืน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของต้นลองกองที่วัดโดยชั่งน้ำหนักและโดยวิธีการวัด ผลการทดลองพบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ดังภาพที่ 7 แสดงว่าเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำได้ใกล้เคียงกับการชั่งน้ำหนักโดยตรง



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำของต้นลองกองด้วยการชั่งน้ำหนักและการใช้เครื่องมือ

3.2 การวัดการไหลของน้ำของต้นไม้ผลในสภาพแปลงปลูก

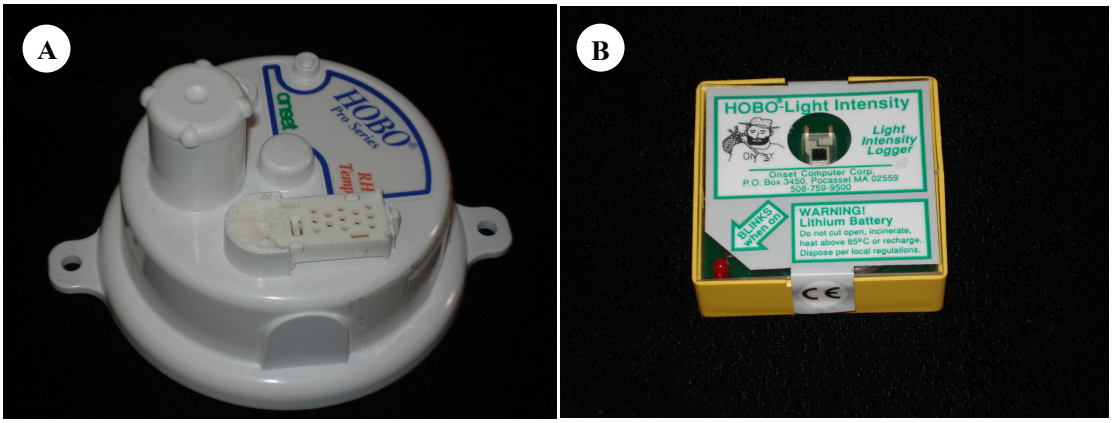
3.2.1 ผลจากการวัดการไหลของน้ำในต้นไม้ผลประสบกับปัญหา เมื่อดึงหัววัดออกจากลำต้นทำได้ยากเพราะเนื้อไปสมานเข้ามาจนแน่นเมื่อดึงทำให้หัวโพลบหลุดออกเสียหาย จึงต้องทำการปรับปรุงหัววัดใหม่ โดยมีการยึดตัวแท่งฮีตเตอร์ และหัววัดอุณหภูมิให้แน่นมากขึ้น ไม่หลุดง่ายดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 หัววัดที่ประกอบเสร็จแล้ว (A) และแสดงการติดตั้งแท่งฮีตเตอร์และหัววัดอุณหภูมิภายในหัววัด (B)

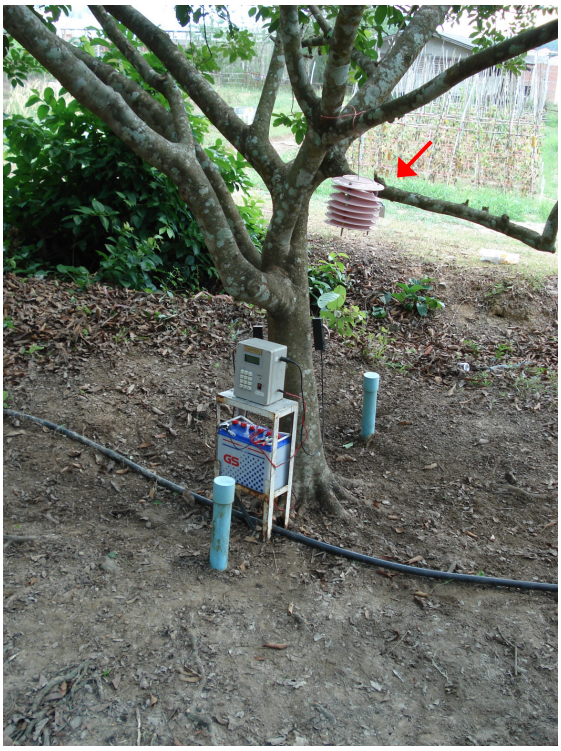
นอกจากรูปแบบที่จะปรับปรุงในโครงการนี้ที่แต่เดิมวางแผนไว้ว่าจะมีการเชื่อมตัวหัววัดแสง อุณหภูมิ และความชื้นเข้ากับตัวเครื่องวัด ปรากฏว่ามีปัญหาในการที่จะต่อระบบ และการติดตั้งมีปัญหาเนื่องจากเมื่อมีลมพายุพัดแรงทำให้สายหลุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าในประเด็นนี้ควรปรับปรุงโดยใช้หัววัดแสง อุณหภูมิและความชื้น แยกออกมาประกอบกับในปัจจุบันมี micrologger ที่ใช้วัดอุณหภูมิความชื้นและแสง โดยเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่องและใช้แบตเตอร์รี่ขนาดเล็ก แบบถ่านนาฬิกา ซึ่งมีขนาดเล็กติดตั้งได้ง่ายดังนั้น จึงปรับปรุงโดยใช้หัววัด HOBO Pro series ที่วัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ได้อย่างต่อเนื่องและหัววัดแสง HOBO- Light intensity (ภาพที่ 9) ดังนั้นทำให้การทดสอบในแปลงปลูกต้องเลื่อนไปดำเนินการในช่วงเดือนมีนาคม 2550 เพราะอุปกรณ์ดังกล่าวต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ และเมื่อติดตั้งในสภาพแปลงปลูกสามารถทำได้โดยวาง HOBO- Light intensity บนแป้นไม้ที่วางบนท่อ PVC ที่มีความยาว 4 เมตร โดยให้หัววัดแสงอยู่เหนือทรงพุ่มได้ (ภาพที่ 10) ส่วนหัววัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ได้ทำการแขวนภายใต้ตัวครอบที่กันฝน แต่ให้อากาศถ่ายเทได้ซึ่งทำที่ครอบขึ้นโดยใช้จานพลาสติกซ้อนแล้ว

