บทที่ 2

ทฤษฎีที่นำมาใช้เพื่อการศึกษา

2.1 คำจำกัดความ

2.1.1 การระเหย (Evaporation)

การระเหยเป็นกระบวนการทางธรรมชาติอย่างหนึ่ง ที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และเคลื่อนที่สู่บรรยากาศของโลก การระเหยเกิดจากอิทธิพลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ลม ความดันไอน้ำ และความดันของบรรยากาศ แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดคือรังสีจากดวงอาทิตย์ ที่ทำให้การระเหยเปลี่ยนไปตามฤดูกาล ความยาวของช่วงเวลากลางวัน และลักษณะของท้องฟ้า

การระเหยในความหมายของการใช้น้ำของพืช หมายถึง การระเหยจากผิวดิน ผิวน้ำ รวมทั้งการระเหยของน้ำที่เกาะอยู่ตามใบไม้และลำต้น ปริมาณการระเหยนี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการให้น้ำ วิธีการเพาะปลูก ชนิดของดิน ซึ่งถ้าหากผิวดินชั้นบนอิ่มตัวไปด้วยน้ำ การระเหยจะวัดได้ใกล้เคียงกับการระเหยจากผิวน้ำโดยตรง และอัตราการระเหยจะลดลงเมื่อดินชั้นบนเริ่มแห้ง

2.1.2 การคายน้ำ (Transpiration)

การคายน้ำเป็นขบวนการทางชีวภาพอย่างหนึ่งที่น้ำระเหยออกจากส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ เช่น ปากใบ (Stomata) และ Cuticle ในขณะที่มีชีวิตอยู่ โดยอยู่ในรูปของไอน้ำ ปริมาณน้ำ 98% ของน้ำที่พืชดูดเข้าไปทางรากจะสูญเสียไปโดยขบวนการคายน้ำ (Wifred, et al., 1965)

ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายระหว่างช่องว่างในเนื้อเยื่อชั้นนอกของรากพืช และน้ำในดินก่อให้เกิดแรงดันออสโมติก(Osmotic Pressure) ซึ่งน้ำในดินจะเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อของรากเข้าสู่เซลล์รากพืช(Hendricks & Hansen,

1962) น้ำนี้จะเคลื่อนที่ไปตามลำต้นของต้นพืช เข้าสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ (Intercellular space) ในใบไม้ การเคลื่อนที่ของน้ำไปตามท่อน้ำท่ออาหาร (Xylem and Phloem) ภายในลำต้นของพืชนี้ได้มีทฤษฎีหลายทฤษฎีอธิบายไว้ เช่น Munch Theory, The Streaming of Protoplasm Theory เป็นต้น แต่จะไม่ขอกล่าวรายละเอียดในที่นี้ ผู้ที่สนใจดูได้จากหนังสือ Plant Physiology ทั่ว ๆ ไป ในขณะที่ปากใบเปิดอากาศจะเคลื่อนที่เข้าสู่ใบ และ Chloroplasts จะใช้กาซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศรวมกับน้ำบางส่วนที่พืชดูดเข้าไป เพื่อสร้างคาร์โบไฮเดรท (Carbohydrate) สำหรับการเจริญเติบโตของต้นพืช ขบวนการนี้เรียกว่าการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และน้ำที่ดูดเข้าไปส่วนใหญ่ จะเคลื่อนที่ออกมาตามรูเปิดของปากใบ (Stomata) และระเหยสู่บรรยากาศ เรียกขบวนการนี้ว่า การคายน้ำ (Transpiration)

2.1.2.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช

องค์ประกอบหรืออิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช แยกออกได้ 2 จำพวก คือ องค์ประกอบทางด้านสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental Factors) และองค์ประกอบที่เกี่ยวกับรูปร่าง (Morphological Factors) (Wilfred, et al., 1965)

องค์ประกอบทางด้านสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental Factor) ที่สำคัญที่มีผลต่อการคายน้ำของพืชได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ อุณหภูมิของอากาศ ความเข้มของแสง และสภาพของดิน พอที่จะกล่าวโดยย่อ ๆ ได้ดังนี้

1) ความชื้นสัมพัทธ์ ในบรรยากาศโดยทั่วไป มีความสามารถที่จะอุ้มน้ำไว้ได้ อากาศชื้นจะมีไอน้ำต่อหน่วยปริมาตรสูง แต่อากาศแห้งจะมีไอน้ำในอากาศต่อหน่วยปริมาตรต่ำ การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำในอากาศ กับปริมาณไอน้ำขณะที่อากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิใดก็ตาม อัตราส่วนนี้เรียกว่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) เนื่องด้วยอากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ของใบไม้ที่เต่งจะมีความชื้นมาก และค่อนข้าง

