

การวัดการไหลของน้ำในไม้ต้น ด้วยหัววัดการกระจายอนุภาค และการประยุกต์ใช้



พินธนา ตอเงิน และคณะ

การวัดการไหลของน้ำในไม้ต้นด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิ
และการประยุกต์ใช้

Tree Sap Flow Measurement by Thermal Dissipation
Probes and Its Applications



การวัดการไหลของน้ำในไม้ต้นด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิ
และการประยุกต์ใช้
Tree Sap Flow Measurement by Thermal Dissipation
Probes and Its Applications

พินธนา ตอเงิน และคณะ

 **สำนักพิมพ์**
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2566

พินธนา ตอเงิน

การวัดการไหลของน้ำในไม้ต้นด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิและการประยุกต์ใช้ / พินธนา ตอเงิน และคณะ

1. พีช -- การคายน้ำ -- การวัด. 2. น้ำเลี้ยง. 3. หัววัด (เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์).

I. พินธนา ตอเงิน.

575.8

ISBN (e-book) 978-616-598-398-3

Q32/02/2566



สสคุณคำวิชาการ สู่สังคม

Knowledge to All

www.cupress.chula.ac.th

หนังสือเล่มนี้ผ่านการตรวจคุณภาพวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิของสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จัดทำโดย รองศาสตราจารย์ ดร.พินธนา ตอเงิน

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทร. 0-2218-5175, 09-9394-9777

ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2566 [CUP6507-145K]

บรรณาธิการอำนวยการ : ศาสตราจารย์ ดร.อรัญ ชาญสืบสาย นางอรทัย นันทนาคิตย์

กองบรรณาธิการฝ่ายวิชาการ : ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.ปิยนภ บุนนาค

รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์

รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ชิษณุ พันธุ์เจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์

ผู้ประสานงาน : วาสนา ชำเซ็น

พิสูจน์อักษร : เพ็ญภา สำเนียง

ออกแบบปกและรูปเล่ม : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สั่งซื้อได้ที่ ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

<http://www.chulabook.com>

โทร. 08-6323-3703-4

customer@cubook.chula.ac.th, info@cubook.chula.ac.th

Apps: CU-eBook Store

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนหลักขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกของตน คือ Professor Ram Oren, Ph.D. และรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาเอกทุกคนในกลุ่มวิจัย แห่ง Duke University ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อครั้งที่ผู้เขียนหลักยังศึกษาอยู่ ที่ได้ให้โอกาสเรียนรู้ และสร้างเสริมประสบการณ์เกี่ยวกับเทคนิคการวัดอัตราการไหลของน้ำด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิที่นำเสนอในหนังสือเล่มนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ผู้ร่วมวิจัยแห่ง Swedish University of Agricultural Sciences ได้แก่ Professor Torgny Näsholm, Ph.D. และ Associate Professor Niles Hasselquist, Ph.D. (ถึงแก่กรรม) ที่ให้โอกาสผู้เขียนหลักติดตั้งและดูแลระบบตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำในป่าสนหลายแห่งในประเทศสวีเดน ขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยที่สนับสนุนการติดตั้งระบบตรวจวัดในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ได้แก่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) Swedish Research Council แห่งประเทศสวีเดน The French National Research Agency (ANR) แห่งประเทศฝรั่งเศส และ National Natural Science Foundation of China (NSCFF) แห่งประเทศจีน ระหว่างช่วง พ.ศ. 2561-2564 ขอขอบคุณกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษา ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยทั้งในและต่างประเทศ คณาจารย์ ผู้ร่วมงาน และนิสิตทั้งในและนอกจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 2 ท่าน ที่ให้คำแนะนำ และข้อชี้แนะในการปรับปรุงหนังสือ ทำให้เนื้อหามีความสมบูรณ์และถูกต้องตามหลักวิชาการมากที่สุด ทุกท่าน ล้วนเป็นแรงสำคัญที่ทำให้หนังสือเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้เขียนหลักและคณะจึงขอขอบคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