ร้อยด้วยน๊อตหางปลา และแขวน บนกิ่งภายในทรงพุ่ม (ภาพที่ 11) จากนั้นได้ทำการติดเครื่องมือที่ต้นเงาะ (ภาพที่ 12) และต้นลองกอง(ภาพที่ 13) ผลการวัดได้ดังภาพที่ 14 และ 15



ภาพที่ 9 ไมโครลอกเกอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ(A) เครื่องวัดความเข้มของแสง (B)

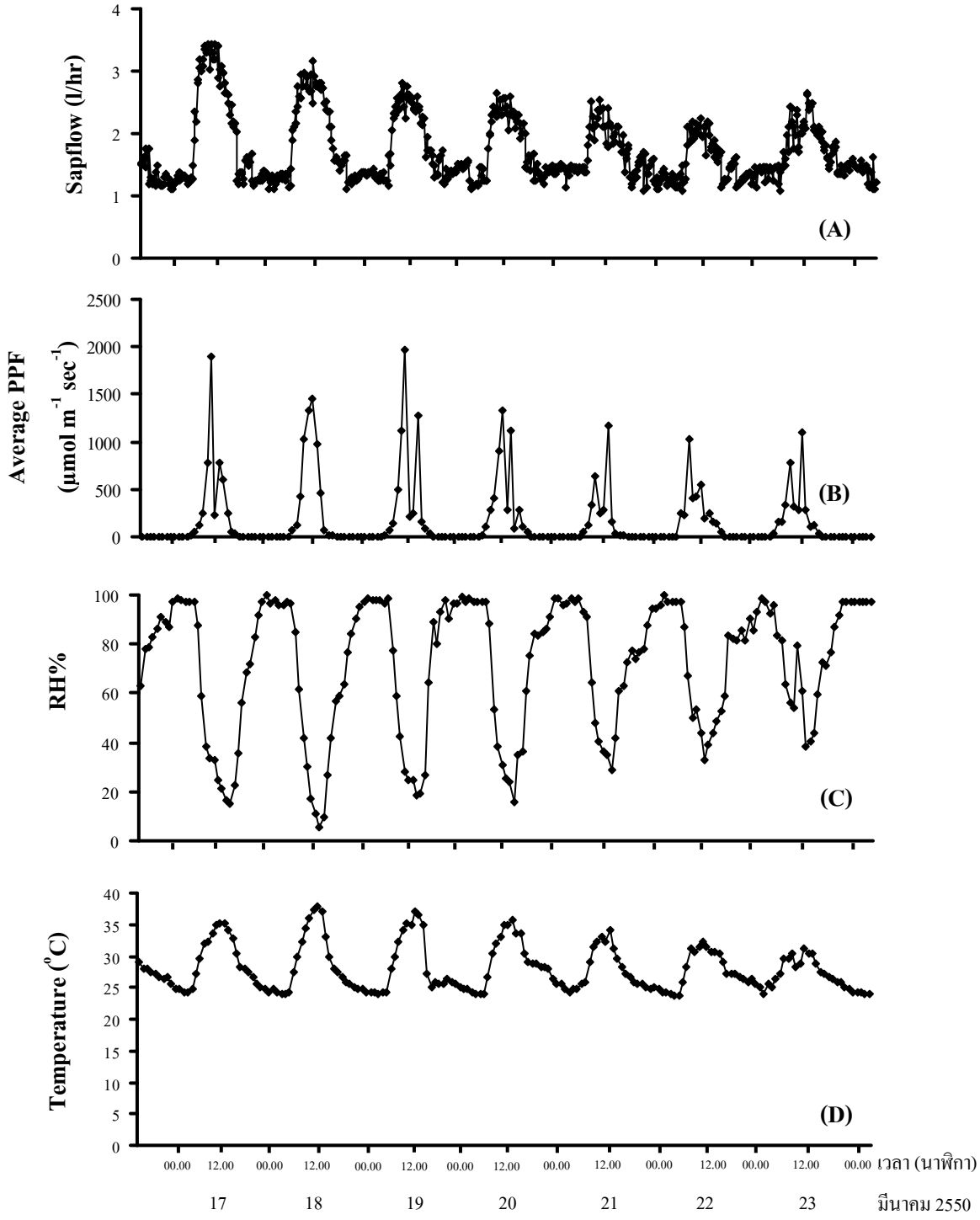
ภาพที่ 10 การติดตั้งเครื่องวัดความเข้มของแสง ไว้เหนือทรงพุ่ม