จะอิ่มตัว ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในใบมากกว่าอากาศภายนอก จึงเกิดการฟุ้งกระจายของโมเลกุลไอน้ำจากรูใบสู่บรรยากาศ ดังนั้นอัตราการฟุ้งกระจายจึงขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศข้างนอกต่ำ อัตราการฟุ้งกระจายของโมเลกุลของน้ำจะมากนั้นก็คือ การคายน้ำจะมีมากกว่าในขณะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

2. การเคลื่อนที่ของอากาศ (Air Movements) ในขณะที่อากาศมีการเคลื่อนที่ จะพัดพาเอาความชื้นหรือโมเลกุลของไอน้ำที่อยู่ตรงผิวใบไปด้วย อากาศแห้งจะเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการคายน้ำขึ้น ยิ่งอากาศมีการเคลื่อนที่เร็วเท่าใด ความชื้นที่อยู่ตรงผิวใบจะถูกพัดออกไปเร็วขึ้นเท่านั้น เป็นผลให้การคายน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าหากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการคายน้ำอื่น ๆ คงตัว อัตราการคายน้ำจะขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสลม

3. อุณหภูมิของอากาศ (Air Temperature) แสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังใบไม้โดยตรง จะทำให้อุณหภูมิภายในใบไม้สูงขึ้น และสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศที่อยู่บริเวณรอบ ๆ ปรากฏการณ์เช่นนี้จะทำให้ความดันไอน้ำภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ของใบไม้ (Intercellular space) มากกว่าความดันไอน้ำข้างนอก และจะเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากปากใบสู่บรรยากาศข้างนอก

4. ความเข้มของแสง (Light Intensity) ผลของความเข้มของแสงจะไปกระตุ้นการเปิดปิดของปากใบ ในขณะที่ปากใบของพืชเปิดจะทำให้เกิดการคายน้ำขึ้น และการคายน้ำจะหยุดเมื่อปากใบปิด

5. สภาพของดิน (Soil Conditions) สภาพของดินจะมีอิทธิพลต่อการดูดน้ำของรากพืช เมื่ออุณหภูมิของดินลดลงจนเย็น หรือดินที่มีช่องว่างของอากาศน้อยจะทำให้อัตราการดูดน้ำของพืชลดลง และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในดินก็เป็นผลทำให้ความสามารถในการดูดซึมของรากพืชลดลงด้วย อัตราการดูดน้ำของรากพืชจะมีผลต่อการคายน้ำอย่างมาก ถ้าหากอัตราการคายน้ำมากกว่า อัตราการดูดน้ำพืชจะเกิด

อาการเหี่ยวเฉา

องค์ประกอบที่เกี่ยวกับรูปร่างลักษณะ (Morphological Factors) ลักษณะของต้นพืชจะมีผลต่อการคายน้ำ ดังจะพบได้จากในวันที่มีอากาศร้อน พืชที่ปลูกอยู่ในบริเวณเดียวกัน บางต้นจะเกิดอาการเหี่ยวเฉา แต่บางต้นจะไม่ปรากฏอาการเช่นนี้ให้เห็นเลย เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะลักษณะทางสรีรวิทยาของต้นพืชแตกต่างกัน ลักษณะที่ว่านี้ได้แก่การกระจายของปากใบ ซึ่งพืชที่มีปากใบอยู่เฉพาะด้านล่างของใบ หรือมีปากใบด้านบนน้อยกว่าด้านล่าง จะมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าพืชที่มีจำนวนปากใบด้านบนเท่ากับด้านล่าง นอกจากนี้ปากใบที่มีระดับต่ำกว่าระดับของผิวใบ(Sunken Stomata) ก็สามารถลดการระเหยของน้ำได้อีกด้วย พืชบางชนิดจะมีการลดพื้นที่การคายน้ำให้เหลือน้อยลงในขณะที่อากาศร้อน เช่น ข้าวโพดหรือหญ้า บางชนิด ใบจะม้วนเมื่ออากาศร้อน ทำให้พื้นผิวใบที่ชูขึ้นสู่อากาศมีน้อย เป็นการลดอัตราการคายน้ำอีกทางหนึ่งด้วย

2.1.3 อัตราการใช้น้ำของพืชในแปลงเพาะปลูก(Evapotranspiration)

ในการศึกษาความสมดุลย์ทางด้านอุทกวิทยา สิ่งหนึ่งที่เกี่ยวข้อง คือ ปริมาณการระเหยทั้งหมด (Total Evaporation) หรือ Evapotranspiration) ซึ่งได้แก่การระเหยจากผิวน้ำ ผิวดิน ต้นพืช และพื้นที่อื่น ๆ รวมทั้งการคายน้ำจากต้นพืช ในทางอุทกวิทยา ถ้าหากกล่าวถึงการใช้น้ำของพืชโดยทั่วไป จะคิดเทียบเป็นอัตราส่วนการคายน้ำ เรียกว่า Transpiration Ratio หรือ Evapotranspiration Ratio หาได้โดยการเอาน้ำหนักของวัตถุแห้งที่ได้จากการปลูกพืช มาเทียบอัตราส่วนกับจำนวนน้ำที่พืชคายออก หรือคายออกรวมกับการระเหยในแปลงปลูกพืชตลอดอายุ พืชที่มีการใช้น้ำมากอัตราส่วนนี้จะสูงกว่าพืชที่ใช้น้ำน้อย ขณะเดียวกันพืชชนิดเดียวกันจำนวนน้ำที่พืชคายออกจะแปรผันตาม วัตถุแห้งที่ได้รับ หมายความว่า ถ้าวัตถุแห้งมากพืชจะมีการใช้น้ำมาก