บทนำ

ปัจจุบันการวัดการไหลของน้ำในท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้น ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มนักวิจัยที่ต้องการวัดอัตราการใช้น้ำของไม้ต้น และศึกษาปริมาณการคายน้ำของป่าไม้ ซึ่งเชื่อมโยงกับวัฏจักรน้ำในระบบนิเวศป่า หนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ในการตรวจวัดข้อมูลดังกล่าว คือ การตรวจวัดด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิ (Thermal Dissipation Probe: TDP) ที่ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส Dr. André Granier แห่งสถาบันวิจัยแห่งชาติเพื่อการเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม (National Research Institute for Agriculture, Food and Environment) ประเทศฝรั่งเศส เมื่อ ค.ศ. 1985 วิธีนี้เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีที่ค่อนข้างง่าย แม่นยำ และได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ ประกอบกับสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่หาได้เอง มีราคาประหยัด อย่างไรก็ตาม หากผู้ที่สนใจจะใช้วิธีนี้และต้องการประดิษฐ์ TDP เอง จำเป็นต้องเข้าใจทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นอย่างละเอียด เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาและวิจัยของตนได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากบทความหรือสิ่งพิมพ์ที่นำเสนอทฤษฎีและหลักการของ TDP เป็นภาษาต่างประเทศ ได้แก่ ภาษาฝรั่งเศส และภาษาอังกฤษ ผู้เขียนหลัก จึงมีแนวคิดที่จะเขียนคู่มือภาษาไทย ทั้งนี้ ผู้เขียนหลักมีประสบการณ์ในการประดิษฐ์ ติดตั้งระบบตรวจวัด และวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงผลิตงานวิจัยที่ใช้ TDP เป็นหลักมากกว่า 10 ปี โดยเริ่มทำงานวิจัยด้านนี้ตอนเป็นนักศึกษาปริญญาเอก ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา และได้ติดตั้งระบบตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำและประมาณการคายน้ำของป่าด้วย TDP ในป่าสนหลายแห่งในบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกาและตอนเหนือของประเทศสวีเดน และเมื่อเข้าทำงานเป็นอาจารย์ในประเทศไทย ได้มีโอกาสติดตั้งระบบตรวจวัดดังกล่าวในป่าสมบูรณ์ที่มีอายุมากกว่า 200 ปี และป่ารุ่นสองที่มีอายุต่ำกว่า 10 ปี ในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เมื่อปลาย พ.ศ. 2563 จึงเรียบเรียงหลักการที่เกี่ยวข้องวิธีการติดตั้ง รวมถึงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ TDP ในงานวิจัย โดยอาศัยความรู้ ประสบการณ์ และผลงานวิจัยของตน ประกอบกับเอกสารอ้างอิงที่ตนเคยอ่านและศึกษามาก่อนเป็นพื้นฐาน เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้จึงถูกถ่ายทอดผ่านความรู้และประสบการณ์ตรงของผู้เขียนหลัก ร่วมกับนักศึกษาปริญญาโท (ณ ช่วงเวลาที่เขียนหนังสือ) ได้แก่ นายวิรพงษ์ อุดมวงศ์ นายศิริพงศ์ แยมพุ่ม และนายรัชชานนท์ อัมพรพิทักษ์ ซึ่งได้ร่วมติดตั้งระบบตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำด้วย TDP ณ อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ นอกจากนี้ ผู้เขียนยังใช้เอกสารอ้างอิงหลักคือบทความปริทัศน์ของ Lu และคณะ (2004) ซึ่งมีความสมบูรณ์ของเนื้อหาเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคนิคนี้ มาประกอบการเขียนร่วมกับประสบการณ์ตรงของตนเอง รวมถึงค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้ทันสมัยขึ้น ผู้เขียนตั้งใจให้หนังสือเล่มนี้เป็นคู่มือสำหรับนักวิจัย นักศึกษา หรือผู้ที่สนใจ ที่จะใช้เทคนิคนี้ในการศึกษาหรือวิจัย เพื่อประโยชน์ทั้งในและนอกแวดวงวิชาการ ผู้เขียนน้อมรับคำแนะนำ ตติชม เพื่อนำไปปรับปรุงเนื้อหาในหนังสือนี้ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป สามารถติดต่อผู้เขียนหลักได้ที่ Pantana.t@chula.ac.th ขอขอบพระคุณล่วงหน้ามา ณ ที่นี้