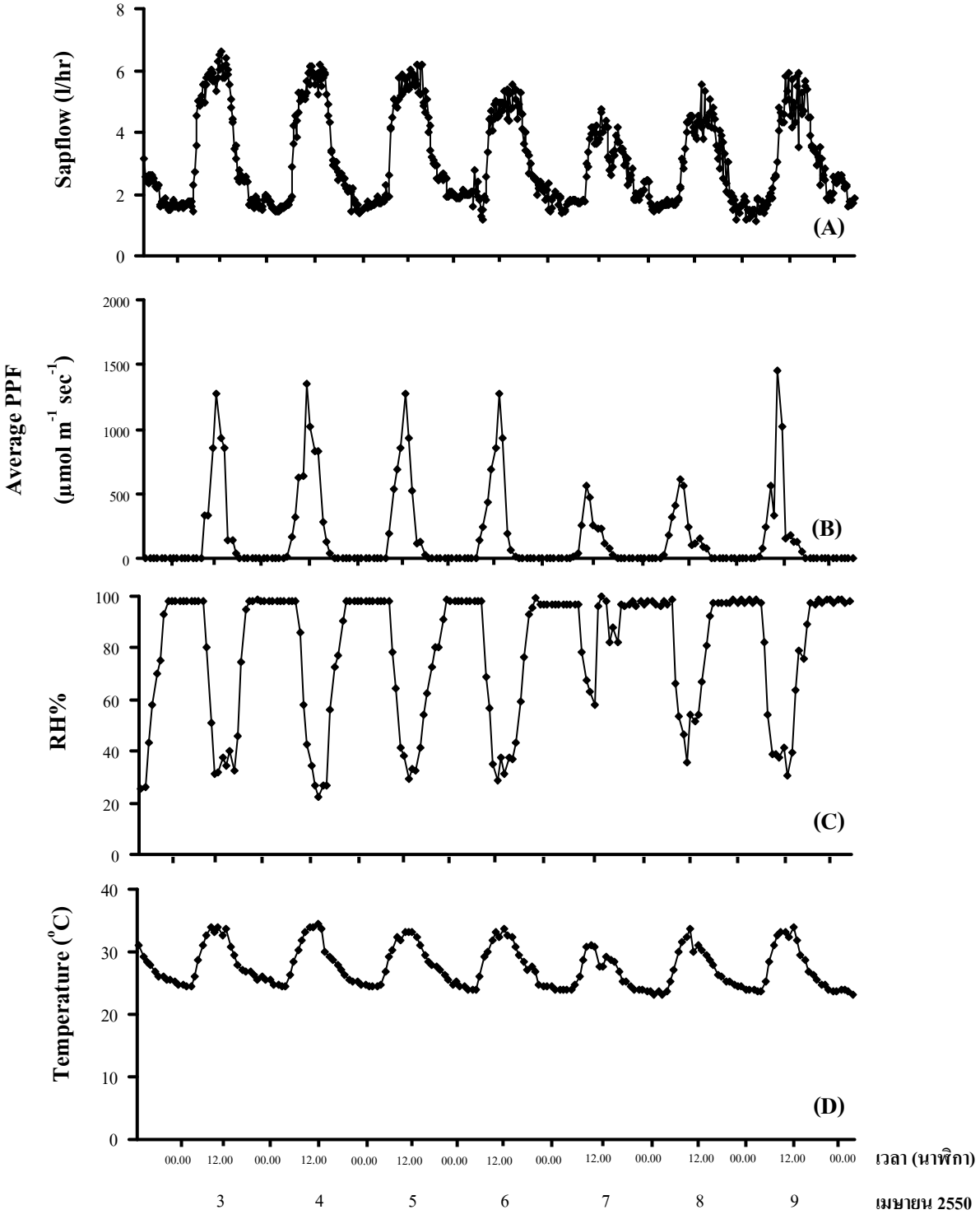
ภาพที่ 11 การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำวัดกับต้นเงาะ

ภาพที่ 12 การติดตั้งไมโครลอกเกอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิไว้ภายในทรงพุ่ม

ภาพที่ 13 การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำวัดกับต้นลองกอง



ภาพที่ 14 แสดงค่าอัตราการไหลของน้ำ(A) ปริมาณความเข้มแสง (B) ปริมาณความชื้น(C) และ อุณหภูมิ(D) ของต้นลองกอง



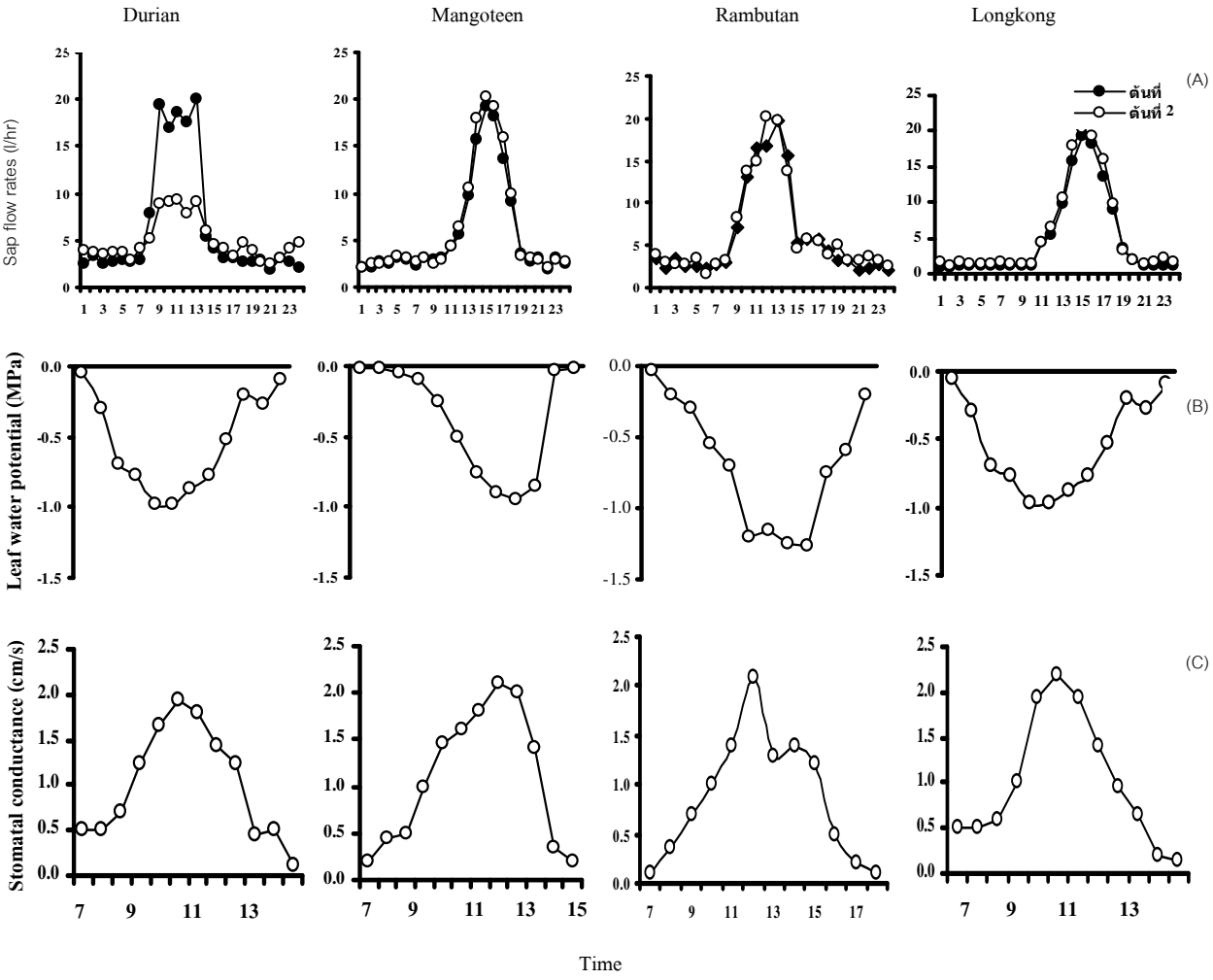
ภาพที่ 15 แสดงค่าอัตราการไหลของน้ำ(A) ปริมาณความเข้มแสง (B) ปริมาณความชื้น(C) และอุณหภูมิ(D) ของต้นเงาะ