กล่าวโดยสรุปของคำว่าการใช้น้ำในแปลงเพาะปลูก (Evapotranspiration) หมายถึงปริมาณน้ำที่ระเหยจากพืช ผิวดิน ผิวน้ำ รวมทั้งจำนวนน้ำที่พืชคายออกทางใบ ซึ่งจะมีค่าผันแปรไปในแต่ละวัน แต่ละพื้นที่และแต่ละชนิดของพืชในกรณีที่พื้นที่เพาะปลูก มี

จำนวนน้ำหรือความชื้นในดินมากพอเพียงแก่ความต้องการของพืชตลอดเวลา จำนวนน้ำที่ระเหยและพืชใช้ในการเจริญเติบโตเรียกว่า Potential Evapotranspiration

2.2 วิธีการวัดค่าการใช้น้ำในแปลงเพาะปลูก (Measurement of Evapotranspiration)

วิธีการวัดหาค่าการใช้น้ำในแปลงเพาะปลูกพืชมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี และแต่ละวิธีการก็ให้ผลที่แตกต่างกันออกไป ไม่มีวิธีไหนที่เหมาะกับทุกสภาพพื้นที่เพาะปลูก ผลที่วัดได้ส่วนมากจะเป็นค่าอัตราการใช้น้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุด (Potential Evapotranspiration) ซึ่งวิธีการวัดหาการใช้น้ำในแปลงเพาะปลูกโดยทั่ว ๆ ไป ได้แก่

2.2.1 วิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน (Soil Moisture Studies)

วิธีการเช่นนี้เหมาะสำหรับพื้นที่เพาะปลูกที่มีเนื้อดินเป็นชนิดเดียวกัน และระดับน้ำใต้ดินมีความลึกมากพอที่จะไม่กระทบกระเทือนต่อความชื้นในเขตรากพืช ตัวอย่างดินจะถูกเก็บที่ระยะความลึกต่าง ๆ ตลอดความยาวของราก เพื่อนำไปหาความชื้นในช่วงก่อนและหลังการให้น้ำ ในปัจจุบันนี้ถึงแม้จะมีอุปกรณ์ในการหาความชื้นในดินก็ตาม แต่อุปกรณ์เหล่านี้ก็มีข้อบกพร่องในการวัด คือ จะให้ค่าที่ไม่ถูกต้องนักในขณะที่ดินมีความชื้นน้อย ๆ หรือความชื้นมาก ๆ ข้อความสำคัญของวิธีนี้ คือ ต้องเก็บตัวอย่างดินจนถึงชั้นล่างสุดที่รากพืชหยั่งลงไปถึง

2.2.2 การทดลองหาปริมาณการใช้น้ำ โดยใช้ถังปลูกพืช (Experiment with Lysimeter)

เป็นวิธีการวัดหาการใช้น้ำของพืช โดยการปลูกพืชในถังโดยให้สภาพแวดล้อมภายในถังคล้ายคลึงกับสภาพที่เพาะปลูกภายนอกถังมากที่สุด การที่จะวัดหาอัตราการใช้น้ำของพืชให้ถูกต้อง และใกล้เคียงกันนั้น ขนาดของถังปลูกพืช (Lysimeter) ไม่ควรมีขนาดเล็กเกินไป ควรจะมีขนาดโตพอที่รากของพืชที่ใช้ปลูกสามารถแผ่ไปได้ตามธรรมชาติ โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 - 3 ฟุต และลึกประมาณ 6 ฟุต บางครั้งอาจจะต้องใช้ถังที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 10 ฟุต และมีความลึก 10 ฟุต สำหรับต้นพืชขนาดใหญ่ (Chow, 1964) สภาพแวดล้อมภายในถังที่สำคัญ คือ ชนิดของดิน ความหนา

แน่นของดิน ระดับน้ำใต้ดิน ความชื้นและอุณหภูมิภายในถัง ควรจะมีสภาพคล้ายคลึงกับภายนอกถังมากที่สุด

รูปที่ 2-1. การวัดหาอัตราการใช้น้ำโดยใช้ถังปลูกพืช

ที่มา (DONAHUE , R.L. 1977)

2.2.3 การศึกษาการใช้น้ำในแปลงเพาะปลูกขนาดเล็ก (Water Budget on Field Plots)