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทนำ

สารบัญ

บทที่ 1 เหตุใดจึงต้องวัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้น	1
บทที่ 2 หลักการของหัววัดการกระจายอุณหภูมิ	9
บทที่ 3 ขั้นตอนการประดิษฐ์หัววัดการกระจายอุณหภูมิ	15
3.1 ขั้นตอนการเตรียมหัวเข็มฉีดยา	16
3.2 ขั้นตอนการเตรียม Aluminum sheath	18
3.3 ขั้นตอนการเตรียมสาย Thermocouple	21
3.4 ขั้นตอนการประกอบหัววัดอ้างอิงและหัววัดให้ความร้อน	25
บทที่ 4 ขั้นตอนการติดตั้งหัววัดการกระจายอุณหภูมิ และระบบตรวจวัดข้อมูล	31
4.1 การคัดเลือกไม้ต้น	32
4.2 การติดตั้งหัววัดการกระจายอุณหภูมิบนลำต้น	32
4.3 การตั้งค่าโปรแกรมของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger)	41
4.4 การบำรุงรักษาระบบตรวจวัดด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิ	61
บทที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากหัววัดการกระจายอุณหภูมิ	63
5.1 ค่าความต่างของความต่างศักย์สูงสุด (ΔV_{max})	64
5.2 การคำนวณอัตราการใช้น้ำของไม้ต้น	66
5.3 การประมาณพื้นที่ท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้น	68
5.4 ความผันแปรของอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่ท่อลำเลียงในไม้ต้น	70
5.5 ข้อคำนึงอื่นเกี่ยวกับการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิ	71
บทที่ 6 การประยุกต์ใช้หัววัดการกระจายอุณหภูมิ	75
6.1 การศึกษาผลกระทบของความผันแปรของความชื้นในดินและความชื้นในอากาศ ต่อลักษณะการใช้น้ำของพันธุ์ไม้ริมถนนในกรุงเทพมหานคร (Tor-ngern and Puangchit, 2018)	76
6.2 การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการใช้น้ำของไม้ต้น (<i>Tabebuia argentea</i>) และต้นปาล์ม (<i>Ptychosperma macarthurii</i>) ในสวนลอยฟ้าในกรุงเทพมหานคร (Tor-ngern et al., 2018a)	78
6.3 การศึกษาอัตราการคายน้ำของป่าสนในเขตภูมิอากาศหนาวและเขตอบอุ่น	80
6.4 การติดตั้งระบบตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้นด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิ ในป่าดั้งเดิมและป่ารุ่นสองในเขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ประเทศไทย	81
6.5 การศึกษาวิจัยที่ตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำด้วยเทคนิคการกระจายอุณหภูมิ โดยให้ความร้อนแบบสลับ (Transient thermal dissipation) ในพืชสวนในประเทศไทย	82
6.6 บทสรุป	83

สารบัญ

หน้า

เอกสารอ้างอิง

85

ประวัติผู้เขียน

91

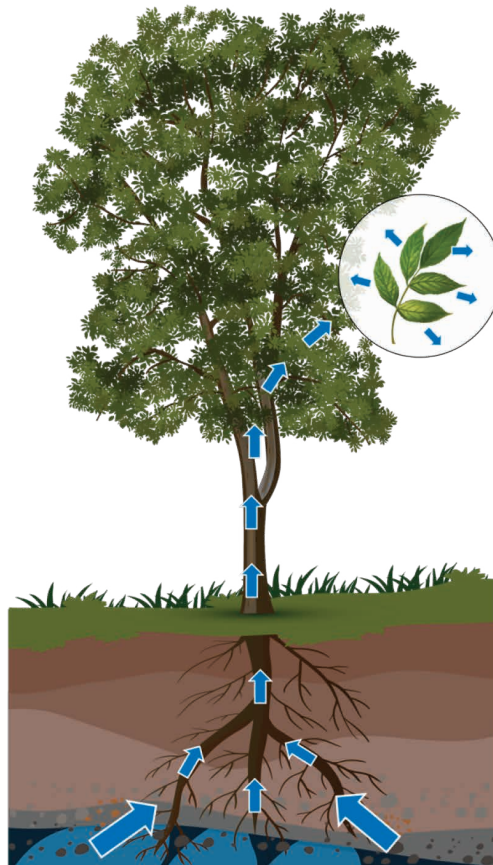


บทที่ 1

เหตุใดจึงต้อง
วัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้น

อัตราการไหลของน้ำในไม้ต้นเป็นตัวแปรสำคัญตัวแปรหนึ่งที่นิยมใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโต และการตอบสนองของไม้ต้นต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศ ความชื้นและแร่ธาตุในดิน (Granier et al., 1992; Meinzer et al., 2001; O'Brien et al., 2004; Tor-ngern et al., 2017; Esteves et al., 2021) รวมถึงใช้ในการประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับผลกระทบของมลพิษทางสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียงได้ (Wang et al., 2012) หากพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ของน้ำจากดินผ่านส่วนต่าง ๆ ของไม้ต้นสู่ชั้นบรรยากาศ หรือที่เรียกว่า Soil-Plant-Atmosphere Continuum (SPAC) ดังแสดงในภาพที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าการไหลของน้ำนั้นเป็นเส้นทางต่อเนื่องกัน เกี่ยวข้องกับกระบวนการสำคัญ 3 กระบวนการ ได้แก่