3.2.2 ทำการทดสอบวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้นของไม้ผลเขตร้อน 4 ชนิด คือ ทุเรียน ลองกอง มังคุด และเงาะ โดยใช้ต้นทุเรียนอายุ 15 ปี ลองกองอายุ 14 ปี มังคุดและเงาะอายุ 12 ปี ชนิดละ 2 ต้น โดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบพัลส์ความร้อนรุ่น PSU-NRT ที่แปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ในปี 2550

ในการวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้นด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบพัลส์ความร้อนรุ่น PSU-NRT ทำการปัก 2 หัววัดต่อต้น (ภาพที่ 16) ที่ระดับความลึก 2 ซม. เพื่อบันทึกอัตราการไหลของน้ำในรอบวันของไม้ผลทั้ง 4 ชนิด ในวันเดียวกันทำการวัดศักย์ของน้ำในใบด้วย Pressure chamber (PSM, USA) พร้อมทั้งวัดค่าการชักนำปากใบ (Stomatal conductance) ด้วย Porometer รุ่น AP 4 (Delta-T, UK) ทำการวัดต่อเนื่องทุกชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 07.00-18.00 น. ในการวัดแต่ละครั้งใช้จำนวนใบ 3 ใบ เพื่อทำการวัด 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย ใบที่ใช้วัดคือใบเพสลาดที่ได้รับแสงบริเวณชายพุ่ม

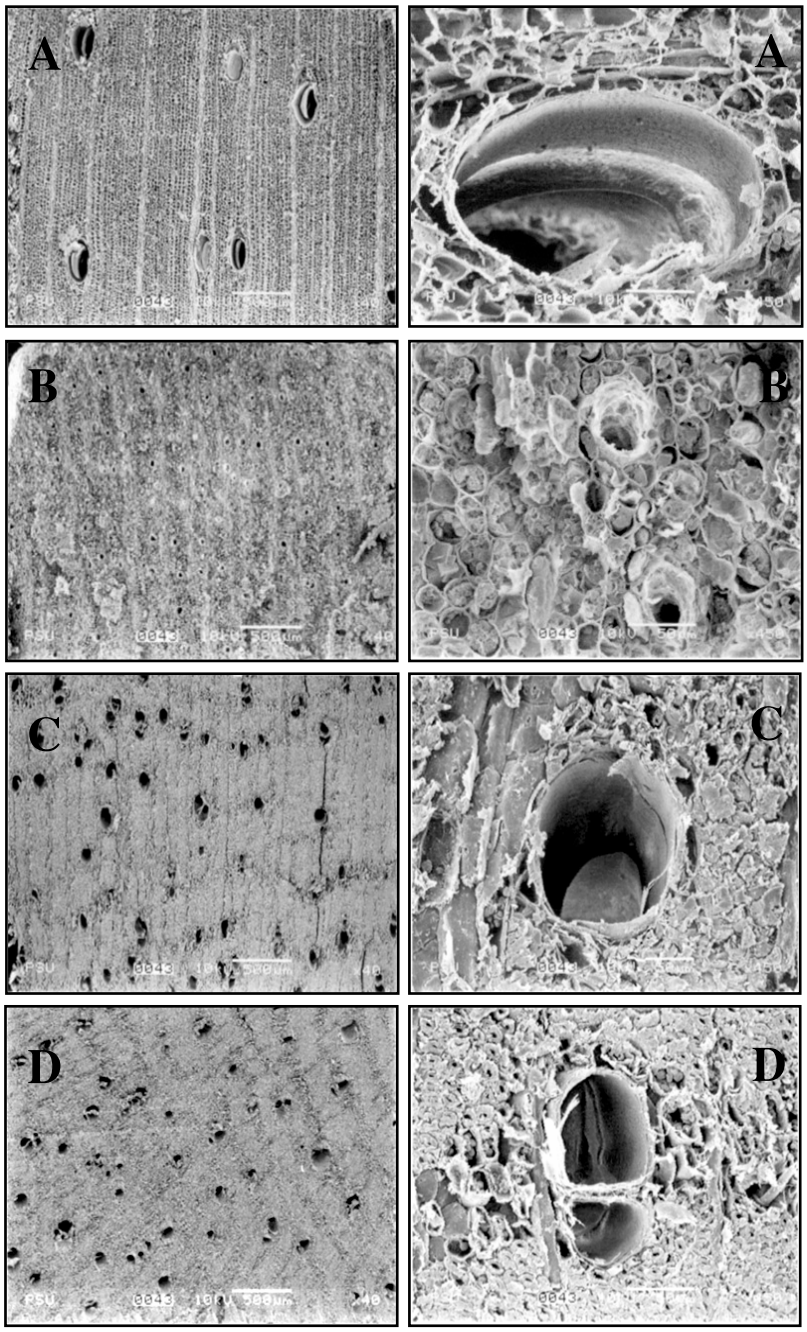
ภาพที่ 16 แสดงการปักหัววัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้นด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบพัลส์ความร้อนรุ่น PSU-NRT