วิธีการหาค่าการใช้น้ำในแปลงเพาะปลูกขนาดเล็กนี้ จะให้ผลเป็นที่น่าพอใจในสภาพพื้นที่อุดมคติเท่านั้น (Ideal Conditions)(Linsley, R.K. et.al,1982) เพราะเป็นการลำบากในการวัดหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลรั่วซึมเกินเขตรากพืช (Percolation) หรือวัดหาปริมาณน้ำใต้ดินที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช ดังนั้น วิธีการวัดหาการใช้น้ำของพืชโดยวิธีนี้จึงเหมาะสำหรับพื้นที่ที่แห้งแล้ง มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกจนกระทั่งไม่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช อีกประการหนึ่งก็คือ ปัญหาในการวัดค่าการไหลนองตามผิวดิน (Runoff) เนื่องมาจากการให้น้ำมากเกินไป มีวิธีแก้ไขคือลดการให้น้ำลงจะทำให้ค่าการไหลนองตามผิวดินมีค่าเป็นศูนย์

2.2.4 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลภูมิอากาศ

เนื่องมาจากการขาดแคลนข้อมูลในทางด้านอุทกวิทยา และความลำบากในการเตรียมอุปกรณ์ในการวัดหาอัตราการใช้น้ำในแปลงทดลองโดยตรง ทำให้มีผู้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางด้านภูมิอากาศ กับการใช้น้ำของพืชหลายท่าน สมการที่คิดค้นขึ้นมานี้บางสมการต้องการข้อมูลที่สลับซับซ้อน มีวิธีการคำนวณที่ยุ่งยาก แต่บางสมการต้องการข้อมูลเพียงอย่างเดียว และมีการคำนวณที่ง่าย สมการที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปแสดงไว้ในตารางที่ 2 - 1 ซึ่งได้จัดสมการเหล่านี้ไว้ตามพื้นฐานของข้อมูลที่ต้องการ ดังนี้

ตารางที่ 2 - 1

สมการใช้สำหรับคำนวณหาค่าการใช้น้ำของพืชในแปลงเพาะปลูก

ชื่อสมการ	ข้อมูลภูมิอากาศที่ต้องการ
สมการที่ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศประจำวัน	
Lowry - Johnson	อุณหภูมิในฤดูที่เพาะปลูก
Thornthwaite	อุณหภูมิ
Blaney - Criddle	สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวกับต้นพืช
สมการที่ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศประจำวัน และรังสีจากดวงอาทิตย์	
Jensen - Haise	อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์
Tuec	อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์
Grassi	อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์ สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวกับต้นพืช
Stophens - Stewart	อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์
Makkink	อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์
สมการที่ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยประจำวัน และความชื้นสัมพัทธ์	
Blaney - Morin	อุณหภูมิ เปอร์เซนต์ชั่วโมงที่มีแสงแดด ความชื้น สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวกับต้นพืช
Hamon	อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เปอร์เซนต์ชั่วโมงที่มีแสงแดด
Hargreaves	อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เปอร์เซนต์ชั่วโมงที่มีแสงแดด สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวกับต้นพืช

ตาราง 2-1 (ต่อ)

ชื่อสมการ	ข้อมูลภูมิอากาศที่ต้องการ
Papadakis	อุณหภูมิ ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด
<u>สมการที่ซับซ้อน</u>	
Penman	อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์
Christiansen	อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ เปอร์เซนต์ชั่วโมงกลางวัน ระดับความสูงของพื้นที่ สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวกับต้นพืช
Van Bavel	อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์ ความชื้น ความเร็วลม

ที่มา : (Schulz, 1976)

สำหรับรายละเอียดในการคำนวณที่เลือกมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

1) วิธีของ Thornthwaite

2) วิธีของ Blaney - Criddle

3) วิธีของ Penman

4) วิธีของ Makkink

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
007445

เหตุผลในการเลือกวิธีการดังกล่าวข้างต้น นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง เพราะวิธีการเหล่านี้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศในการคำนวณไม่เหมือนกัน เช่น วิธีการของ Thornthwaite ต้องการข้อมูลภูมิอากาศเกี่ยวกับอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือน

ในขณะที่วิธีของ Blaney - Criddle ได้นำเอาค่าสัมประสิทธิ์เกี่ยวกับต้นพืชเข้ามาเกี่ยวข้อง กับอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนด้วย สำหรับวิธีของ Penman นั้น เป็นวิธีการที่ยุ่งยาก เพราะได้นำเอาความสัมพันธ์ของพลังงานที่ทำให้เกิดการระเหย ได้แก่ พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลม พลังงานจากแสงอาทิตย์ รวมทั้งความชื้นสัมพัทธ์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย แต่วิธีของ Makkink จะมีการคำนวณคล้าย ๆ กับของ Penman เพียงแต่ไม่ได้คิดการระเหยเนื่องจากการเคลื่อนไหวของลมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเท่านั้น