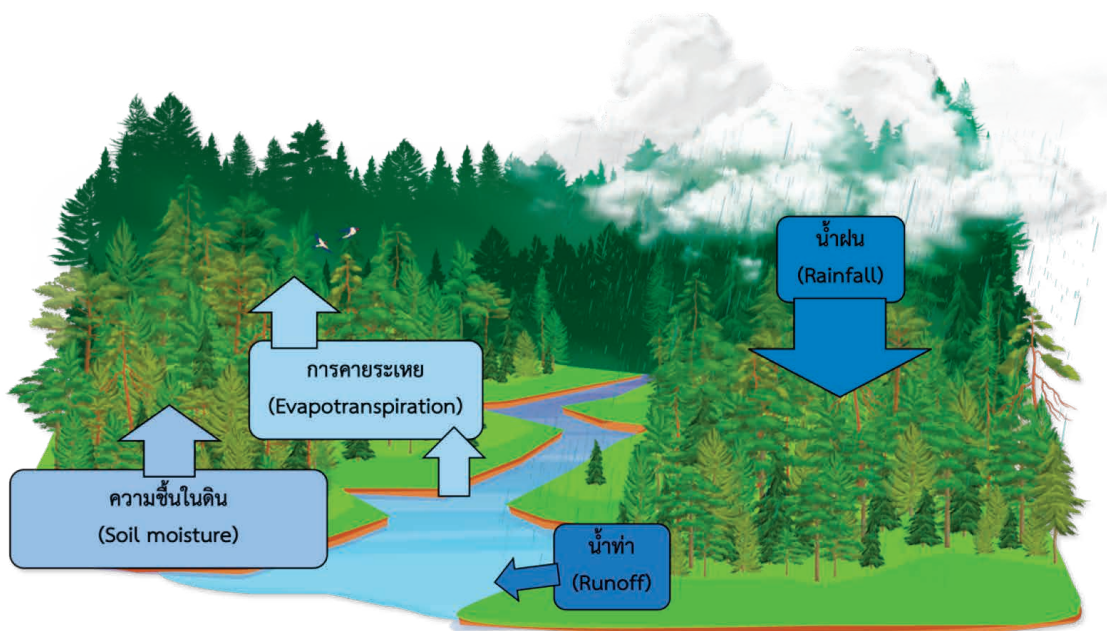
- (1) การแพร่ของน้ำจากดินสู่รากพืช (Osmosis) โดยเป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำจากบริเวณที่มีน้ำมากกว่า ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วคือน้ำในดิน ไปสู่บริเวณที่มีน้ำน้อยกว่านั่นคือในรากพืช
- (2) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้ำกับผนังท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้น (Cohesion and adhesion in xylem) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยให้น้ำเคลื่อนที่จากรากไปสู่ส่วนต่าง ๆ ที่สูงขึ้นไปในไม้ต้นได้ เนื่องจากเซลล์ท่อลำเลียงน้ำในต้นไม้เมื่อเจริญเต็มที่หรือมีอายุมากนั้นไม่มีชีวิต จึงไม่สามารถทำให้เกิดการลำเลียงน้ำไปยังเรือนยอดได้ แต่อาศัยแรงดึงดูดทั้งสองแบบนี้ในการลำเลียงน้ำ
- (3) การแพร่ของไอน้ำจากใบพืชสู่บรรยากาศผ่านปากใบ หรือที่เรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration) ซึ่งเป็นกระบวนการท้ายสุดและเกี่ยวข้องกับวัฏจักรน้ำในป่าไม้ รวมถึงให้ความร่มเย็นแก่สภาพแวดล้อมรอบ ๆ ไม้ต้นนั้นได้



ภาพที่ 1.1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำจากดินสู่ราก ไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ และออกจากต้นไม้ ในรูปของไอน้ำ

การไหลของน้ำผ่านเส้นทาง SPAC ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมโดยตรง ยกตัวอย่างเช่น หากความชื้นในดินลดลง ปริมาณน้ำที่แพร่เข้าสู่รากพืชจะลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้การไหลของน้ำเป็นไปได้ยากขึ้น หรือหากความชื้นในอากาศลดลง โดยเฉพาะในวันที่มีอากาศร้อน (อุณหภูมิสูง) จะเกิดการคายน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้ไม้ต้นปรับตัวโดยปิดปากใบเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและการเหี่ยวเฉาของไม้ต้น อันจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม หากต้องการศึกษาว่าต้นไม้มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมดังกล่าวอย่างไรนั้น วิธีที่น่าจะง่ายที่สุดคือการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้น โดยประมาณว่าในหนึ่งรอบวัน ปริมาณน้ำที่ไม้ต้นดูดซับจากดิน ไหลผ่านลำต้น และแพร่ออกสู่บรรยากาศนั้นเป็นปริมาณใกล้เคียงกัน กล่าวคือ หากวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านลำต้นได้ ก็จะสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นตัวแทนของอัตราการไหลของน้ำผ่านเส้นทาง SPAC ทั้งหมดได้เช่นกัน การวัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้น จึงได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้เป็นหนึ่งในตัวแปรศึกษาพื้นฐานในการวิเคราะห์การตอบสนองของไม้ต้น และระบบนิเวศป่า ต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมได้

เทคนิคการวัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้น นิยมใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของไม้ต้น ต่อปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ในระดับต้น (Tree level) และระดับระบบนิเวศ (Ecosystem level) ในการวิเคราะห์ ในระดับต้นนั้น จะเน้นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลง ของปัจจัยภายนอกในบริเวณที่ไม้ต้นเจริญเติบโต ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยทางกายภาพ เช่น สภาพอากาศ ความชื้น และแร่ธาตุในดิน มลภาวะทางอากาศ น้ำ และดิน เป็นต้น หรือปัจจัยทางชีวภาพ เช่น การรบกวนของแมลงศัตรูพืช เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์ในระดับระบบนิเวศนั้น จะเน้นเกี่ยวกับการศึกษาองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำซึ่งการ คายน้ำของไม้ต้นในระบบนิเวศป่าเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักของปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกจากระบบนิเวศ กลับสู่ชั้นบรรยากาศ หรือที่เรียกโดยรวมว่า การคายระเหย (Evapotranspiration) โดยทั่วไปแล้ววัฏจักรของน้ำ ในระบบนิเวศป่าประกอบด้วย น้ำฝน (Rainfall) ซึ่งนับเป็นแหล่งน้ำหลักที่ไหลเข้าสู่ป่าไม้ ส่วนหนึ่งของน้ำฝน จะถูกกักเก็บไว้ในระบบนิเวศป่า บางส่วนระเหยสู่ชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการระเหยของน้ำบนพื้นผิวดิน หรือพื้นผิวของใบไม้ และการคายน้ำของไม้ต้นในป่า รวมเป็นปริมาณไอน้ำทั้งหมดที่ผ่านกระบวนการคายระเหย และบางส่วนถูกกักเก็บในรูปของความชื้นในดิน (Soil moisture) ดังแสดงในภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 วัฏจักรของน้ำในระบบนิเวศป่า

กระบวนการคายระเหยประกอบด้วยไอน้ำที่ระเหยจากพื้นผิวต่าง ๆ ในป่า ไม่ว่าจะเป็นใบไม้ หน้าดิน หรือชั้นของซากพืชบนพื้นป่า แต่องค์ประกอบหลักของการระเหยในป่าคือการคายน้ำ (Jasechko et al., 2013) ซึ่งหมายถึงไอน้ำที่แพร่ออกจากพืชผ่านปากใบสู่บรรยากาศ กระบวนการคายระเหยนี้ นับว่าเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยลดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในพื้นที่ป่า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของการคายระเหย ซึ่งมีการคายน้ำเป็นองค์ประกอบหลักนั้น มักได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ป่า ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้จากการตายของไม้ต้น อันเนื่องมาจากสภาวะแล้ง (Drought-induced tree mortality; Klein, 2015) การตัดไม้ที่เปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ การที่ไม้ต้นได้รับความเสียหายจากโรคพืช หรือแมลงศัตรูพืช หรือได้รับการรบกวนจากปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ หรือแม้กระทั่งผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น สภาวะแล้ง หรือพายุ เป็นต้น ที่อาจมีความถี่หรือความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้น หากไม้ต้นในป่าได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการคายน้ำและการคายระเหยของระบบนิเวศป่าได้ในที่สุด

ส่วนต่างระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการคายระเหยของป่า คือน้ำที่ไหลออกสู่ระบบนิเวศปลายน้ำ และเป็นแหล่งน้ำอุปโภคหรือบริโภคให้แก่สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศนั้น หรือเรียกว่า น้ำท่า (Runoff) ดังนั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงของการคายระเหย ก็จะส่งผลให้น้ำท่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย หากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังเช่น สภาวะแล้งมีความรุนแรง และยาวนานขึ้น อาจมีอิทธิพลให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงอย่างมาก ส่งผลให้การคายน้ำและการคายระเหยของป่าลดลงเช่นกัน และผลกระทบที่ตามมาคือน้ำท่าที่ไหลลงสู่พื้นที่ปลายน้ำมีปริมาณสูงขึ้น หากน้ำท่าเหล่านี้ไม่ได้รับการบริหารจัดการที่ดี ก็อาจเกิดอุทกภัยและก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่โดยรอบได้ ดังนั้นจึงควรมีการตรวจวัดและติดตามการคายน้ำของป่าอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์และคาดการณ์เกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อมต่อระบบนิเวศป่า และปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกสู่ระบบนิเวศอื่น อันจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนเชิงนโยบายเกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรป่าและน้ำต่อไป

หนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ในการตรวจวัดและศึกษาอัตราการคายน้ำของป่า คือการวัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้น ซึ่งให้ค่าปริมาณของน้ำที่ไหลผ่านหน่วยพื้นที่ของท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้นต่อเวลา และเมื่อนำมาคำนวณควบคู่กับพื้นที่ของท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้นของทั้งป่า ก็จะสามารถประมาณอัตราการคายน้ำของทั้งป่าได้ ในระยะเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาเทคนิคการวัดอัตราการไหลของน้ำมากมาย (Smith and Allen, 1996; Flo et al., 2019) แต่เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้นที่จะกล่าวถึงในที่นี้ เรียกว่า Thermal Dissipation Probe (TDP) โดยส่วนใหญ่แล้ว เทคนิคเหล่านี้จะอาศัยหลักการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตรวจวัดในกระพี้ไม้ ซึ่งเป็นส่วนที่มีการลำเลียงน้ำในลำต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้นที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาก่อน TDP โดยสังเขป ดังนี้