ผลจากการวัดอัตราการไหลของน้ำในรอบวันของต้นทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง (ภาพที่ 17A) แสดงให้เห็นว่า อัตราการไหลของน้ำสูงขึ้นในช่วงที่ค่าชักนำปากใบสูงขึ้น (ภาพที่ 17C) ขณะที่ค่าศักย์ของน้ำในใบลดลงในช่วงเช้า และลดต่ำลงในช่วงกลางวัน (ภาพที่ 17B) และเมื่ออัตราการไหลของน้ำในต้นลดลง ค่าความต้านทานของปากใบก็ลดลงตามไปด้วย ส่วนค่าศักย์ของน้ำในใบสูงขึ้นในช่วงเย็น เป็นที่น่าสังเกตว่า จากการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นมังคุด เงาะ และลองกอง ของ 2 ต้น มีค่าใกล้เคียงกันมาก ขณะที่การวัดในต้นทุเรียน พบว่าค่าที่วัดได้ของ 2 ต้นต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

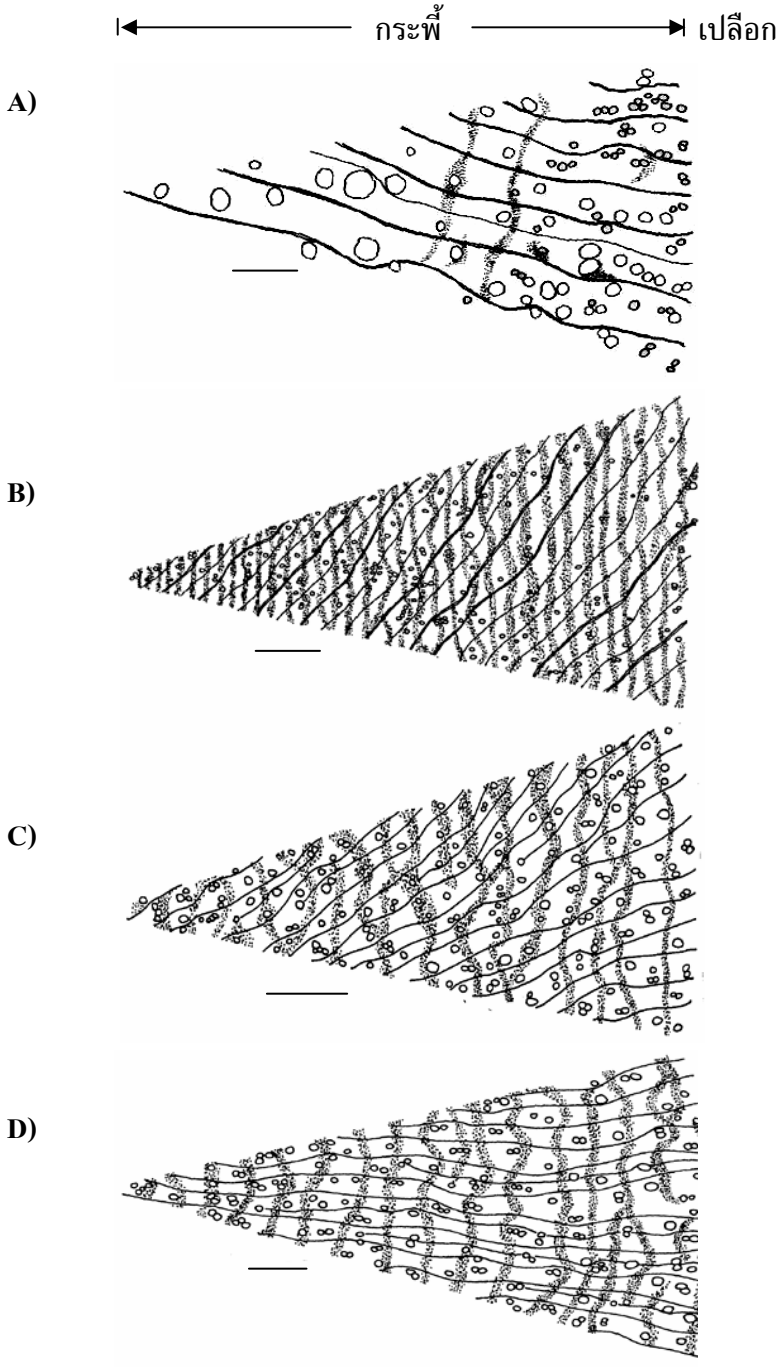


ภาพที่ 17 อัตราการไหลของน้ำ(A), ค่าศักย์ของน้ำในใบ (B) และค่าชักนำปากใบ (C) ในรอบวันของทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง

จากการประเมินความแตกต่างของท่อน้ำในไม้ผล 4 ชนิด (ภาพที่ 18) แสดงให้เห็นว่าท่อน้ำของทุเรียนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าท่อน้ำของมังคุด เงาะ และลองกองอย่างเห็นได้ชัดเจน ขณะที่ท่อน้ำของมังคุดมีขนาดเล็กที่สุด ส่วนของเงาะและลองกองมีขนาดปานกลางใกล้เคียงกัน และเมื่อประเมินการจัดเรียงตัวของท่อน้ำ (ภาพที่ 19) แสดงให้เห็นว่าท่อน้ำของทุเรียนมีการจัดเรียงตัวของท่อน้ำไม่สม่ำเสมอ (heterogeneous) แต่การจัดเรียงตัวท่อน้ำของมังคุด เงาะ และลองกองมีความสม่ำเสมอ (homogeneous) ความแตกต่างมีความชัดเจนมากขึ้นเมื่อทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำและระยะห่างระหว่างท่อน้ำที่กระจายตัวในส่วนกระพี้ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าทุเรียนมีท่อน้ำขนาดใหญ่สุดคือ อยู่ระหว่าง 150-350 ไมครอน ท่อน้ำของมังคุดมีขนาดเล็กที่สุดเพียง 30-80 ไมครอน ส่วนท่อน้ำของเงาะและลองกองมีขนาดใกล้เคียงกัน คือ 70-120 และ 70-150 ไมครอนตามลำดับ และระยะระหว่างท่อน้ำของทุเรียนต่างจากไม้ผลทั้ง 3 ชนิดอย่างชัดเจน



ภาพที่ 18 ภาพตัดขวางของท่อน้ำในทุเรียน (A), มังคุด (B), เงาะ (C) และลองกอง (D) ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (1.x40., 2.x450.)



ภาพที่ 19 โครงสร้างเนื้อไม้และการจัดเรียงตัวของท่อน้ำจากการตัดตามขวางของกิ่งทุเรียน (A), มังคุด (B), เงาะ (C) และลองกอง (D)

ตารางที่ 1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำ และระยะห่างระหว่างท่อน้ำที่กระจายตัวในส่วนกระพี้ของทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง

	Durian	Mangosteen	Rambutan	Longkong
Diameter of xylem vessels (μm)	150-350	30-80	70-120	70-150
Spacing between xylem vessels (μm)	25-1500	50-500	50-350	25-350

ผลจากการศึกษาพารามิเตอร์ ของความหนาของเปลือกไม้ กระพี้ แก่นไม้ และค่า Volume function ของน้ำ (Vh) และเนื้อไม้ (Vw) ของเงาะและลองกอง มีค่าดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความหนาของเปลือกไม้ กระพี้ และแก่นไม้ และค่า Vh และ Vw ของทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง

ชนิดพืช	ความหนา (ซม.)			Volume function	
	เปลือกไม้	กระพี้	แก่นไม้	Vh	Vw
ทุเรียน	0.60	13.70	0.30	0.70	0.30
มังคุด	0.56	10.70	0.27	0.48	0.52
เงาะ	0.43	12.23	0.30	0.55	0.45
ลองกอง	0.33	7.43	0.20	0.57	0.43

การปรับปรุงเกี่ยวกับต้นแบบและจัดทำคู่มือ

จากการศึกษาการวัดที่ประสบปัญหาหัววัดไม่แข็งแรง จึงได้ทำการปรับปรุงใหม่ให้มีสภาพทนทานต่อการดึงเพื่อวัดผลต่อเนื่อง

นอกจากนี้ได้จัดทำคู่มือในรูปเอกสาร และแผ่น CD (คือคู่มือ และแผ่นที่แนบมาด้วย) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้น พร้อมกันนี้ได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปยังนักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป เมื่อวันที่ 24 ถึง 25 เมษายน พ.ศ.2551 ณ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยมีผู้เข้าร่วมอบรมรวม 68 คน ดังภาคผนวก

วิจารณ์

การเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำโดยวิธีพัลส์ความร้อนด้วยเครื่อง PSU-NRC และวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric water loss)

จากการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นลองกองด้วยวิธีพัลส์ความร้อนด้วยเครื่อง PSU-NRC เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำโดยวิธีการชั่งน้ำหนัก พบว่าเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำสามารถวัดปริมาณการใช้น้ำของต้นลองกองได้ใกล้เคียงกับการใช้วิธีชั่งน้ำหนัก เห็นได้ว่าอัตราการไหลของน้ำจะมีค่าต่ำในช่วงเช้า และเพิ่มขึ้นสูงถึงจุดสูงสุดในช่วงใกล้เที่ยงวัน จนถึงช่วงกลางวันมีค่าอัตราการไหลค่อยๆ ลดลง และมีค่าต่ำในช่วงเย็น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Green and Clothier ในปี 1988, รุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล ในปี 2537 และ Longuenesse และคณะซึ่งทำการศึกษาในแอปเปิ้ล และกีวีฟรุต ยูคาลิปตัส และมะเขือเทศ พบว่าอัตราการไหลของน้ำสัมพันธ์ไปกับปริมาณแสงในรอบวันในรูปแบบเดียวกัน คือ ปริมาณแสงต่ำในช่วงเช้า อัตราการไหลของน้ำมีค่าต่ำ และเมื่อปริมาณแสงค่อยๆ เพิ่มขึ้นพบว่าอัตราการไหลของน้ำมีค่า เพิ่มขึ้น จนปริมาณแสงสูงสุดในช่วงกลางวัน อัตราการไหลของน้ำมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน เช่นเดียวกันเมื่อปริมาณแสงค่อยๆ ลดลงในตอนบ่าย จนปริมาณแสงต่ำสุด อัตราการไหลของน้ำมีค่าลดลงตามลำดับ