เหตุผลอีกอย่างก็คือ ข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้กับสมการข้างบนที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถหาได้ตามสถานีวัดโดยทั่วไป หรือ หาได้จากตารางที่มีผู้รวบรวมขึ้นดังภาคผนวก ทำให้ไม่เป็นการลำบากในการหาข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ และอีกอย่างสมการดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายด้วย

วิธีของ Blaney - Criddle

Blaney - Criddle (1950) ได้ดัดแปลงสูตรหาค่าการใช้น้ำของพืชในแปลงเพาะปลูก จากสูตรเดิม Blaney-Morin (1942) โดยการตัดเอาค่าความชื้นสัมพัทธ์ออก เพราะในสมัยนั้นการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่ค่อยมีกันแพร่หลาย สมการที่ได้จึงเป็นดังนี้

$$E_{BC} = 0.254\ kp\ (1.8T + 32)$$

โดยที่ E_{BC} = ปริมาณการใช้น้ำของพืชประจำเดือนเป็น มิลลิเมตรของน้ำ

k = Monthly crop Coefficient ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและความยาวของฤดูกาล

p = เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันของเดือนในระยะเวลา 1 ปี (ดูตาราง ข – 1 ภาคผนวก)

T = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนเป็น องศาเซลเซียส

วิธีของ Thornthwaite

C.W. Thornthwaite (1948) ได้แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนกับการใช้น้ำของพืช เมื่อดินมีความชื้นเพียงพอต่อการใช้น้ำของพืชตลอดเวลาค่าที่ได้จึงเป็นค่า Potential Evapotranspiration และเขียนเป็นสูตรสำเร็จ ดังนี้

$$E_T = 1.6 L_d \left(\frac{10T}{I}\right)^a$$

โดยที่ E_T = ปริมาณการใช้น้ำของพืชสูงสุดที่เกิดในระยะ 30 วัน มีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร

Ld = ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาที่มีแสงแดด ซึ่งบอกเป็นจำนวนเท่าของ 12 ชั่วโมง ในเดือนต่าง ๆ ที่คิดว่ามี 30 วัน (ดูตาราง ข – 2 ภาคผนวก)

T = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือน เป็น องศาเซลเซียส

I = Heat Index ประจำปี ซึ่งเป็นผลรวมของ Heat index,i ในแต่ละเดือน

$$= \sum_{j=i}^{12} i_j$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

$$a = 0.000\,000\,675\, I^3 - 0.000077\, I^2 + 0.01792\, I + 0.49239$$

วิธีของ Penman

Penman (1948) ได้เสนอสูตรโดยการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนี้

$$E_T = \frac{\Delta\, Qn + \gamma\, Ea}{\Delta + \gamma}$$

โดยที่ E_T = ปริมาณการใช้น้ำสูงสุด มีหน่วยเป็น มม./วัน

Δ = ความลาดเทของกราฟ ความดันไอน้ำอิ่มตัว กับอุณหภูมิที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ย

γ = Psychrometric constant

Q_n = รังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ (Net solar radiation) เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ มม./วัน

ในกรณีที่ไม่มีการวัดค่ารังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ ค่านี้อาจจะประมาณได้จากสูตร

$Q_n = Q_A(1 - r)(0.18 + 0.55\ ^n/N) - \sigma T^4(0.56 - 0.079\sqrt{e_d})(0.10 + 0.90\ ^n/N)$ {Brunt's equation}

Q_A = Angot's value (ดูตาราง ข – 3 ภาคผนวก)

r = สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน (Reflection Coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนออกไป ต่อรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนวัตถุนั้น

ใช้ r = 0.05 สำหรับผิวน้ำ

r = 0.01 สำหรับดินเปียกที่ไม่มีพืชปกคลุมอยู่เลย

r = 0.20 สำหรับพืชที่เขียวและสด

n = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริง

N = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุด ที่เกิดขึ้นได้ในช่วงเวลานั้น (ตาราง ข – 4 ภาคผนวก)

σT^4 รังสีสะท้อนจากวัตถุที่มีผิวดำสนิท แปลงให้เป็นอัตราการระเหย

ของน้ำ มม./วัน (ตาราง ข – 5 ภาคผนวก)

E_a = ปริมาณการระเหยเนื่องจากการเคลื่อนไหวของลม มม./วัน

= $0.262(e_a - e_d)(1 + 0.0062\ U_2)$

e_a = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศ มิลลิบาร์

e_d = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยของจุดน้ำค้าง มิลลิบาร์