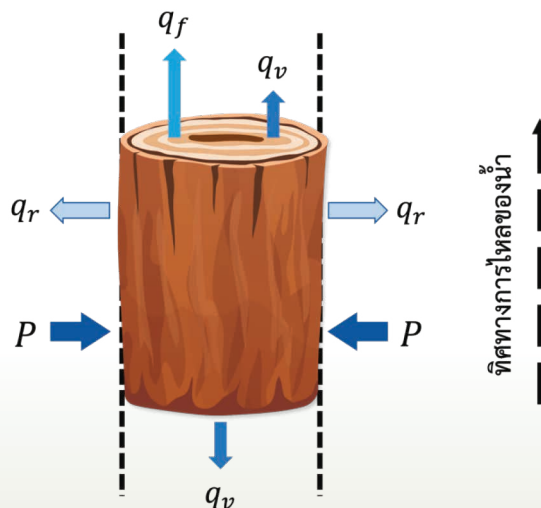
วิธีสมดุลความร้อน (Heat balance method)

วิธีนี้ใช้หลักการสมดุลความร้อน ด้วยการให้ความร้อนแก่ส่วนหนึ่งของลำต้น แล้วคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่สัมพันธ์กับปริมาณความร้อนที่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับน้ำในลำต้น โดยอาศัยหลักการที่ว่าปริมาณความร้อนที่เพิ่มให้แก่ส่วนของลำต้นนั้น จะเท่ากับปริมาณความร้อนที่เคลื่อนที่ออกจากส่วนของลำต้นในทุกทิศทาง

รวมกัน (Sakuratani, 1981; Baker and van Bavel, 1987) วิธีนี้เป็นการให้ความร้อนรอบส่วนของลำต้นด้วยแผ่นโคมที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) พร้อมฉนวนและวัสดุกันความร้อนและการระบายจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศภายนอก **ภาพที่ 1.3** แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่ได้รับจากอุปกรณ์ (P) ซึ่งจะเข้าสู่ส่วนของลำต้นโดยรอบ ปริมาณความร้อนนี้จะเคลื่อนที่ออกจากส่วนของลำต้นนี้ในแนวตั้ง (q_v) และในแนวรัศมีของลำต้น (q_r) ผ่านการนำความร้อนของท่อลำเลียงน้ำในลำต้นส่วนนั้น และส่วนที่เหลือจะเป็นความร้อนที่เคลื่อนที่พร้อมกับการไหลของน้ำ (q_f) จากหลักการสมดุลความร้อน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P = q_v + q_r + q_f \quad (1.1)$$

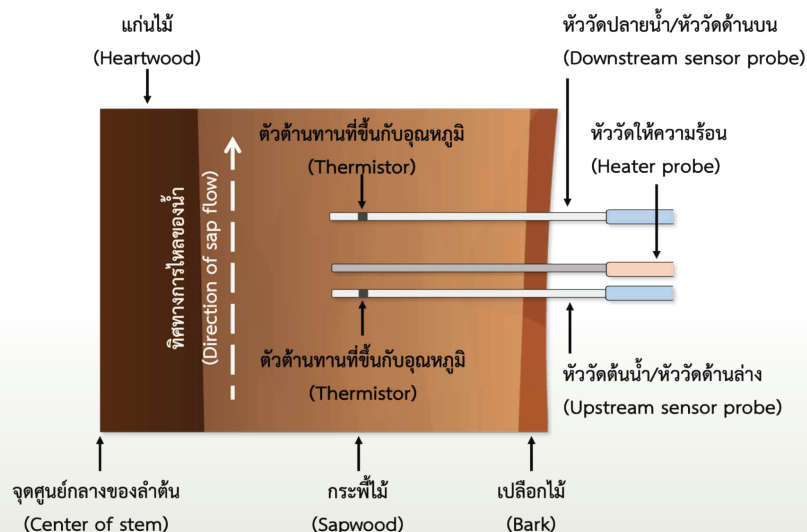
โดยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถตรวจวัดค่า P , q_v , และ q_r แล้วจึงคำนวณค่า q_f ซึ่งเป็นปริมาณความร้อนส่วนที่เหลือได้ จากนั้น จึงนำค่า q_f นี้ไปคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำต่อไป อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยหลายชิ้นบ่งชี้ว่าวิธีนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนหากเกิดการสะสมความร้อนในลำต้น และความคลาดเคลื่อนนี้อาจเพิ่มขึ้นตามขนาดของลำต้นด้วย แต่อาจไม่ส่งผลต่อค่าที่วัดมากในกรณีที่มีวิเคราะห์อัตราการไหลของน้ำรายวัน (Weibel and Boersma, 1995) วิธีนี้ยังต้องประมาณค่าการนำความร้อนของแผ่นให้ความร้อน (Baker and Nieber, 1989) ซึ่งต้องวิเคราะห์ในช่วงที่ไม่มีการไหลของน้ำ นั่นหมายความว่าผู้ใช้จะต้องวิเคราะห์หาค่านี้ก่อนที่จะติดตั้งระบบตรวจวัด ซึ่งอาจใช้เวลาและงบประมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีข้อควรคำนึงในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด เนื่องจากต้องให้แผ่นให้ความร้อนสัมผัสกับบริเวณเปลือกไม้รอบลำต้นอย่างทั่วถึง จึงจำเป็นต้องเลือกส่วนของลำต้นที่มีเปลือกไม้ค่อนข้างเรียบ และต้องหาวิธีไม่ให้มีสิ่งรบกวนระหว่างพื้นผิวของลำต้นและแผ่นความร้อน เช่น น้ำฝนที่ไหลลงมาตามลำต้น หรืออากาศที่อยู่ในช่องว่างจากการติดตั้งไม่เรียบร้อย เป็นต้น



ภาพที่ 1.3 หลักการสมดุลความร้อน (Heat balance) โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจากแผ่นให้ความร้อนไปรอบ ๆ ส่วนของลำต้น (P) จะเท่ากับปริมาณความร้อนที่เคลื่อนที่ออกจากส่วนของลำต้นนี้ในแนวตั้ง (q_v) แนวรัศมีของลำต้น (q_r) และพร้อมกับการไหลของน้ำ (q_f) ดัดแปลงจาก Lu และคณะ (2004)

วิธีพัลส์ความร้อน (Heat pulse method)

สำหรับวิธีพัลส์ความร้อนนี้ จะวัดอัตราการไหลของน้ำโดยอาศัยการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของพัลส์ความร้อนที่ได้จากหัววัดที่เจาะไปในกระพี้ไม้ หัววัดที่ใช้ในเทคนิคนี้ประกอบด้วยหัววัดหนึ่งหัวที่เป็นตัวให้ความร้อน หรือเรียกว่า Heater probe และหัววัดสองหัวที่วัดอุณหภูมิเพื่อแปลงเป็นอัตราการไหลของน้ำในลำต้น **ภาพที่ 1.4** แสดงแผนภาพของเทคนิคนี้ โดยหัววัดที่อยู่ต้นทางการไหลของน้ำจะอยู่ใกล้กับหัววัดที่ให้ความร้อน เพื่อวัดอุณหภูมิเริ่มต้นหลังจากที่พัลส์ความร้อนถูกปล่อยออกจากหัววัดที่ให้ความร้อน จากนั้นหัววัดที่อยู่ปลายทางการไหลของน้ำจะตรวจวัดอุณหภูมิของพัลส์ความร้อนที่เคลื่อนที่ไปตามการไหลของน้ำ อัตราการไหลของน้ำจึงถูกคำนวณจากระยะทางระหว่างสองหัววัดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของพัลส์ความร้อนจากหัววัดด้านล่างไปยังหัววัดด้านบน (Swanson and Whitfield, 1981) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ มีข้อจำกัดหลายประการ อาทิ อัตราการเคลื่อนที่ของพัลส์ความร้อนอาจไม่เท่ากับอัตราการไหลของน้ำ (Marshall, 1958) และควรมีวิธีการปรับแก้สมการคำนวณอัตราการไหลของน้ำโดยพิจารณาอิทธิพลของการถ่ายโอนความร้อนระหว่างวัสดุที่ใช้ทำหัววัด รวมถึงผลของไม้ที่เกิดจากการเจาะหัววัดเข้าไปในกระพี้ไม้อีกด้วย นอกจากนี้ วิธีนี้ต้องอาศัยความแม่นยำในการติดตั้งหัววัดสำหรับวัดอุณหภูมิ โดยต้องให้มีระยะที่ห่างแน่นอนและมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด เนื่องจากจะส่งผลต่อการคำนวณอัตราการไหลของน้ำโดยตรง และลักษณะการเรียงตัวของท่อลำเลียงน้ำในลำต้นก็อาจมีผลต่อการเคลื่อนที่ของพัลส์ความร้อน โดยมีงานวิจัยหลายชิ้นบ่งชี้ว่า สามารถใช้เทคนิคนี้ตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำได้ดีในไม้เนื้ออ่อน (Swanson and Whitfield, 1981; Swanson, 1994) และไม้เนื้อแข็งที่มีท่อลำเลียงน้ำเรียงตัวแบบ Ring porous และ Diffuse porous หรือเรียงตัวแบบซิดกัน (Green and Clothier, 1988; Swanson, 1994) แต่สำหรับไม้เนื้อแข็งที่มีการเรียงตัวของท่อลำเลียงน้ำแบบอื่น อาจต้องมีการปรับเทียบสมการคำนวณอัตราการไหลของน้ำก่อนติดตั้งระบบตรวจวัดในระยะยาว