การศึกษาการวัดการไหลของน้ำของต้นไม้ผลในสภาพแปลงปลูก

จากการทดสอบการวัดการไหลของน้ำของต้นไม้ผลในสภาพแปลงปลูก เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณความเข้มแสง ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิ ที่มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำในต้นพืช รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางสรีรวิทยากับอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชด้วย ซึ่งทดสอบกับไม้ผล 4 ชนิดคือ ทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง พบว่า ปริมาณความเข้มแสงมีผลต่ออัตราการไหลของน้ำในต้นไม้ผล เช่นเดียวกับอุณหภูมิ และปริมาณความชื้น เนื่องจากในช่วงรอบวันที่ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำในพืชนั้น ช่วงกลางวันจะมีปริมาณความเข้มแสง และอุณหภูมิสูง ทำให้อัตราการไหลของน้ำมีค่าสูง และค่อยๆ ลดลงในช่วงบ่าย สำหรับปริมาณความชื้น พบว่าหากปริมาณความชื้นในดินลดต่ำลงมาก จะทำให้อัตราการไหลของน้ำลดต่ำลงเช่นกัน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและค่าทางสรีรวิทยาพบว่า อัตราการไหลของน้ำที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันสอดคล้องกับค่าชักนำปากใบที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากค่าชักนำปากใบที่เพิ่มขึ้นแสดงผลทางอ้อม คือการคายน้ำของใบที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าศักย์ของน้ำในใบซึ่งลดลงแสดงการสูญเสียน้ำออกไปจากใบ แต่ในช่วงเย็นปากใบปิดลงส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำลดลงตามไปด้วย ดังนั้น การวัดอัตราการไหลของน้ำสามารถประเมินการเคลื่อนที่ของน้ำในต้นพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามผลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่ายังมีข้อจำกัดในการวัดดังเช่นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับทุเรียน ที่พบว่าค่าการวัดไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้เป็นเพราะการจัดเรียงตัวของท่อน้ำในส่วนกระพี้มีความแตกต่างกัน และไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อปักหัววัดลงไปในตำแหน่งที่ไม่ตรงกับท่อน้ำทำให้การนำความร้อนผิดปกติได้ ข้อจำกัดนี้ Smith และ Allen (1996) ได้รายงานว่าการจัดเรียงของท่อน้ำในส่วนกระพี้ถ้ามีระยะห่างมากกว่า 400 ไมครอน มีผลทำให้การกระจายความร้อนบางส่วนส่งผ่านความร้อนสู่พื้นที่หน้าตัดของกระพี้ไม่สม่ำเสมอ จากผลของการทดลองนี้จึงแนะนำว่าก่อนการวัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ผลชนิดอื่นควรมีการประเมินการจัดเรียงของท่อน้ำ และขนาดของท่อน้ำเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อลดความผิดพลาดในการวัด ดังเช่นรายงานของ Fernández *et al*.,(2006) พบว่า ส้มมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำใหญ่กว่ามะกอก และพลัม แต่ว่าความหนาแน่นของท่อน้ำในส้มมีน้อยกว่า

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้เครื่องมือวัดการไหลของน้ำในลำต้นไม้ผลโดยวิธีพัลส์ความร้อนมีความสัมพันธ์กับการวัดโดยวิธี gravimetric method อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ยังไม่สามารถเทียบในสภาพแปลงปลูกจริงได้โดยการประเมินการสูญเสียน้ำจากดิน เนื่องจากเครื่องมือ Soil moisture gauge มีความเสียหายระหว่างการทดลองไม่สามารถใช้งานได้ อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองในสภาพแปลงปลูกแสดงให้เห็นว่าสามารถวัดผลต่อเนื่องได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เครื่องมือวัดไม้ผลบางชนิดแนะนำว่าก่อนใช้เครื่องมือนี้ในการวัดควรศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของการจัดเรียงท่อน้ำและพารามิเตอร์ของเนื้อไม้ด้วย

สรุป

ผลจากการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นลองกองที่ใช้เป็นพืชทดสอบซึ่งวัดโดยวิธีพัลส์ความร้อนด้วยเครื่อง PSU-NRC และวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric water loss) มีค่าใกล้เคียงกัน มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง โดยมีสมการเส้นตรงดังนี้ คือ $y = 0.94x$ และมีค่า $r^2 = 0.91$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางสรีรวิทยาของพืชกับอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

- อัตราการไหลของน้ำในต้นพืชมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงที่พืชได้รับในแต่ละช่วงเวลา คือ เมื่อปริมาณความเข้มแสงต่ำอัตราการไหลของน้ำในลำต้นพืชก็จะมีค่าต่ำ แต่เมื่อปริมาณความเข้มแสงสูงขึ้น อัตราการไหลของน้ำลำต้นพืชก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย
- การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำในรอบวันสอดคล้องกับค่าชักนำปากใบที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากค่าชักนำปากใบเพิ่มขึ้น มีผลทางอ้อมคือ การคายน้ำของใบเพิ่มขึ้น ดังนั้นศักย์ของน้ำในใบจึงลดลง
- อัตราการไหลของน้ำในลำต้นพืชมีความสัมพันธ์กับขนาดลำต้นหรือพื้นที่กระพี้ โดยถ้าลำต้นมีขนาดใหญ่ อัตราการไหลของน้ำในลำต้นก็จะมีค่าสูง แต่ถ้าลำต้นมีขนาดเล็ก อัตราการไหลของน้ำในลำต้นก็จะมีค่าต่ำไปด้วย
- จากการทดสอบการวัดอัตราการไหลของน้ำในสภาพแปลงปลูกของไม้ผลเขตร้อน 4 ชนิด คือ ทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง พบว่าอัตราการไหลของน้ำในต้นทุเรียนมีความแปรปรวน ขณะที่ไม้ผลชนิดอื่นไม่พบความผิดปกติในการใช้ ทั้งนี้เป็นเพราะการกระจายตัวของท่อน้ำในเนื้อไม้ทุเรียนไม่สม่ำเสมอ แต่ในไม้ผลอีกสามชนิดการกระจายตัวของท่อน้ำมีความสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีการแนะนำก่อนการใช้เครื่องมือนี้ควรมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติการจัดเรียงตัวของท่อน้ำในเนื้อไม้