U_2 = ความเร็วเฉลี่ยของลมที่ระดับเหนือจากพื้นดิน 2 เมตร มีหน่วยเป็น กิโลเมตร/วัน ถ้าหากไม่มีการวัดความเร็วของลมที่ระดับ 2 เมตร ไว้ อาจดัดแปลงได้จากสูตร

$$U_2 = U_1 \frac{\log 2}{\log h}$$

โดยที่ U_1 = ความเร็วของลมที่ระดับความสูง h เมตร มีหน่วยเป็นกิโลเมตร/วัน

วิธีของ Makkink

Makkink ได้นำเอาค่ารังสีของดวงอาทิตย์เข้ามาใช้ในสมการการใช้น้ำของพืช ดังนี้

$$E_T = 0.61\ Q \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - 0.12$$

โดยที่ E_T = ปริมาณการใช้น้ำสูงสุด เป็น มม./วัน

Q = รังสีจากดวงอาทิตย์แปลงให้เป็นการระเหยของน้ำ มม./วัน

= $Q_A (0.18 + 0.55\ n/N)$

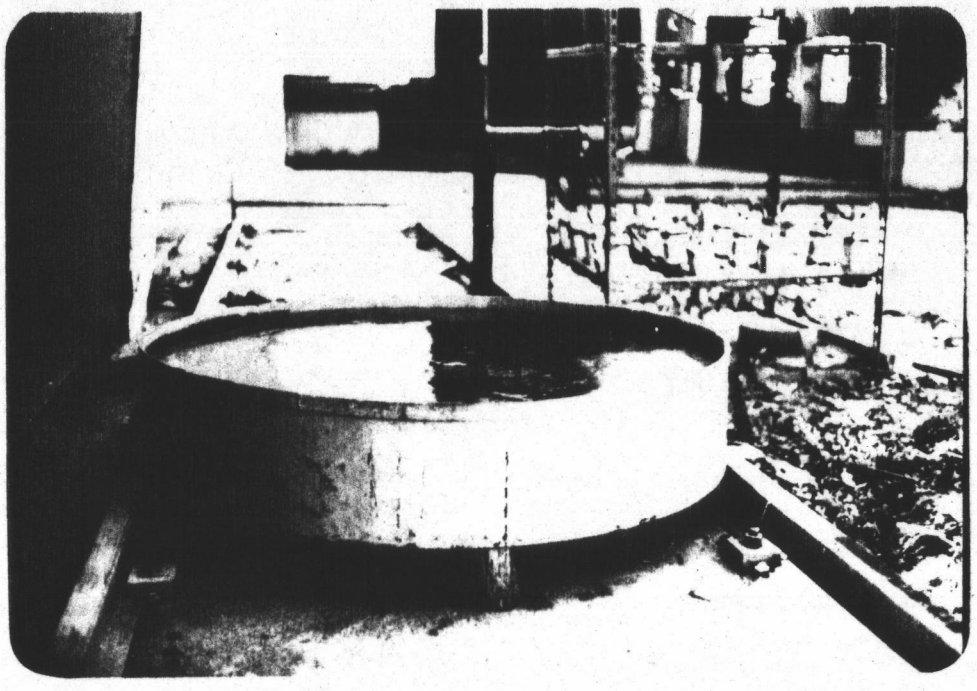
Q_A = Angot's value (ตาราง ข – 3 ภาคผนวก)

2.2.5 การวัดหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถาดวัดการระเหย

สภาพทางภูมิอากาศทุกอย่าง เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วของลม ฯลฯ ต่างก็มีผลต่อการคายน้ำของต้นพืช และการระเหยจากถาดวัดการระเหย ถึงแม้ขบวนการทั้งสองจะไม่เหมือนกัน แต่ก็มีความคล้ายกันมาก กล่าวคือ เป็นการแพร่กระจายน้ำสู่บรรยากาศ แต่การคายน้ำจะถูกควบคุมโดยการปิดเปิดของรูใบในขณะที่การระเหยไม่มีอะไรควบคุมเลย ดังนั้น จึงนิยมใช้ถาดวัดการระเหยเทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งจากการทดลองจะพบว่า ค่าที่ได้จะให้ผลใกล้เคียงกว่าการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยคำนวณจากสูตรเอมไพริกอลต่าง ๆ (วิบูลย์, 2518:) นอกจากนี้ถาดวัดการระเหยยังใช้ได้ง่ายและราคาถูกด้วย

2.2.5.1 การติดตั้งถาดวัดการระเหย

ถาดวัดการระเหยที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปและเป็นที่ยอมรับของ World Meteorological Organization คือ U.S. Weather Bureau Class A หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Class-A pan ดังรูป 2.2 ถาดวัดการระเหยชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 120 เซนติเมตร ลึก 25 เซนติเมตร ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสี การติดตั้งถาดนี้จะวางอยู่บนแผงไม้บนเนินดิน โดยให้ก้นถาดอยู่เหนือระดับดินเดิม 10 เซนติเมตร พื้นที่รอบ ๆ ถาดจะต้องราบเรียบและมีหญ้าขึ้นเต็ม และต้องคอยตัดหญ้าให้ต่ำกว่าระดับของถาดอยู่เสมอ ถาดนี้จะต้องไม่วางไว้ใกล้อาคารหรือต้นไม้ ซึ่งจะก่อให้เกิดร่มเงาแก่ถาดในเวลาใดเวลาหนึ่ง ยกเว้นตอนพระอาทิตย์ขึ้นหรือตก ระดับน้ำในถาดควรจะอยู่ต่ำกว่าของถาดประมาณ 5 เซนติเมตร และเติมให้อยู่ในระดับเมื่อน้ำระเหยไปประมาณ 2.5 เซนติเมตร