ภาพที่ 1.4 องค์ประกอบของชุดตรวจวัดการไหลของน้ำด้วยวิธีพัลส์ความร้อน (Heat pulse method) ดัดแปลงจาก Lu และคณะ (2004)

วิธีการกระจายความร้อนหรืออุณหภูมิ (Heat or Thermal dissipation method)

จากเทคนิคที่อาศัยสมดุลความร้อนและพัลส์ความร้อนที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่า มีข้อจำกัดในการใช้งานคือ ความแม่นยำของการวัดอัตราการไหลของน้ำที่ได้จากสมการคำนวณจะขึ้นอยู่กับประเภทของไม้ต้น รวมถึงการเรียงตัวของท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้น และอาจต้องอาศัยการปรับเทียบสมการดังกล่าวทุกครั้งที่ใช้งานในไม้ต้นต่างชนิด ดังนั้น จึงมีการพัฒนาเทคนิคการวัดอัตราการไหลของน้ำโดยอาศัยการกระจายความร้อนหรืออุณหภูมิหรือที่เรียกว่า Thermal dissipation method โดย Granier (1985) ซึ่งอาศัยการกระจายความร้อนผ่านหัววัด และตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของหัววัดอันเนื่องมาจากการไหลผ่านของน้ำตามอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเข้มของแสงอาทิตย์ ความชื้นในดิน เป็นต้น เนื่องจากวิธีนี้ไม่ได้ถูกพัฒนาจากหลักการเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อนหรือสมดุลความร้อน ดังเช่นสองวิธีที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ แต่เป็นวิธีที่ได้จากการทดลอง (Empirical method) โดยใช้สมการคำนวณที่ได้จากการปรับเทียบด้วยการตรวจวัดจริงในไม้ต้นหลายชนิด จึงอาจไม่จำเป็นต้องปรับเทียบสมการก่อนการติดตั้งระบบตรวจวัดระยะยาว อย่างไรก็ดี เมื่อเทียบกับเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้น เทคนิค Thermal dissipation probe (TDP) นั้นน่าจะน่าสนใจและเหมาะแก่การนำมาใช้งานจริง เนื่องจากสามารถประดิษฐ์หัววัดและติดตั้งระบบเองได้ ใช้สมการคำนวณที่ได้จากการทดลองและไม่ซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำ จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง

นอกจากเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีการพัฒนาเทคนิคการวัดอัตราการไหลของน้ำเพิ่มอีกหลายวิธี ได้แก่ Heat field deformation method (Nadezhdina et al., 1998) Heat-pulse velocity method (Green, 1998) Heat ratio method (Burgess et al., 2001) Transient thermal dissipation method (Do et al., 2011) และ Sapflow+ method (Vandegehuchte and Steppe, 2012) ซึ่งผู้สนใจสามารถอ่านเพิ่มเติมจากเอกสารอ้างอิงเหล่านี้ได้ แต่หนังสือเล่มนี้จะอธิบายการประดิษฐ์และติดตั้งระบบตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำด้วยเทคนิคการกระจายอุณหภูมิด้วยหัววัดการกระจายอุณหภูมิ หรือ Thermal Dissipation Probe (TDP) เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้และผู้เขียนเห็นว่าจะจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้งานทั้งในและนอกแวดวงวิชาการ การตรวจวัดด้วยวิธีนี้นิยมติดตั้งหัววัดบนลำต้นของไม้ต้นจำนวนมาก และเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ที่ตั้งโปรแกรมให้บันทึกข้อมูลตามช่วงเวลาที่กำหนด ตั้งแต่ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานและระยะเวลาที่ต้องการเก็บข้อมูล เทคนิคนี้ช่วยให้ได้ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำที่ละเอียดและยาวนานเป็นระยะเวลาหลายปี โดยสามารถเลือกช่วงเวลาของข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ที่หลากหลาย เพื่อการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของไม้ต้นต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมในระหว่างวัน หรือในช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน หรือระหว่างปี นอกจากนี้ หากเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลามากกว่า 10 ปี ก็จะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ถึงผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ จะเห็นว่า ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำในไม้ต้นเป็นตัวแปรศึกษาที่สำคัญตัวแปรหนึ่งที่จะช่วยขยายขอบเขตการศึกษาทางด้านนิเวศวิทยาป่าไม้และสิ่งแวดล้อมให้ครอบคลุมช่วงเวลาและพื้นที่ที่กว้างกว่าการศึกษาไม้ต้นเพียงต้นเดียว อันจะส่งผลให้เกิดองค์ความรู้ใหม่และคาดว่าจะสามารถขยายผลที่ได้เพื่อนำไปต่อยอดด้านการวางแผนเชิงนโยบายของประเทศได้ดีขึ้น



บทที่ 2

หลักการ
ของหัวใจวงการกระจายอุณหภูมิจึง