เอกสารอ้างอิง

ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล มณเทพ เกียรติวีระสกุล และสายัณห์ สดุดี 2539 วิจัยและพัฒนาเซนเซอร์เพื่อวัดการใช้น้ำของไม้ผล รายงานวิจัยเสนอต่อศูนย์เทคโนโลยีอิเลคทรอนิคส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ 38 หน้า.

ปัญจพร เลิศรัตน์ สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก พิมล เกษสยม ภิรมย์ ขุนจันทึก และพะยงค์ เก่งกาจ 2539 ผลของการให้ปุ๋ยในระบบน้ำต่อการเจริญเติบโตพัฒนาการและผลผลิตของมังคุด เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี 2538. 5-8 มีนาคม 2539 ณ โรงแรมเคพีแกรนด์ จันทบุรี

รุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล 2537 การวัดปริมาณน้ำที่พืชใช้เพื่อวางมาตรการปลูกพืชลดระดับน้ำใต้ดินเค็ม พื้นที่จังหวัดขอนแก่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เอกสารวิชาการเสนอในการประชุมวิชาการเรื่อง “เทคโนโลยีกับการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ” 19-20 สิงหาคม 2537 ณ โรงแรมโฆษะ จ. ขอนแก่น

สายัณห์ สดุดี วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน และชูศักดิ์ ลิ่มสกุล 2543 การประเมินความเที่ยงตรงของการวัดการไหลน้ำของต้นลองกองและมังคุด โดยเปรียบเทียบระหว่าง PSU-NECTEC 1 กับ Greenspan Sapflow Sensors. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 22(2) : 271-278.

สายัณห์ สดุดี ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล และสาวิตร์ ตัณฑนุช 2547 การปรับปรุงเครื่องต้นแบบของเครื่องมือวัดการไหลของน้ำภายในลำต้นพืชโดยวิธีพัลส์ความร้อน. ว.วิทย. กษ 35 5-6 (พิเศษ): 445-448.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2541 ผลกระทบจากปรากฏการณ์เอลนิโนต่อภาคเกษตรในข่าวสารเศรษฐกิจการเกษตร ปีที่ 44 เล่มที่ 499 มิถุนายน 2541 หน้า 13-14

Caspari, H.W., Behboudian, M.H, Chalmers, D.J. and Renquist, A.R. 1993. Pattern of seasonal water use of Asian pears determined by lysimeters and the heat-pulse technique. J. Amer. Soc. Hort.Sci. 118(5): 562-569.

Cohen, Y., Fuchs, M. and Green, G.C. 1981. Improvement of heat pulse method for determining sap flow in trees. Plant, Cell and Environment 4: 391-397.

Edwards, W.R.N. and Warwick, N.W.M. 1984. Transpiration from a kiwifruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman Monteith equation. N.Z.J. Agr. Res. 27: 537-543.

Elfving, D.C. 1982. Crop response to trickle irrigation. Hort. Rev. 4: 1-48.

Fernandez, J.E., Duran, P.J., Palomo, M.J., Diaz-Espejo, A., Chamorro, V. and Diron, I.F. 2006. Calibration of sap flow estimated by the compensation heat pulse method in olive, plum and orange trees : relationships with xylem anatomy. Tree Physiol. 26:719-28.

Granier, A., Bobay, V., Gash, J.H.C., Gelpe, J., Sangier, B. and Shuttleworth, W.J. 1990. Vapour flux density and transpiration rate comparisons in a stand of maritime pine (*Pinus pinasta* Ait) in Les Landes forest. Agic. For. Meteorol. 51: 309-319.

Green, S.R. and Clothier, B.E. 1988. Water use of kiwifruit vines and apple trees by the heat pulse technique. J. of Exp. Bot. 39: 115-123.

Green, S.R and Clothier, B.E. 1995. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. Plant and Soil 17: 317-328.

Green, S.R., Clothier, B.E. and Mcleod, D.J. 1997. The response of sap flow in apple roots to localized irrigation. Agric. Water Manage. 33: 63-78.

Lonquenesse, J.J., C. Lenardi, K.E. Cockshull, Y. Tuzel and A. Gul. 1994. Some ecoohysiological indicators of salt stress in greenhouse tomato plants. Acta Horticulturae 336: 461-467.

Moreno, F., Fernandez, J.E., Clothier, B.E and Green, S.R. 1996. Transpiration and root water uptake by olive trees. Plant and Soil 184: 85-96.

Schuch, U.K. and Burger, D.W. 1997. Water use and crop coefficient of woody ornamentals in containers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122(5): 727-734.

Smith, D.M and Allen, S.J. 1996. Measurement of sap flow in plant stems. J.Exp.Botany. 47(305):1833-1844.

Steinberg. S.L., McFarland, M.F. and Worthington, J.W. 1990. Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in pecan. J. Exp. Botany 41: 653-659.

Vieweg, G.I.I. and Zigler, I.I. 1960. Thermoelektrische Registriezing der Geschwindigkeit des transpirationsstromes. Berichte Dentsche Botanische Gesellschaft 73: 221-226.