รูปที่2 - 2 ถาดวัดการระเหย ชนิด Class - A

2.2.5.2 การใช้น้ำของพืชกับการระเหยจากถาดวัดการระเหย

การใช้น้ำของพืชรวมกับการระเหยมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศ ชนิดของพืช และระยะการเจริญเติบโต ในขณะที่พืชยังเล็กอยู่การใช้น้ำค่อนข้างน้อย และจะใช้น้ำมากขึ้นในช่วงเจริญเติบโตเต็มที่ คือ ช่วงที่ออกดอก (Flowering Stage) จากนั้นก็ลดการการใช้น้ำลงในช่วงออกผล (Fruiting Stage) ในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยอาศัยข้อมูลจากถาดวัดการระเหยนั้นจำเป็นจะต้องหาบอัตราส่วนการใช้น้ำของพืช กับการระเหยจากถาดวัดการระเหยในช่วงเวลาการเจริญเติบโตต่าง ๆ อัตราส่วนดังกล่าวนี้เรียกว่า pan coefficient ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ฤดูกาลเพาะปลูกและอายุของพืช พอจะกำหนดเป็นสูตรได้ดังนี้

$$E_T = K_p \times E_{pan}$$

โดยที่ E_T = ปริมาณการใช้น้ำสูงสุดของพืช มีหน่วยเป็น มม.

E_p = ปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหย มม.

K_p = ค่า pan coefficient ดูได้จากตาราง 2 - 2

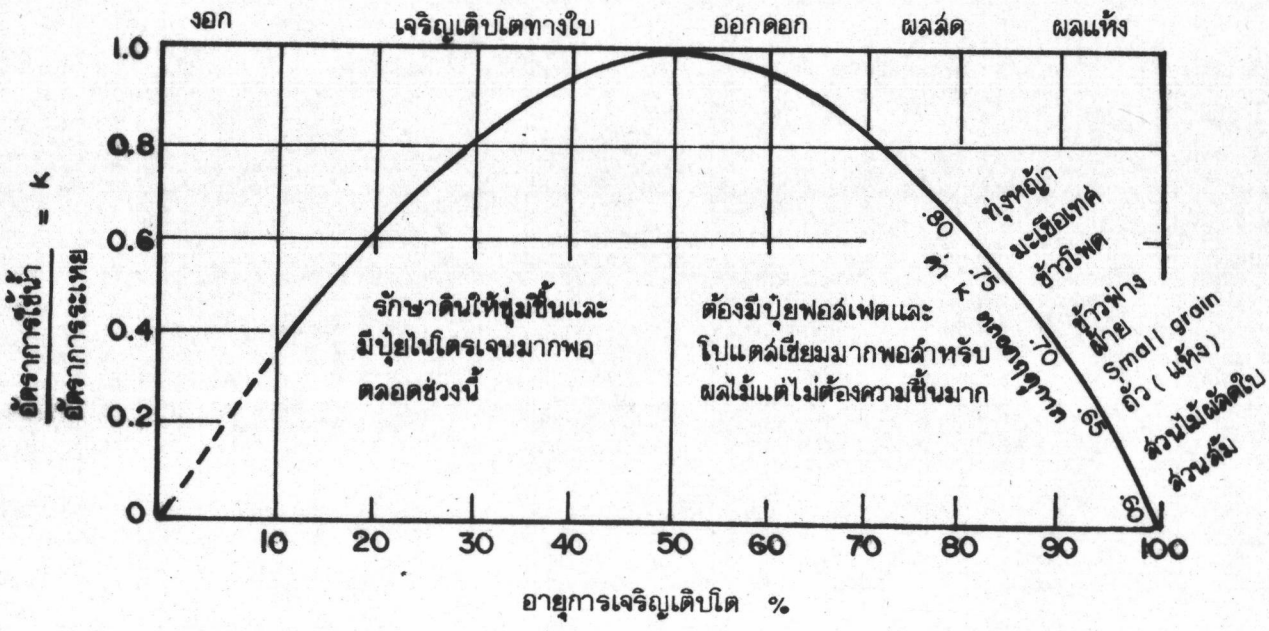
ในการคำนวณหาการใช้น้ำของพืชผักสวนครัวตัวอย่าง จะถือว่าผักบุ้งเป็นพืชผักสวนครัวที่มีรากตื้น (Shallow root) และมะเขือเทศเป็นพืชผักสวนครัวชนิดที่มีรากลึก (deep root) (Mac Gillivray, 1948)

ในการแบ่งช่วงการเจริญเติบโตของต้นพืชในการหาค่า K_p นั้น อาจจะประมาณได้จากรูปที่ 2 - 3

ตารางที่ 2 - 2 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับคูณการระเหยจากถาดวัดการระเหยชนิด Class A เพื่อให้ได้ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

พืช	เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโต										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ปอ	0.55	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.80	0.65
ถั่ว	0.20	0.30	0.40	0.65	0.85	0.90	0.90	0.80	0.60	0.35	0.20
อูโวคาโด	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.55	0.60	0.55	0.50
ข้าวโพด	0.20	0.30	0.50	0.65	0.80	0.90	0.90	0.85	0.75	0.60	0.50
ฝ้าย	0.10	0.20	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.85	0.75	0.55	0.35
สวนไม้ผลัดใบ	0.20	0.30	0.50	0.65	0.70	0.75	0.70	0.60	0.50	0.40	0.20
ข้าวฟ่าง	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35	0.15
ข้าวสาลี (ฤดูใบไม้ผลิ)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30
ข้าวสาลี (ฤดูหนาว)	0.15	0.25	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.90	0.30
องุ่น	0.15	0.15	0.20	0.35	0.45	0.55	0.55	0.45	0.35	0.25	0.20
ลูกนัท	0.30	0.35	0.55	0.70	0.75	0.75	0.75	0.65	0.55	0.30	0.15
Nuts pecan	0.35	0.45	0.55	0.75	0.75	0.65	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
ถั่วลิสง	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.45	0.30
มันฝรั่ง	0.20	0.35	0.45	0.65	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
ข้าว	0.80	0.95	1.05	1.15	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50
หัวบีท	0.25	0.45	0.60	0.70	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
ออย	อยู่ระหว่าง 0.55 ถึง 1.00 ขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโต										
ผักสวนครัวที่มีรากยาว	0.20	0.20	0.25	0.35	0.50	0.65	0.70	0.60	0.45	0.35	0.20
ผักสวนครัวที่รากตื้น	0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30

ที่มา (วิบูลย์, 2518)



รูปที่ 2-3 แสดงการใช้น้ำของพืชเทียบการระเหยที่ระยะการเจริญเติบโตช่วงต่างๆ ที่มา (ISRAELSEN, 1962)

นอกจากนี้ยังมีวิธีการวัดหาอัตราการใช้น้ำของพืชอีกหลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีการศึกษาหาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Fluctuations) วิธีการปลูกพืชรวมในระบบ(Integration Method) การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกในบริเวณปลูกพืชขนาดใหญ่ (Inflow - Outflow for Large Area) ดังได้กล่าวมาแล้วว่า แต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมกับสภาพการปลูกพืชต่าง ๆ กัน ในการปลูกพืชบนสวนแนวดิ่งเป็นการปลูกพืชในภาชนะ วิธีการวัดหาอัตราการใช้น้ำของพืชโดยตรง จะคล้ายกับวิธีการวัดหาการใช้น้ำของพืชที่ปลูกในกระถาง (Experiment with a Phytometer) คือ มีการชั่งหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา และในการเปรียบเทียบอัตราการใช้น้ำของพืชที่วัดได้จากการทดลอง จะทำการศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ และระเหยจากถาดวัดการระเหย เพราะเห็นว่าข้อมูลภูมิอากาศสามารถวัดและหาได้ตามสถานีตรวจวัดอากาศโดยทั่วไป เหตุผลในการไม่เปรียบเทียบผลของวิธีการวัดโดยตรงจากแปลงทดลองกับวิธีอื่น ๆ อีก เพราะว่าเป็นการไม่เหมาะสมในการวัดหาอัตราการใช้น้ำของพืชที่ปลูกบนสวนแนวดิ่ง โดยวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน เพราะไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินมาหาความชื้นได้ เนื่องจากปริมาณดินที่ใช้ในการเพาะปลูกมีน้อย อีกประการหนึ่งก็คือ สภาพการปลูกพืชในภาชนะเล็ก ๆ และแขวนไว้บนโครงสร้างสวนแนวดิ่ง มีสภาพการเพาะปลูกไม่เหมือนกับการปลูกพืชในแปลงเพาะปลูกขนาดใหญ่ การใช้น้ำของพืชจะไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำใต้ดิน การเก็บและรวบรวมข้อมูลจะแตกต่างกับวิธีการวัดหาอัตราการใช้น้ำของพืชโดยการศึกษาปริมาณน้ำไหลเข้าออกในบริเวณเพาะปลูก หรือ วิธีการเพาะปลูกในแปลงขนาดเล็ก จากเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงไม่มีการเปรียบเทียบผลของวิธีการวัด อัตราการใช้น้ำในแปลงทดลองกับวิธีการเหล่านี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย