คู่มือการปฏิบัติงาน

(Work Manual)

เรื่อง การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา
กรมชลประทาน

สิงหาคม 2560

คู่มือการปฏิบัติงาน
(Work Manual)

เรื่อง การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

รหัสคู่มือ สบอ. / สชน.13 / 2560

หน่วยงานที่จัดทำ
ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

ที่ปรึกษา
หัวหน้าฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน)
ผู้อำนวยการส่วนการใช้น้ำชลประทาน

พิมพ์ครั้งที่ 1
จำนวน 1 เล่ม
เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

หมวดหมู่ จัดสรรน้ำ

คู่มือการปฏิบัติงาน

(Work Manual)

เรื่อง การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

ได้ผ่านการตรวจสอบ กลั่นกรองจากคณะทำงานตรวจสอบกลั่นกรองคู่มือการปฏิบัติงาน ของสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยาเรียบร้อยแล้ว จึงถือเป็นคู่มือฉบับสมบูรณ์ สามารถใช้เป็นเอกสารเผยแพร่และใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน

ลงชื่อ.....

(นายสัญญา แสงพุ่มพงษ์)

ตำแหน่ง ผู้บริหารการจัดการความรู้ (CKO)

สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

ลงชื่อ.....

(นายณัฐพัชร์ วงษ์ศุภลักษณ์)

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการส่วนการใช้น้ำชลประทาน

ลงชื่อ.....

(นางสาววราลักษณ์ งามสมจิตร)

ตำแหน่ง หัวหน้าฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน

คู่มือการปฏิบัติงาน
(Work Manual)

เรื่อง การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

จัดทำโดย

นายฐิตนนท์ หงส์โชติธนวดี
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน
นายจรินทร์ คงรักษ์
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน
นางสาวฉวีวรรณ สุดจิตร
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน
นายปิยพัฒน์ เหลือโกศล
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการ ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน
นางสาวทัศนีย์ แก้วมรกฏ
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน
นางสาวนิศารัตน์ เจนติกุล
ตำแหน่งเจ้าพนักงานการเกษตรปฏิบัติงาน ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน

สามารถติดต่อสอบถามรายละเอียด/ข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่
ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน
เบอร์โทรศัพท์ 0-2241-4524

คำนำ

คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความรู้พื้นฐานในเรื่องการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช เช่น พืชไร่ พืชผัก ไม้ผล ไม้ดอกและไม้ประดับ โดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter) ให้กับผู้ปฏิบัติงานในส่วนที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจศึกษาเพื่อจะได้มีความรู้และเข้าใจหลักการทำงานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและคิดคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช หรือปริมาณการใช้น้ำของพืชได้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

อย่างไรก็ตามหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารเล่มนี้นอกจากจะเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปใช้เป็นแนวทางในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชแล้วยังนำไปเป็นข้อมูลในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช เช่น พืชไร่ พืชผัก ไม้ผล ไม้ดอกและไม้ประดับ เพื่อนำไปคำนวณปริมาณความต้องการน้ำในระดับโครงการชลประทาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการส่งน้ำต่อไป

คณะผู้จัดทำ
ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน
ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา
กรมชลประทาน

สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขต	1
คำจำกัดความ	1
หน้าที่ความรับผิดชอบ	1
Work Flow	5
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	6
ระบบติดตามประเมินผล	10
เอกสารอ้างอิง	12
แบบฟอร์มที่ใช้	12
ภาคผนวก	
1) แบบฟอร์มที่ 1 ตารางบันทึกการส่งน้ำชลประทาน	13
2) แบบฟอร์มที่ 2 ตารางบันทึกปริมาณน้ำระบายจากถังปลูกพืช	14
3) แบบฟอร์มที่ 3 ตารางบันทึกปริมาณน้ำฝน	15
4) แบบฟอร์มที่ 4 ตารางบันทึกปริมาณการระเหยการถาดวัดการระเหย	16
5) แบบฟอร์มที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลความเร็วลม	17
6) แบบฟอร์มที่ 6 ตารางบันทึกข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดด	18
7) แบบฟอร์มที่ 7 ตารางบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ	19
8) แบบฟอร์มที่ 8 ตารางบันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	20
9) แบบฟอร์มที่ 9 ตารางบันทึกข้อมูลความกดของอากาศ	21
10) ตัวอย่างขั้นตอนการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)	22

คู่มือการปฏิบัติงาน
คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องทางด้านการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

1.2 เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการดำเนินการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืช และเข้าใจหลักการทำงานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและคิดคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช หรือปริมาณการใช้น้ำของพืชได้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

1.3 เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและเอกสารอ้างอิงประกอบการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง

2. ขอบเขต

เพื่อจัดทำคู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter) โดยจะครอบคลุมทั้ง พืชไร่ พืชสวน พืชผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น ไม้ดอก และไม้ประดับ

3. คำจำกัดความ

การระเหยของน้ำ (Evaporation: E) หมายความว่า การระเหยของน้ำจากผิวน้ำและ/หรือผิวดิน มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตรต่อวัน

การคายน้ำของพืช (Transpiration:T) หมายความว่า การระเหยของน้ำออกจากต้นพืชโดยผ่านทางปากใบและผิวใบ มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตรต่อวัน

ปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือ การคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration:ET) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริงๆ รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแปลงปลูก โดยขบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลา หรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน

4. หน้าที่ความรับผิดชอบ

4.1 ผู้อำนวยการส่วนการใช้น้ำชลประทาน จัดประชุมวางแผนและกำหนดแนวทางและนโยบายในการศึกษาและทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

4.2 หัวหน้าฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน วางแผนการดำเนินงาน ติดตามและตรวจสอบผลความก้าวหน้าการศึกษาวิจัยการใช้น้ำชลประทานของพืช

4.3 หัวหน้าสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 1 – 9 วางแผนและติดตามรายงานการศึกษาวิจัยการใช้น้ำชลประทานของพืช

4.4 หัวหน้าโครงการวิจัย รายงานความก้าวหน้าโครงการศึกษาวิจัยการใช้น้ำชลประทานของพืช

สรุปกระบวนการ การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter) กรมชลประทาน

กระบวนการ การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ(Percolation type Lysimeter) กรมชลประทาน ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

1.1 จัดเตรียมอุปกรณ์และรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน

1.2 คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช และบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งและน้ำระบาย

1.3 การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

1.4 สรุปผลและจัดทำรายงาน

Work Flow กระบวนการการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter) กรมชลประทานในภาพรวม

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	เวลา
1.	จัดเตรียมอุปกรณ์และรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน	2 สัปดาห์
2.	คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช และบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งและน้ำระบาย	10 เดือน
3.	การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน	2 สัปดาห์
4.	สรุปผลและจัดทำรายงาน	1 เดือน

รวมเวลาทั้งหมด 12 เดือน

5. Work Flow

ชื่อกระบวนการ : กระบวนการการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

ตัวชี้วัดผลลัพธ์กระบวนการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน : จัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์แล้วเสร็จภายใน 30 กันยายน

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
1.	จัดเตรียมอุปกรณ์และรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน	2 สัปดาห์	1.1. จัดเครื่องมือและเตรียมอุปกรณ์ 1.2. ข้อมูลชนิดของพืชที่พิจารณา พืชไร่พืชสวน พืชผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น ไม้ดอก ไม้ประดับและพืชสมุนไพร 1.3. ข้อมูลวิเคราะห์คุณสมบัติดิน	1.1 ข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูลได้ 1.2 อุปกรณ์พร้อมสำหรับใช้งาน	หัวหน้าโครงการวิจัย/ทน.1-บอ.
2.	คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช และบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งและน้ำ	10 เดือน	2.1. คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช 2.2. บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช 2.3. บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำระบาย	2.1 การคำนวณ ถูกต้อง แม่นยำและตรงตามหลักวิชาการ 2.2 ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำ	หัวหน้าโครงการวิจัย
3.	การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน	2 สัปดาห์	3.1. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช 3.2. ตรวจสอบปริมาณน้ำระบายในถัง 3.3. ตรวจสอบข้อมูลความชื้นดินก่อนและหลังการส่งน้ำ	3.1 ข้อมูลถูกต้อง ครบถ้วน และสารถตรวจสอบย้อนกลับได้	ผชน.บอ./วน.บอ.
4.	สรุปผลและจัดทำรายงาน	1 เดือน	4.1. สรุปผลและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ	4.1 สรุปผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	หัวหน้าโครงการ/วน.บอ./ผชน.บอ.

6. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
1. จัดเตรียมอุปกรณ์ สำหรับการวิจัย และการรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ชนิดของพืชที่พิจารณา พืชไร่พืชสวน พืชผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น ไม้ดอก ไม้ประดับและพืชสมุนไพร ข้อมูลผลวิเคราะห์คุณสมบัติดินด้านวิทยาสาสตร์	1.1 ใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter) ซึ่งประกอบด้วยถังปลูกพืช 4 ถัง แต่ละถังมีขนาด 1.5x1.5x1.5 เมตร ทุกถังจะมีท่อต่อไปยังถังใต้ดินของแต่ละถังต่างหากซึ่งมีขนาด 1.0x1.0x1.0 เมตร เพื่อรองรับปริมาณน้ำที่เหลือจากความสามารถอุ้มน้ำของดิน 1.2 จัดเตรียมเครื่องมือวัดสภาพภูมิอากาศ เช่น เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน ถาดวัดการระเหย เครื่องวัดความยาวนานแสงแดด เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดพลังงานแสงแดด เครื่องวัดความกดอากาศ 1.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ในการให้น้ำแก่พืช เช่น ปั๊มน้ำ สายยาง บัวรดน้ำ ถังใส่น้ำ กระบอกตวงสำหรับวัดปริมาณน้ำ เครื่องเจาะดิน และเครื่องมือด้านการเกษตรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง 1.4 สภาพแปลงปลูกทั่วไป ให้ขุดดินขึ้นมาโดยแบ่งชั้นดินเดิมตามธรรมชาติ ทำการฝังถัง Lysimeter ลงในดิน แล้วนำ กรวด ทรายหยาบ และทรายละเอียดหนาอย่างละ 10 เซนติเมตร จากนั้นให้ใส่ดินเดิมที่ขุดไว้ใส่ตามละดับชั้นตามเดิม และรอให้ดินคงที่เหมือนสภาพธรรมชาติ	-	หัวหน้าโครงการวิจัย/ทน.1-บอ.	อุปกรณ์และเครื่องมือพร้อมใช้งาน

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
2. คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช และบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำระบาย	1.5 ข้อมูลชนิดพืชที่ต้องพิจารณาได้แก่ พืชไร่ พืชสวน พืชผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น ไม้ดอก และไม้ประดับ 1.6 ข้อมูลคุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์ เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-30 และ 30-60 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความสามารถในการดูดยึดน้ำของดิน ความหนาแน่นดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดิน 2.1 ทำการให้น้ำจำนวนหนึ่งซึ่งต้องมากพอที่จะทำให้น้ำไหลออกจากถังปลูกพืชลงไปยังถังใต้ดิน เพื่อให้ดินในถังปลูกพืชมีความชื้นถึงจุดความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ซึ่ง ปริมาณน้ำจำนวนนี้ไม่ได้นำมาคำนวณ โดยประมาณ 3-5 วัน จึงปลูกพืช 2.2 ทำการให้น้ำครั้งต่อไปเมื่อความชื้นในดินลดลงเหลือ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (พืชผัก) 25 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (ไม้ดอก-ไม้ประดับ) และ 50 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (พืชไร่-ไม้ผล) :ซึ่งในการให้น้ำแต่ละครั้งจะต้องมีน้ำระบายออกมา 2.3 การคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อส่งให้แก่พืชจะยึด	แบบฟอร์มตารางการบันทึกข้อมูล	หัวหน้าโครงการวิจัย	ข้อมูลมีความถูกต้องและครบถ้วน และตรงตามหลักวิชาการ

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
	หลักการคือ จะต้องส่งน้ำให้แก่พืชในปริมาณที่พอดีและตรงตามช่วงเวลาและความต้องการของพืชเป็นสำคัญ ซึ่งข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญและต้องทราบได้แก่ กลุ่มของดิน (Texture Class) ค่าความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ค่าความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Available Moisture) ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (Apparent Specific Gravity) และค่าความลึกของเขตรากพืชตามอายุพืช (Root Zone Depth) 2.4 บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่พืชใช้ตลอดการทดลองทั้งได้แก่ ปริมาณน้ำชลประทาน ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำระบาย โดยปริมาณน้ำที่พืชใช้คำนวณได้ดังนี้ ปริมาณน้ำที่พืชใช้ = ปริมาณน้ำชลประทานที่ส่ง + ปริมาณน้ำฝน – ปริมาณน้ำระบาย			
3. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช ปริมาณน้ำระบายในถัง ข้อมูลความชื้นดินก่อนและหลัง	3.1 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืชจากตารางบันทึกข้อมูล 3.2 ตรวจสอบปริมาณน้ำระบายในถัง 3.3 ตรวจสอบข้อมูลความชื้นดินก่อนและหลังการส่งน้ำ	แบบฟอร์มตารางการบันทึกข้อมูล	ผชน.บอ./ วน.บอ.	ข้อมูลมีความถูกต้องและครบถ้วน

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
การส่งน้ำ 4. สรุปผลและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ	4.1 รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่ง ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำระบายตลอดการทดลอง 4.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่พืชใช้ตลอดการทดลอง	แบบฟอร์มตารางการบันทึกข้อมูล	ผชน.บอ./วน.บอ.	ใช้แบบฟอร์ม ตารางการบันทึกข้อมูล มาวิเคราะห์และสรุปผล

7. ระบบติดตามประเมินผล

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
1. จัดเครื่องมือและเตรียมอุปกรณ์ 1.1 เครื่องมือสำการวิจัย 1.2. ข้อมูลชนิดของพืชที่พิจารณา พืชไร่ พืชสวน พืชผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น ไม้ดอกไม้ประดับและพืชสมุนไพร 1.3. ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดินด้านวิทยาสาสตร์	อุปกรณ์มีความพร้อม ข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงกับแหล่งที่มาของข้อมูลได้	ตรวจสอบข้อมูลกับแหล่งที่มาอ้างอิง	วน.บอ.,ผชน.บอ.	-
2. คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช และบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งและน้ำระบาย 2.1. คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช 2.2. บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช 2.3. บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำระบาย	ข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงกับแหล่งที่มาของข้อมูลได้	ตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูล	วน.บอ.,ผชน.บอ.	-
3. การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน 3.1. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช 3.2. ตรวจสอบปริมาณน้ำระบายในถัง	ข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงกับแหล่งที่มาของข้อมูลได้	ตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูล	วน.บอ.,ผชน.บอ.	-

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
3.3. ตรวจสอบข้อมูลความชื้นดินก่อนและหลังการส่งน้ำ 4. สรุปผลและจัดทำรายงาน 4.1.สรุปผลและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ	ข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงกับแหล่งที่มาของข้อมูลได้	ตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูล	วน.บอ.,ผชน.บอ.	-

8. เอกสารอ้างอิง

วิบูลย์ บุญยธโรกุล.2526. หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมการชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุจิน จรูญศักดิ์.2549.เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการปรับปรุงระบบการจัดการน้ำด้านเกษตรชลประทาน. กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน

9. แบบฟอร์มที่ใช้

9.1 ตารางบันทึกการส่งน้ำชลประทานให้กับพืช

9.2 ตารางบันทึกปริมาณน้ำระบายจากถังปลูกพืช

9.3 ตารางบันทึกปริมาณน้ำฝน

9.4 ตารางบันทึกปริมาณการระเหยการถาดวัดการระเหย

9.5 ตารางบันทึกข้อมูลความเร็วลม

9.6 ตารางบันทึกข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดด

9.7 ตารางบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

9.8 ตารางบันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

9.9 ตารางบันทึกข้อมูลความกดของอากาศ

รายละเอียดตามเอกสารภาคผนวกที่แนบ

ภาคผนวก

แบบฟอร์มที่ 1

ตารางบันทึกการส่งน้ำชลประทานให้กับพืช

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณน้ำที่ส่งในแต่ละถัง (มิลลิเมตร)				รวม	เฉลี่ย	หมายเหตุ
		A	B	C	D			
รวม								

แบบฟอร์มที่ 2

ตารางบันทึกปริมาณน้ำระบายจากถังปลูกพืช

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณน้ำที่ส่งในแต่ละถัง (มิลลิเมตร)				รวม	เฉลี่ย	หมายเหตุ
		A	B	C	D			
รวม								

แบบฟอร์มที่ 3

ตารางบันทึกปริมาณน้ำฝน

วันที่	ระยะเวลาฝนตก		ปริมาณน้ำ	หมายเหตุ
	เริ่มตก-น.	หยุดตก - น.	(มม.)	
รวม				

แบบฟอร์มที่ 4

ตารางบันทึกปริมาณการระเหยการถาดวัดการระเหย

วันที่	อ่านการระเหยในถัง			รวมระเหย	หมายเหตุ
	เลขที่ตั้ง	ฝน	อ่านได้	(มม.)	
รวม					
เฉลี่ย					

แบบฟอร์มที่ 5

ตารางบันทึกข้อมูลความเร็วลม

วันที่	เวลา (น.)	ตัวเลขที่อ่านได้	กลางวัน กม./12 ชม.	กลางคืน กม./12 ชม.	ตลอดวัน กม./วัน.
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
	06.00				
	18.00				
รวม					
เฉลี่ย					

แบบฟอร์มที่ 6

ตารางบันทึกข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดด

วันที่	จำนวนชั่วโมงแสงแดด (ชม.)	หมายเหตุ
รวม		
เฉลี่ย		

แบบฟอร์มที่ 7

ตารางบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

วันที่	อุณหภูมิของอากาศ (° ซ)			หมายเหตุ
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
รวม				
เฉลี่ย				

แบบฟอร์มที่ 8

ตารางบันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

วันที่	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)			หมายเหตุ
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
รวม				
เฉลี่ย				

แบบฟอร์มที่ 9

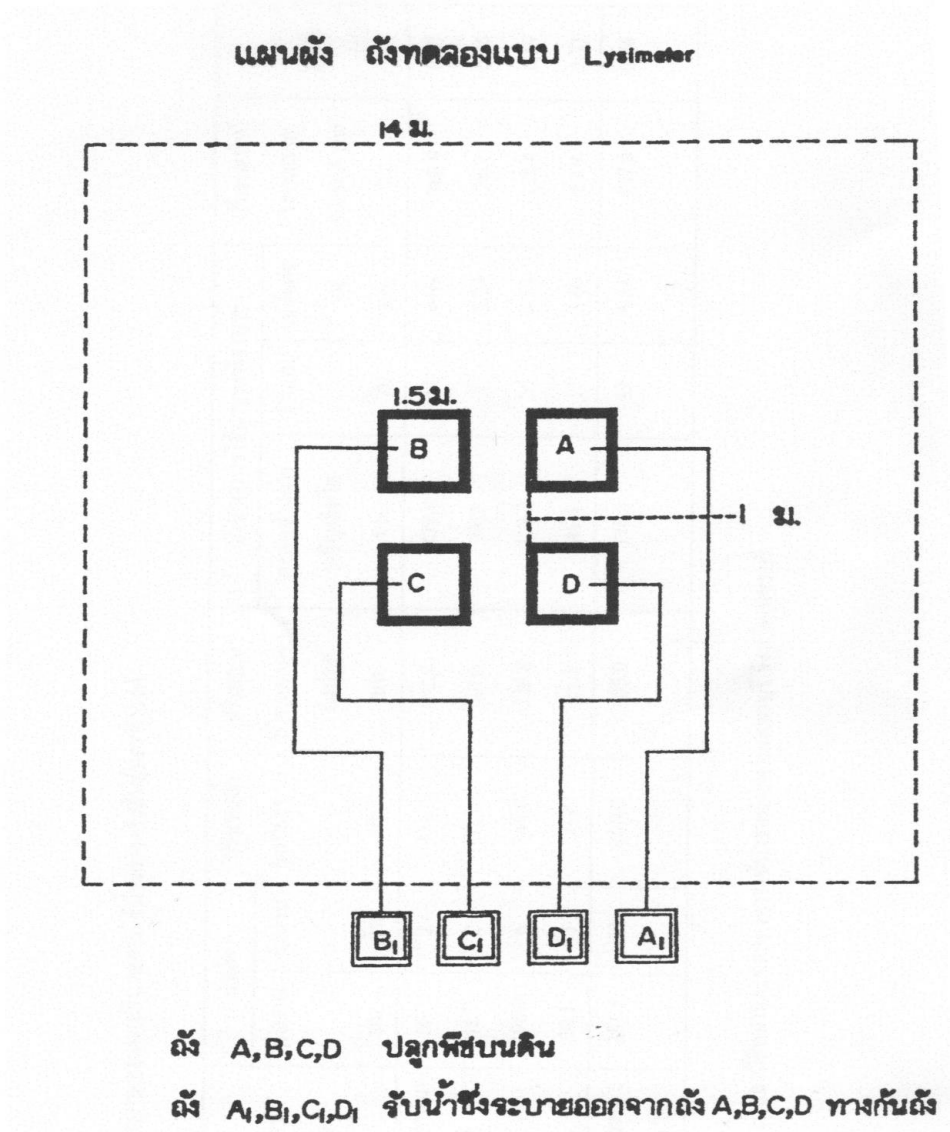
ตารางบันทึกข้อมูลความกดของอากาศ

วันที่	ความกดของอากาศ (มิลลิบาร์)			หมายเหตุ
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
รวม				
เฉลี่ย				

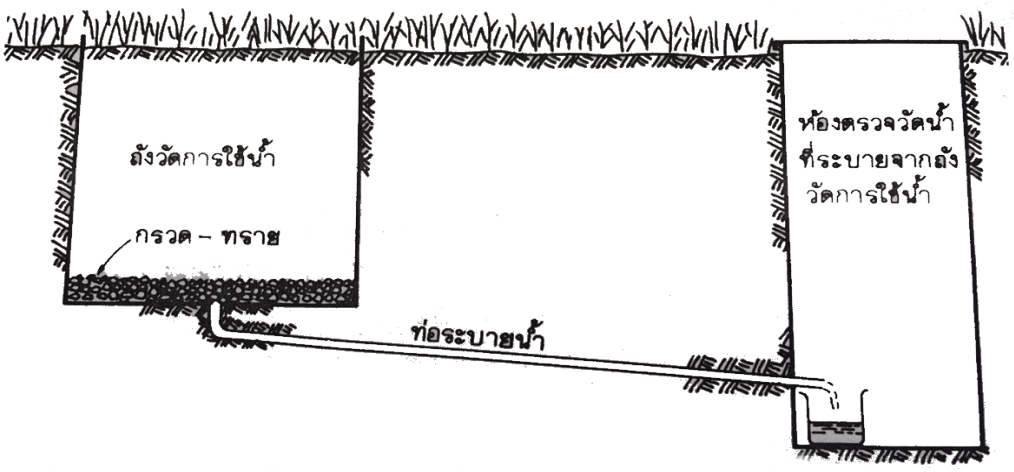
ตัวอย่างขั้นตอนการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

1 จัดเตรียมอุปกรณ์ และการรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ประกอบด้วย

1.1 ใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter) ซึ่งประกอบด้วยถังปลูกพืช 4 ถัง แต่ละถังมีขนาด 1.5x1.5x1.5 เมตร ทุกถังจะมีท่อต่อไปยังถังใต้ดินของแต่ละถังต่างหากซึ่งมีขนาด 1.0x1.0x1.0 เมตร เพื่อรองรับปริมาณน้ำที่เหลือจากความสามารถอุ้มน้ำของดิน (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 แสดงแผนผังถังทดลองวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)



ภาพที่ 2 แสดงภาพตัดตามขวางของถังวัดการใช้น้ำของพืช แบบระบายน้ำ (Percolation type Lysimeter)

1.2 จัดเตรียมเครื่องมือวัดสภาพภูมิอากาศ เช่น เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน ถาดวัดการระเหย เครื่องวัดความยาวนานแสงแดด เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดพลังงานแสงแดด เครื่องวัดความกดอากาศ

1.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ในการให้น้ำแก่พืช เช่น ปั๊มน้ำ สายยาง บัวรดน้ำ ถังใส่น้ำ กระบอกตวงสำหรับวัดปริมาณน้ำ เครื่องเจาะดิน และเครื่องมือด้านการเกษตรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

1.4 สภาพแปลงปลูกทั่วไป ให้ขุดดินขึ้นมาโดยแบ่งชั้นดินเดิมตามธรรมชาติ ทำการฝังถัง Lysimeter ลงในดิน แล้วนำ กรวด ทรายหยาบ และทรายละเอียดหนาอย่างละ 10 เซนติเมตร จากนั้นให้ใส่ดินเดิมที่ขุดไว้ใส่ตามละดับชั้นตามเดิม และรอให้ดินคงที่เหมือนสภาพธรรมชาติ

1.5 ข้อมูลชนิดพืชที่ต้องพิจารณาได้แก่ พืชไร่ พืชสวน พืชผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น ไม้ดอก และไม้ประดับ

1.6 ข้อมูลคุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์ เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-30 และ 30-60 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความสามารถในการดูดยึดน้ำของดิน ความหนาแน่นดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดิน

2 คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช และบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งและน้ำระบาย

2.1 ทำการให้น้ำจำนวนหนึ่งซึ่งต้องมากพอที่จะทำให้น้ำไหลออกจากถังปลูกพืชลงไปยังถังใต้ดิน เพื่อให้ดินในถังปลูกพืชมีความชื้นถึงจุดความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ซึ่ง ปริมาณน้ำจำนวนนี้ไม่ได้นำมาคำนวณ โดยประมาณ 3-5 วัน จึงปลูกพืช

2.2 ทำการให้น้ำครั้งต่อไปเมื่อความชื้นในดินลดลงเหลือ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (พืชผัก) 25 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (ไม้ดอก-ไม้ประดับ) และ 50

เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (พืชไร่-ไม้ผล) ซึ่งในการให้น้ำแต่ละครั้งจะต้องมีน้ำระบายออกมา

2.3 การคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อส่งให้แก่พืชจะยึดหลักการคือ จะต้องส่งน้ำให้แก่พืชในปริมาณที่พอดีและตรงตามช่วงเวลาและความต้องการของพืชเป็นสำคัญ ซึ่งข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญและต้องทราบได้แก่ กลุ่มของดิน (Texture Class) ค่าความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ค่าความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Available Moisture) ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (Apparent Specific Gravity) และค่าความลึกของเขตรากพืชตามอายุพืช (Root Zone Depth) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$d = \frac{Pw * As * D}{๑๐๐}$$

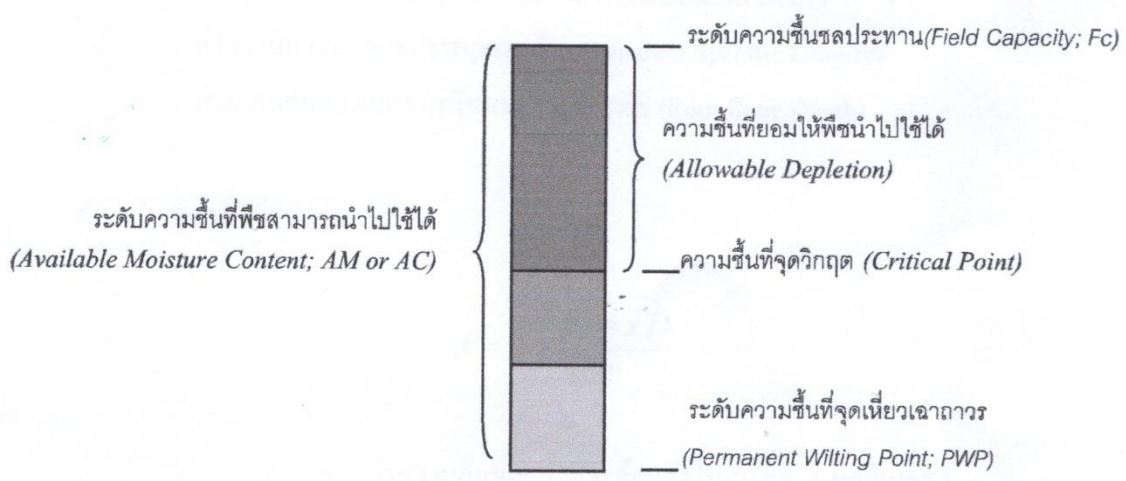
เมื่อ d = ค่าความลึกของน้ำที่จะต้องส่งให้แก่พืช (มิลลิเมตร)

Pw = ค่าความชื้นที่จะต้องเพิ่มเติมให้แก่ดินจนถึงระดับความชื้นชลประทาน (%)

As = ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน

D = ค่าความลึกของเขตรากพืชหรือความลึกของดินที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปถึงหลังการให้น้ำ (มิลลิเมตร)

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช และตัวอย่างในการคำนวณปริมาณน้ำส่งให้พืช (ภาพที่ 3 และ ตารางที่ 1)



ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช

ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณหาความลึกของน้ำที่ต้องส่งให้พืชตามค่าความลึกเขตรากพืช

อายุพืช (วัน)	ความลึกเขตรากพืช (มม.)	As	ความชื้นชลประทาน %	ความชื้นก่อนให้น้ำ %	ความลึกของน้ำที่ให้ (มม.)
1-30	150	1.32	14.50	7.25	14.36
31-60	300	1.32	14.50	7.25	28.71
61-90	450	1.32	14.50	7.25	43.07
91-120	600	1.32	14.50	7.25	57.42

<u>จากสูตร</u>

$$d = \frac{Pw * As * D}{๑๐๐}$$

เมื่อ

Pw = 14.50-7.25 = 7.25 %

As = 1.32

D = 150 มม.

แทนค่าจะได้

$$d = \frac{๗.๒๕ * ๑.๓๒ * 150}{๑๐๐}$$

= 14.36 มม.

2.5 ทำการให้น้ำจนกระทั่งเก็บเกี่ยวพืชเสร็จ จึงทำการให้น้ำเป็นครั้งสุดท้ายให้มากพอเพื่อทำให้ดินในถังปลูกพืชมีความชื้นถึงจุดความชื้นชลประทานอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณน้ำจำนวนนี้ต้องนำมาคำนวณด้วย

2.6 การวัดน้ำระบาย หลังจากส่งน้ำครั้งแรก และวัดน้ำระบายจากถังใต้ดินก่อนปลูกพืช น้ำระบายจำนวนนี้ไม่นำมาคำนวณ ในระหว่างทำการทดลองวัดน้ำระบายทุกวัน กรณีฝนตกหนักต้องรีบวัดน้ำระบายในวันรุ่งขึ้น เพื่อป้องกันน้ำล้นถังระบาย

2.7 บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่พืชใช้ตลอดการทดลองทั้ง ได้แก่ ปริมาณน้ำชลประทาน ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำระบาย โดยปริมาณน้ำที่พืชใช้คำนวณได้ดังนี้ ปริมาณน้ำที่พืชใช้ = ปริมาณน้ำชลประทานที่ส่ง + ปริมาณน้ำฝน – ปริมาณน้ำระบาย

3 การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

3.1 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช

3.2 ตรวจสอบปริมาณน้ำระบายในถัง

3.2 ตรวจสอบข้อมูลความชื้นดินก่อนและหลังการส่งน้ำ

4 สรุปผลและจัดทำรายงาน

4.1 รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่ง ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำระบายตลอดการทดลอง

4.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่พืชใช้ตลอดการทดลอง

4.3 สรุปผลและจัดทำรายงานตามแบบฟอร์มการเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

5 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration: ET_O)

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration: ET_O) นั้นอาจทำได้หลายวิธีด้วยกันซึ่งสูตรที่ใช้ขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ของข้อมูลภูมิอากาศที่มีอยู่ ซึ่งสูตรหรือวิธีการที่นิยมใช้กันในงานด้านเกษตรชลประทานที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย มี 6 สูตร ซึ่งมีข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณค่า ดังนี้

1. ค่าการระเหยของน้ำ (Evaporation) ได้จากการวัดการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ Class A - Pan หน่วยเป็น มิลลิเมตร

2. ค่าความเร็วลม (Wind Speed) ได้จากการวัดความเร็วลมที่ระดับผิวดินในเวลากลางวัน กลางคืน และตลอดวัน แล้วแปลงค่าความเร็วลมที่ระดับผิวดินให้เป็นความเร็วลมที่ระดับความสูง 2.00 เมตร และแปลงหน่วยความเร็วลมจาก กิโลเมตร /วัน ให้เป็น เมตร/วินาที

2.1 คำนวณค่าปรับแก้ความเร็วลมระดับความสูงใด ๆ เป็นความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร

ค่าปรับแก้ = $\frac{4.87}{\ln(67.8 \times z - 5.42)}$ เมื่อ

Z = ระดับความสูงที่ตรวจวัดความเร็วลม.....เมตร

U_2 = ความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร

U_Z = ความเร็วลมที่ระดับการตรวจวัด Z เมตร

$U_2 = U_Z \times \frac{4.87}{\ln(67.8 \times z - 5.42)}$ = ... เมตร/วินาที ที่ระดับ 2.00 เมตร ⇐

2.2 แปลงหน่วยความเร็วลม <u>กิโลเมตร/วัน</u> ($U_{km/day}$) ให้เป็น <u>เมตร/วินาที</u> ($U_{m/s}$)

x 1000 แปลง กิโลเมตร → เมตร

x 24 แปลง วัน $\rightarrow$ ชั่วโมง

x 60 (ตัวที่ 1) แปลง ชั่วโมง $\rightarrow$ นาที

x 60 (ตัวที่ 2) แปลง นาที $\rightarrow$ วินาที

จะได้ $U_{m/s} = \frac{U_{km/day} \times 1000}{24 \times 60 \times 60}$ = ... เมตร/วินาที ที่ระดับ z เมตร

หมายเหตุ : สถานีทดลอง ฯ วัดความเร็วลมผิวดินที่ระดับ 0.45 เมตร ในหน่วย กิโลเมตร / วัน

3. ค่าการแผ่กระจายรังสีอาทิตย์ (Radiation) ได้ข้อมูลจาก ตารางผนวกที่ 7 หน่วย mm/day ใช้กับวิธีการของ Modified Penman และตารางผนวกที่ 14 ($MJ/m^2/day$), (error < 1%) ใช้กับวิธีการของ Penman Monteith

4. ค่าความยาวนานแสงแดดหรือจำนวนชั่วโมงแสงแดด ได้ข้อมูลจากการวัด หน่วย ชั่วโมง/วัน

5. ค่าอุณหภูมิของอากาศ (Temperature) สูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ได้ข้อมูลจากการวัด หน่วย ^{o}C และ K

6. ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Humidity) สูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ได้ข้อมูลจากการวัด หน่วย %

7. ค่าพิกัดที่ตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา

รายละเอียดวิธีการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o)

1. วิธีการของ Pan Evaporation

ET_o = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร/วัน), (Reference Crop Evapotranspiration)

K_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย **(ตารางผนวกที่ ข - 1)** ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะอ่านค่า K_p จากตาราง ให้ใช้ค่า K_p = 0.85 สำหรับพื้นที่ในประเทศไทย

E_{pan} = ค่าการระเหยของน้ำที่อ่านได้จากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A - Pan (มิลลิเมตร/วัน)

2. วิธีการของ Hargreaves

$ET_o = 0.0023R_a (Tc+17.8) \sqrt{TD}$

ET_o = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร /วัน), (Reference Crop Evapotranspiration)

R_a = รังสีอาทิตย์ที่ได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุม สำหรับซีกโลกภาคเหนือหรือใต้ เมื่อคิดเทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส (มิลลิเมตร /วัน), **(ตารางผนวกที่ ข - 5)**

$T_C = T_{mean}$ = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (^{o} C)

$T_D = T_{max} - T_{min}$ = อุณหภูมิของอากาศสูงสุดเฉลี่ย – อุณหภูมิของอากาศต่ำสุดเฉลี่ย สำหรับช่วงระยะ เวลาที่คำนวณ (^{o}C)

3. วิธีการของ Radiation

เป็นวิธีการประมาณค่า ET_o จากกราฟความสัมพันธ์ของ WxR_S, เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และลมกลางวันเป็น ม. /วินาที ที่ระยะ 2 เมตร

ET_o = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร /วัน), (Reference Crop Evapotranspiration)

R_s = รังสีแสงอาทิตย์ที่คิดเทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำ (มิลลิเมตร /วัน)

W = Factor ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความสูง **(ตารางผนวกที่ ข - 6)**

c = ค่าปรับแก้ (Adjustment Factor) ที่ขึ้นอยู่กับ WxR_S, เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย, ลมกลางวันเป็นเมตร /วินาที ที่ระยะ 2 เมตร ($U_{daytime}$), (ดูจาก**แผนภูมิผนวกที่ ข - 1**)

4. วิธีการของ Blaney – Criddle

$ET_o = c\,[p\,(0.46T+8)]$

เป็นวิธีการประมาณค่า ET_o จากกราฟความสัมพันธ์ของ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ชั่วโมงแสงแดด และลมกลางวันเป็น เมตร/วินาที ที่ระยะ 2 เมตร

ET_o = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร /วัน), (Reference Crop Evapotranspiration)

T = ค่าอุณหภูมิประจำเดือนเฉลี่ย (^oC)

p = เปอร์เซ็ นต์ประจำวันเฉลี่ยของชั่วโมงกลางวันทั้งหมดในระยะเวลา 1 ปี

c = ค่าปรับแก้ (Adjustment Factor) ที่ขึ้นอยู่กับ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย, ลมกลางวันเป็น เมตร/วินาที ที่ระยะ 2 เมตร (U_{2day}) และชั่วโมงแสงแดด, (ดูจาก**แผนภูมิผนวกที่ ข - 2**)

5. วิธีการของ Modified Penman

จาก $ET_o = c\left[WRn + (1-W)\,f(u)(ea-ed)\right]$

ET_o = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร /วัน), (Reference Crop Evapotranspiration)

c = ค่าสำหรับใช้ปรับแก้ความคลาดเคลื่อน (Adjustment Factor) **(ตารางผนวกที่ ข - 10)**

W = แฟคเตอร์ที่อยู่ในเทอมที่เกี่ยวข้องกับรังสีแสงแดด (**ตารางผนวกที่ ข - 7)**

R_n = รังสีแสงแดดสุทธิ (มิลลิเมตร/วัน)

(1-W) = อิทธิพลของลมและความชื้นในอากาศที่ทราบระดับและอุณหภูมิเฉลี่ย

f (u) = อิทธิพลของกระแสลม

$(e_a - e_d)$ = ผลต่างระหว่างค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวเฉลี่ย (ea) กับความดันไอน้ำที่เป็นจริงเฉลี่ย (ed)

$f(u) = 0.27\left(1+\frac{U_2}{100}\right)$ โดยที่ U_2 = ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 2 เมตร

e_a = ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ (ea) เป็นมิลลิบาร์ **(ตารางผนวกที่ ข - 11)**

$e_d = e_a\left(\frac{RH_{mean}}{100}\right)$ โดยที่ RH_{mean} = เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

$R_n = R_{ns} - R_{nl}$

R_{ns} = ปริมาณรังสีคลื่นสั้นสุทธิ (มิลลิเมตร /วัน)

R_{nl} = ปริมาณรังสีคลื่นยาวสุทธิ (มิลลิเมตร /วัน)

$$R_{ns} = 0.75 R_s$$

$$R_s = \left(0.25 + 0.5\frac{n}{N}\right) R_a$$

R_s = ปริมาณรังสีคลื่นสั้น (มิลลิเมตร /วัน)

n = จำนวนชั่วโมงแสงแดด (ชั่วโมง/วัน)

N = ค่าประจำวันเฉลี่ยของชั่วโมงที่มีแสงแดดนานที่สุด (ชั่วโมง/วัน), (**ตารางผนวกที่ ข - 4**)

R_a = ปริมาณรังสีนอกชั้นบรรยากาศ (R_a) เทียบเป็นอัตราการระเหย (มิลลิเมตร /วัน), (**ตารางผนวกที่ ข - 5**)

$$R_{nl} = f(T) \times f(ed) \times f\left(\frac{n}{N}\right)$$

f(T) = อิทธิพลของอุณหภูมิต่อรังสีคลื่นยาว, (**ตารางผนวกที่ ข- 8**)

f(ed) = อิทธิพลของความดันไอน้ำที่เป็นจริงต่อรังสีคลื่นยาว = $0.34 - 0.044\sqrt{ed}$

$f\left(\frac{n}{N}\right)$ = อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างจำนวนชั่วโมงแสงแดดกับค่าประจำวันเฉลี่ยของชั่วโมงที่มีแสงแดดนานที่สุดต่อรังสีคลื่นยาว = $0.1 + 0.9\left(\frac{n}{N}\right)$

6. วิธีการของ Penman – Monteith

จาก $ET_O = \dfrac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$

ET_O = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร /วัน), (Reference Crop Evapotranspiration)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้นโค้งแรงดันไอ (kPa °/C)

$$\Delta = \frac{\left[4098 \times 0.610 \times e^{\left(\frac{17.27 \times T_{mean}}{T_{mean} + 237.3}\right)}\right]}{(T_{mean} + 237.3)^2}$$

โดยที่

Δ = Slope of saturation vapour pressure curve at air temperature T (kPa/°C)

T_{mean} = อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ (MJ $m^{-2}d^{-1}$)

$R_n = R_{ns} - R_{nl}$ =..... $MJ/m^2/day$

R_{ns} = $0.77R_S$ =..... MJ/m^2/day

$$R_S = \left(0.25 + 0.5\frac{n}{N}\right) R_a$$ =..... MJ/m^2/day

$$R_{nl} = \sigma \times \left(\frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2}\right) \times \left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}\right) \times \left(1.35\frac{R_S}{R_{SO}} - 0.35\right)$$

$R_{so} = 0.75R_a$

โดยที่

R_n = Net Radiation (MJ/m^2/day)

R_{ns} = Albedo (α) and net solar radiation (MJ/m^2/day)

R_S = Solar or shortwave radiation (MJ/m^2/day)

n = จำนวนชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย จากเครื่องมือวัด (hour/day)

N = ค่าประจำวันเฉลี่ยของชั่วโมงที่มีแสงแดดนานที่สุดที่สามารถจะเกิดขึ้นได้ (hour/day)

(**ตารางผนวกที่ ข - 13**)

R_a = Daily extraterrestrial radiation (MJ/m^2/day) (**ตารางผนวกที่ ข - 12**)

R_{nl} = Net outgoing long wave radiation (MJ/m^2/day)

σ = Stefan-Boltmann constant 4.903×10^{-9} MJ/m^2/day

$T_{max,K}^4$ = Maximum absolute temperature during the 24 hour period K=^{O}C+273.16

$T_{min,K}^4$ = Minimum absolute temperature during the 24 hour period K=^{O}C+273.16

e_a = Actual vapour pressure (kPa)

$\frac{R_s}{R_{so}}$ = Relative shortwave radiation (limited to ≤ 1.0)

R_{so} = Calculated clear sky radiation (MJ/m^2/day)

G = Flux ค่าความร้อนของพื้นดิน (MJ m^{-2}d^{-1})

$$G = 0.14\left(T_{month_n} + T_{month_{n-1}}\right) \approx 0$$

โดยที่ G = Soil heat flux (MJ/m^2/day)

γ = ค่าคงที่ของ Psychrometric (kPa °/C)

$$\gamma = 0.00163\frac{P}{\lambda}$$

$$P = P_o\left(\frac{T_{ko} - \alpha(z - z_o)}{T_{ko}}\right)^{\frac{g}{\alpha R}}$$

โดยที่

γ = Psychrometric constant (kPa/^{o}C)

P = Atmospheric pressure at elevation z (kPa/^{o}C)

λ = Latent heat of vaporization = $2.501-\left(2.361\times10^{-3}\right)Tmean$ (MJ/m^2/day)

T_{mean} = อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

P_o = Atmospheric pressure at sea level = 101.3 (kPa)

z = Elevation (m)

z_0 = Elevation at reference level (m)

g = Gravitational acceleration = 9.807 (m/s^2)

R = Specific gas constant = 287 J/kg/K

α = Constant lapse rate moist air = 0.0065 (K/m)

T_{ko} = Reference temperature (K) at elevation z_o given by 273.16+T

900 = Factor ปรับแก้

T = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (^{o}C)

U_2 = ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (เมตร/วินาที)

e_s-e_a = = ค่าความต่างของแรงดันไอ (kPa)

$$e_s=\frac{e^{o}\left(T_{max}\right)+e^{o}\left(T_{min}\right)}{2}=\text{..... (kPa)}$$

$$e^{o}\left(T_{max}\right)=0.6108\times e\left[\frac{17.27\times T_{max}}{T_{max}+237.3}\right]=\text{..... (kPa)}$$

$$e^{o}\left(T_{min}\right)=0.6108\times e\left[\frac{17.27\times T_{min}}{T_{min}+237.3}\right]=\text{..... (kPa)}$$

$$e_a=\frac{e^{o}\left(T_{min}\right)\frac{RH_{max}}{100}+e^{o}\left(T_{max}\right)\frac{RH_{min}}{100}}{2}=\text{..... (kPa)}$$

โดยที่

e_s = Mean saturation vapour pressure (kPa)

$e^{o}\left(T_{max}\right)$ = Saturation vapour pressure at daily maximum temperature (kPa)

$e^{o}\left(T_{min}\right)$ = Saturation vapour pressure at daily minimum temperature (kPa)

e_a = Actual vapour pressure (kPa)

T_{max} = อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (^{o}C)

T_{min} = อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (^{o}C)

RH_{max} = เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ย (%)

RH_{min} = เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ย (%)

RH_{mean} = เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)

6..3.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient:K_C)

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ (Crop Coefficient:K_C) ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ที่ทำการทดลองและตรวจวัดได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) กับผลการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_O) จากสูตรใดสูตรหนึ่ง โดยอยู่ในรูปสมการ

$$Kc = \frac{ET}{ETo}$$

3 การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

3.1 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช

3.2 ตรวจสอบปริมาณน้ำระบายในถัง

3.2 ตรวจสอบข้อมูลความชื้นดินก่อนและหลังการส่งน้ำ

4 สรุปผลและจัดทำรายงาน

4.1 รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่ง ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำระบายตลอดการทดลอง

4.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่พืชใช้ตลอดการทดลอง

4.3 สรุปผลและจัดทำรายงานตามแบบฟอร์มการเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางผนวกที่ ข - 1 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับคูณการระเหยจากถาดแบบ Class – A เพื่อให้เป็นการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration; K_P)

ความเร็วลมเฉลี่ย(ก.ม./วัน)	กรณีที่ 1 ถาดล้อมรอบด้วยพืช				กรณีที่ 2 ถาดล้อมรอบด้วยที่ดินที่ว่างเปล่า			
	ระยะด้านเหนือลมที่ปลูกพืช (เมตร)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)			ระยะด้านเหนือลมที่ไม่ได้ปลูกพืช (เมตร)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)		
		20 - 40	40 - 70	70		20 - 40	40 - 70	70
ลมอ่อน < 170 ก.ม./วัน	0	0.55	0.65	0.75	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
ลมอ่อนปานกลาง 170 – 425 ก.ม./วัน	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
ลมแรง 425 – 700 ก.ม./วัน	0	0.45	0.50	0.60	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
ลมแรงมาก > 700 ก.ม./วัน	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

ตารางผนวกที่ ข - 2 แสดงค่าปรับแก้ความเร็วลมที่ระดับอื่น ๆ ให้เป็นลมที่ระดับ 2 เมตร

ความสูงที่ระดับตรวจวัด (เมตร)	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
ค่าปรับแก้	1.35	1.15	1.06	1.00	0.93	0.88	0.85	0.83

ตารางผนวกที่ ข - 3 แสดงค่าปรับแก้ลมในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนใน 1 วัน ให้เป็นลมกลางวันอย่างเดียวตลอด 24 ชั่วโมง (U_{2day})

U_{day} / U_{night}	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
ค่าปรับแก้	1.00	1.20	1.33	1.43	1.50	1.56	1.60

ตารางผนวกที่ ข - 4 แสดงค่าประจำวันเฉลี่ยของชั่วโมงที่มีแสงแดดนานที่สุด (N) ที่สามารถจะเกิดขึ้นได้ จากวิธีของ Modified Penman

ละติจูด	ซีกโลกเหนือ											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8

ตารางผนวกที่ ข - 5 แสดงปริมาณรังสีนอกชั้นบรรยากาศ (R_a) เทียบเป็นอัตราการระเหย (มิลลิเมตร /วัน)

ละติจูด	ซีกโลกเหนือ											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
22	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
4	14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1

ตารางผนวกที่ ข - 6 แสดงค่าแฟคเตอร์ W จากวิธีการของ Radiation

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W ที่ระดับความสูง (เมตร)																				
0	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85
500	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1000	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2000	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88

ตารางผนวกที่ ข - 7 แสดงค่าแฟคเตอร์ W จากวิธีการของ Modified Penman

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W ที่ระดับความสูง (เมตร)																				
0	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85
500	0.44	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1000	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2000	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88

ตารางผนวกที่ ข - 8 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิ f (T) ต่อปริมาณรังสีคลื่นยาว (Rnl)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$f(T) = \sigma Tk^4$	11.0	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1

ตารางผนวกที่ ข - 9 แสดงความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ (ea) เป็นมิลลิบาร์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
ea (มิลลิบาร์)	6.11	7.05	8.13	9.35	10.72	12.27	14.02	15.98	18.17	20.63	23.37	26.43	29.83

ตารางผนวกที่ ข - 9 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
ea (มิลลิบาร์)	33.61	37.80	42.43	47.55	53.20	59.42	66.26	73.78	82.01	91.03	100.89	111.66	123.40

ตารางผนวกที่ ข - 10 แสดงแฟคเตอร์ปรับแก้ (c) ค่าของ ET_O จากวิธีการของ Modified Penman

	RH_{max} = 30 เปอร์เซ็นต์				RH_{max} = 60 เปอร์เซ็นต์				RH_{max} = 90 เปอร์เซ็นต์			
R_S (มิลลิเมตร / วัน)	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
U_{2day} (เมตร / วินาที)												
	Uday/Unight = 4.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.79	0.84	0.92	0.97	0.92	1.00	1.11	1.19	0.99	1.10	1.27	1.32
6	0.68	0.77	0.87	0.93	0.85	0.96	1.11	1.19	0.94	1.10	1.26	1.33
9	0.55	0.65	0.78	0.90	0.76	0.88	1.02	1.14	0.88	1.01	1.16	1.27
	Uday/Unight = 3.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.76	0.81	0.88	0.94	0.87	0.96	1.06	1.12	0.94	1.04	1.18	1.28
6	0.61	0.68	0.81	0.88	0.77	0.88	1.02	1.10	0.86	1.01	1.15	1.22
9	0.46	0.56	0.72	0.82	0.67	0.79	0.88	1.05	0.78	0.92	1.06	1.18
	Uday/Unight = 2.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.89	0.98	1.10	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.70	0.80	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.48	0.65	0.76	0.59	0.70	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	1.06
	Uday/Unight = 1.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.64	0.71	0.82	0.89	0.78	0.86	0.94	0.99	0.85	0.92	1.01	1.05
6	0.43	0.53	0.68	0.79	0.62	0.70	0.84	0.93	0.72	0.82	0.95	1.00
9	0.27	0.41	0.59	0.70	0.50	0.60	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96

ตารางผนวกที่ ข - 11 แสดงเปอร์เซ็นต์ของชั่วโมงกลางวันของเดือนนั้นในระยะเวลา 1 ปี (p)

ละติจูด	ซีกโลกเหนือ											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
25	0.24	0.26	0.27	0.29	0.30	0.31	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
20	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
15	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
10	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26
5	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27

ตารางผนวกที่ ข - 12 แสดงปริมาณรังสีนอกชั้นบรรยากาศ (R_a), (MJ/m^2/day), (error < 1%) วิธีการของ Penman Monteith

ละติจูด	ซีกโลกเหนือ											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	35.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0
10	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0
6	33.7	35.8	37.4	37.5	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9

ตารางผนวกที่ ข - 13 แสดงค่าประจำวันเฉลี่ยของชั่วโมงที่มีแสงแดดนานที่สุด (N) ที่สามารถจะเกิดขึ้นได้, (error < 1%) วิธีการของ Penman Monteith

ละติจูด	ซีกโลกเหนือ											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
22	10.8	11.3	11.9	12.5	13.1	13.3	13.2	12.8	12.1	11.5	10.9	10.7
20	10.9	11.3	11.9	12.5	12.9	13.2	13.1	12.7	12.1	11.5	11.0	10.8
18	11.0	11.4	11.9	12.4	12.8	13.1	13.0	12.6	12.1	11.6	11.1	10.9
16	11.1	11.5	11.9	12.4	12.7	12.9	12.9	12.5	12.1	11.6	11.2	11.1
14	11.3	11.6	11.9	12.3	12.6	12.8	12.8	12.5	12.1	11.7	11.3	11.2
12	11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3
10	11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4
8	11.6	11.7	11.9	12.2	12.4	12.5	12.4	12.3	12.0	11.8	11.6	11.5
6	11.8	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7
4	11.7	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8

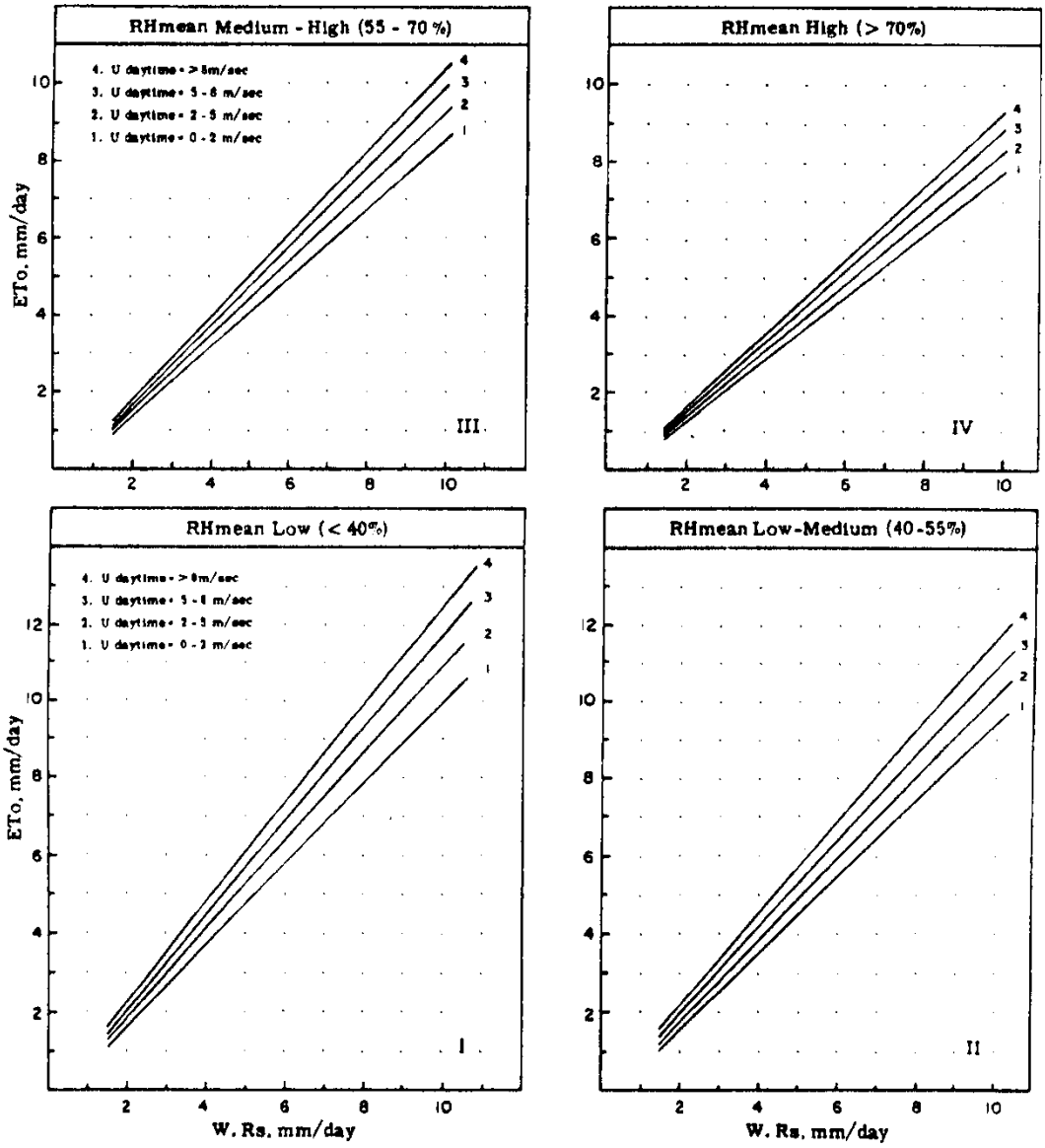


Fig. 2 Prediction of ETo from W. RS for different conditions of mean relative humidity and day time wind.

แผนภูมิผนวกที่ ข - 1 กราฟประมาณค่า ET_O จากวิธีการของ Radiation (WxRs)

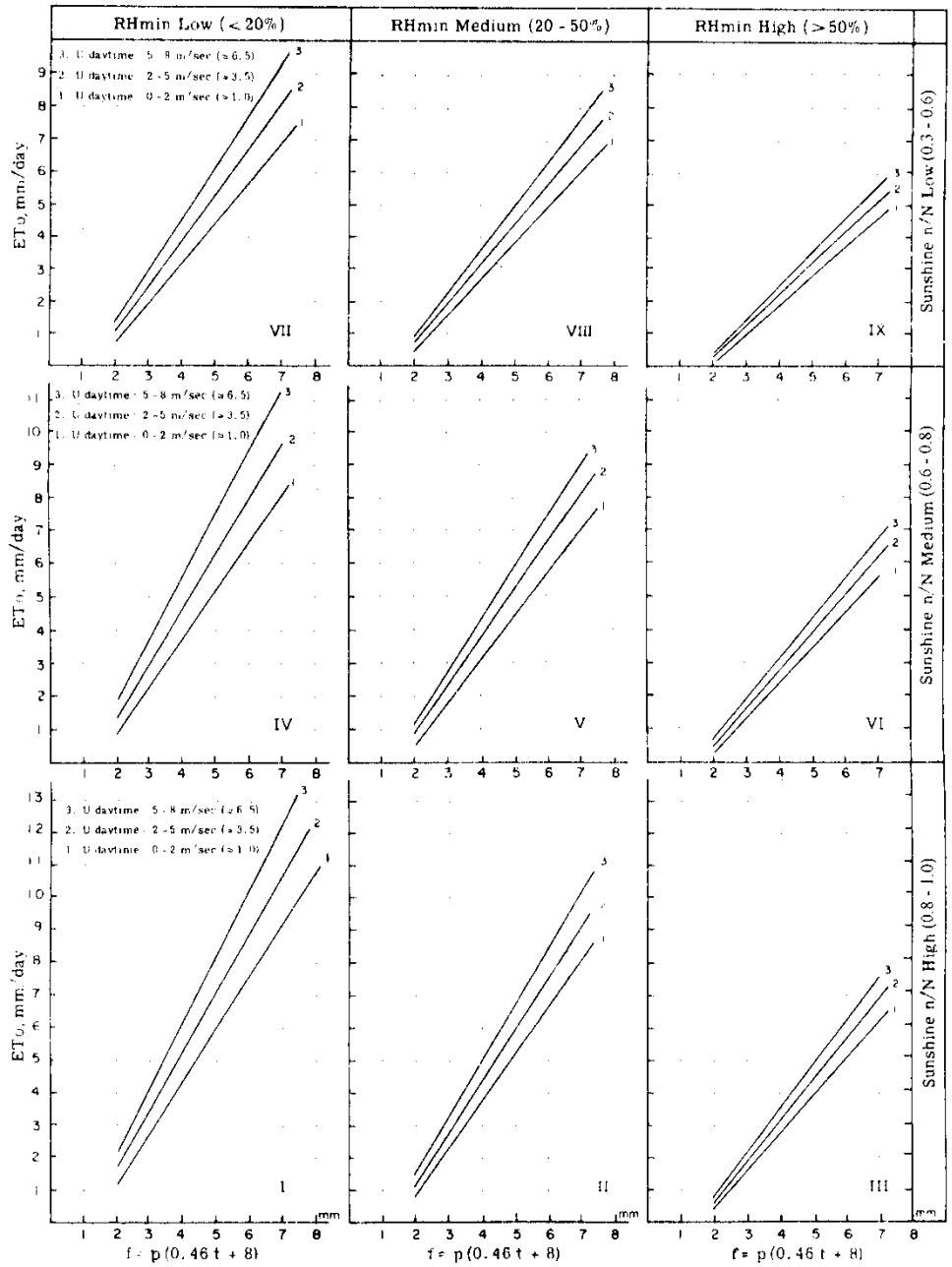


Fig. 1 Prediction of ETo from Blaney-Criddle f factor for different conditions of minimum relative humidity, sunshine duration and day time wind.

แผนภูมิผนวกที่ ข - 2 กราฟประมาณค่า ET_O จากวิธีการของ Blaney-Criddle

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_O)

จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรของสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 7 (ปัตตานี) จงคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_O) ด้วยวิธีการของ Pan Evaporation, Hargreaves, Radiation, Blaney-Criddle, Modified Penman และ Penman Monteith ตามลำดับ โดยต้องการทราบค่าในช่วงเวลา 1 – 15 มกราคม 2540 (1997)

<u>วิธีทำ</u>

คำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวของกับช่วงเวลาการคำนวณ 1 – 15 มกราคม 2540 **จากตารางภาคผนวก ข – 1**

1.ค่าการระเหยเฉลี่ย = 4.39 มิลลิเมตร

2.ลมผิวดินกลางวันเฉลี่ย = 52.74 กิโลเมตร /วัน

3.ลมผิวดินกลางคืนเฉลี่ย = 16.73 กิโลเมตร /วัน

4.ลมผิวดินตลอดวันเฉลี่ย = 69.47 กิโลเมตร /วัน

5.ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย = 7.80 ชั่วโมง /วัน

6.อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย = 30.60 องศาเซลเซียส

7.อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย = 20.69 องศาเซลเซียส

8.อุณหภูมิเฉลี่ย = 25.65 องศาเซลเซียส

9.เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ย = 99.50 เปอร์เซ็นต์

10.เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ย = 63.10 เปอร์เซ็นต์

11.เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย = 81.30 เปอร์เซ็นต์

<u>วิธีการที่ 1 Pan Evaporation</u>

<u>ค่าเฉลี่ยข้อมูลอุตุ ฯ ที่ใช้คำนวณ ของสถานี ฯ ที่ 7 (ปัตตานี) ในช่วงวันที่ 1-15 ม.ค. 1997</u>

ค่าการระเหยเฉลี่ย = 4.39 มิลลิเมตร

จาก $ET_O = K_p \times E_{pan}$

ET_O = 0.85 x 4.39 = 3.73 มิลลิเมตร /วัน ←

<u>วิธีการที่ 2 Hargreaves</u>

<u>ค่าเฉลี่ยข้อมูลอุตุ ฯ ที่ใช้คำนวณ ของสถานี ฯ ที่ 7 (ปัตตานี) ในช่วงวันที่ 1-15 ม.ค. 1997</u>

อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย = 30.60 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย = 20.69 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเฉลี่ย = 25.65 องศาเซลเซียส

จาก $ET_o = 0.0023 R_a \left(T_C + 17.8\right)\sqrt{TD}$

T_c = 25.65 องศาเซลเซียส

จาก เส้นรุ้ง 6° - 40′ - 00″ เหนือ (Latitude North) และช่วงข้อมูลอยู่ในเดือน <u>มกราคม</u> หาค่า R_a โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข - 4)

ที่ Latitude North 6° $\Rightarrow$ R_a =13.9

ที่ Latitude North 8° $\Rightarrow$ R_a =13.6

$\therefore$ ที่ Latitude North 6° - 40′ - 00″=6.67 จะได้ค่า

$$R_a = \left(\frac{6.67-8}{6-8}\right)\times 13.9 + \left(\frac{6.67-6}{8-6}\right)\times 13.6 = 13.80 \text{ มิลลิเมตร/วัน}$$

ET_o = 0.0023x13.80x (25.65 + 17.8) x $\sqrt{30.6 - 20.693}$ = 4.34 มิลลิเมตร /วัน ←

<u>วิธีการที่ 3 Radiation</u>

<u>ค่าเฉลี่ยข้อมูลอุตุ ฯ ที่ใช้คำนวณ ของสถานี ฯ ที่ 7 (ปัตตานี) ในช่วงวันที่ 1-15 ม.ค. 1997</u>

n = 7.80 ชั่วโมง /วัน

T_{mean} = 25.65 องศาเซลเซียส

RH_{mean} = 81.30 เปอร์เซ็นต์

U_{mean} = 69.47 กิโลเมตร /วัน

U_{day} = 52.739 กิโลเมตร /วัน

U_{night} = 16.734 กิโลเมตร /วัน

จากความสัมพันธ์ ET_o = c (W x Rs) จะได้

R_a = 13.8 มิลลิเมตร /วัน (จากวิธีการของ Hargreaves)

จาก เส้นรุ้ง 6° - 40′ - 00″ เหนือ (Latitude North) และช่วงข้อมูลอยู่ในเดือน <u>มกราคม</u> หาค่า N โดยการ Interpolation (ตารางภาคผนวก ข - 3)

ที่ Latitude North 5° $\Rightarrow$ N = 11.8 ชั่วโมง/วัน

ที่ Latitude North 10° $\Rightarrow$ N = 11.6 ชั่วโมง/วัน

$\therefore$ ที่ Latitude North 6° - 40′ - 00″ = 6.67° จะได้ค่า

$$N = \left(\frac{6.67-10}{5-10}\right)\times 11.8 + \left(\frac{6.67-5}{10-5}\right)\times 11.6 = 11.73 \text{ ชั่วโมง/วัน}$$

$$R_s = (0.25 + 0.5\frac{n}{N})R_a = (0.25 + 0.5\,(\frac{7.805}{11.733}))\times 13.8 = 8.040 \text{ มิลลิเมตร/วัน}$$

จากค่า T_{mean} = 25.647 องศาเซลเซียส และความสูงจาก ร.ท.ก. 11.0 เมตร อ่านค่า W โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข - 5)

<u>Interpolate ครั้งที่ 1</u>

ที่ Altitude = 0 เมตร, T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ W = 0.73

ที่ Altitude = 500 เมตร, T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ W = 0.74

$\therefore$ ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส จะได้ค่า

$$W = \left(\frac{11-500}{0-500}\right)\times 0.73 + \left(\frac{11-0}{500-0}\right)\times 0.74 = 0.73$$

<u>Interpolate ครั้งที่ 2</u>

ที่ Altitude = 0 เมตร, T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ W = 0.75

ที่ Altitude = 500 เมตร, T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ W = 0.76

$\therefore$ ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส จะได้ค่า

$$W = \left(\frac{11-500}{0-500}\right)\times 0.75 + \left(\frac{11-0}{500-0}\right)\times 0.76 = 0.75$$

<u>Interpolate ครั้งที่ 3</u>

ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ W = 0.73

ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ W = 0.75

$\therefore$ ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 25.647 องศาเซลเซียส จะได้ค่า

$$W = \left(\frac{25.65-26}{24-26}\right)\times 0.73 + \left(\frac{25.65-24}{26-24}\right)\times 0.75 = \underline{0.75} \Leftarrow$$

$\therefore W \times R_s$ = 0.75 $\times$ 8.04 = 6.0 มิลลิเมตร/วัน

กรณีที่ไม่มีการบันทึกค่าความเร็วลมที่ระดับ 2.0 เมตร แต่มีค่าที่ระดับ 0.45 เมตร สามารถหาได้โดยใช้

Correction factor for wind 0.45 m to 2.0 m height = $\dfrac{4.87}{\ln(67.8 \times z - 5.42)}$

$$= \frac{4.87}{\ln(67.8 \times 0.45 - 5.42)} = 1.51$$

$U_2 = U_{mean} \times 1.51 = 69.47 \times 1.51 = 104.99$ กิโลเมตร /วัน

$$\frac{U_{day}}{U_{night}} = \frac{52.739}{16.734} = 3.15$$

จากค่า $\dfrac{U_{day}}{U_{night}}$ หาค่าปรับแก้ค่าลมในช่วงเวลากลางคืนให้เป็นลมในช่วงเวลากลางวันตลอด 24 ชั่วโมง โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข - 2)

ที่ $\dfrac{U_{day}}{U_{night}}$ = 3.0 $\Rightarrow$ ค่าปรับแก้ = 1.5

ที่ $\dfrac{U_{day}}{U_{night}}$ = 3.5 $\Rightarrow$ ค่าปรับแก้ = 1.56

$\therefore$ ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3.15$ จะได้

ค่าปรับแก้ $= \left(\frac{3.15-3.5}{3-3.5}\right)\times 1.5 + \left(\frac{3.15-3}{3.5-3}\right)\times 1.56 = 1.52$

$U_{daytime} = \frac{U_2 \times 1.52 \times 1000}{24\times 60\times 60} = \frac{104.99\times 1.52\times 1000}{24\times 60\times 60} = 1.84$ เมตร / วินาที

จากค่า RH_{mean}, $U_{daytime}$ และ $W \times R_S$ จะได้ค่า $ET_o = 4.30$ มิลลิเมตร / วัน $\leftarrow$ (จากภาพภาคผนวก ข – 1)

<u>วิธีการที่ 4 Blaney – Criddle</u>

<u>ค่าเฉลี่ยข้อมูลอุตุ ฯ ที่ใช้คำนวณ ของสถานี ฯ ที่ 7 (ปัตตานี) ในช่วงวันที่ 1-15 ม.ค. 1997</u>

$T_{mean} = 25.65$ องศาเซลเซียส

$RH_{min} = 63.1$ เปอร์เซ็นต์

$n = 7.80$ ชั่วโมง /วัน

$U_{daytime} = 1.84$ เมตร / วินาที (จากสูตร Radiation)

$N = 11.73$ (จากสูตร Radiation)

จาก เส้นรุ้ง 6° - $40'$ - $00''$ เหนือ (Latitude North) และช่วงข้อมูลอยู่ในเดือน มกราคม หาค่า p โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข – 10)

ที่ Latitude North $5^\circ \Rightarrow$ p = 0.27

ที่ Latitude North $10^\circ \Rightarrow$ p = 0.26

$\therefore$ ที่ Latitude North 6° - $40'$ - $00''$ = 6.67° จะได้ค่า

$p = \left(\frac{6.67-10}{5-10}\right)\times 0.27 + \left(\frac{6.67-5}{10-5}\right)\times 0.26 = 0.27$

$\frac{n}{N} = \frac{7.80}{11.73} = 0.66$

$f = p(0.46T + 8) = 0.27(0.46(25.65)+8) = 5.28$ มิลลิเมตร / วัน

จากค่า RH_{min}, U_{2day}, f และ $\frac{n}{N}$ จะได้ค่า $ET_o = 3.07$ มิลลิเมตร / วัน $\leftarrow$ (จากภาพภาคผนวก ข – 2)

<u>วิธีการที่ 5 Modified Penman</u>

<u>ค่าเฉลี่ยข้อมูลอุตุ ฯ ที่ใช้คำนวณ ของสถานี ฯ ที่ 7 (ปัตตานี) ในช่วงวันที่ 1-15 ม.ค. 1997</u>

$T_{mean} = 25.647$ องศาเซลเซียส

$RH_{max} = 99.50$ เปอร์เซ็นต์

$RH_{mean} = 81.30$ เปอร์เซ็นต์

n = 7.80 ชั่วโมง / วัน

R_a = 13.80 มิลลิเมตร / วัน (จากสูตร Hargreaves)

N = 11.73 ชั่วโมง / วัน (จากสูตร Radiation)

$\frac{U_{day}}{U_{night}}$ = 3.15 (จากสูตร Radiation)

U_2 = 93.79 กิโลเมตร / วัน (จากสูตร Radiation)

$U_{daytime}$ = 1.84 เมตร / วินาที (จากสูตร Radiation)

คำนวณค่า e_a และ e_d

จากค่า T_{mean} = 25.65 องศาเซลเซียส อ่านค่า e_a โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข – 8)

ที่ T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส $\Longrightarrow$ e_a = 29.83 มิลลิบาร์

ที่ T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Longrightarrow$ e_a = 33.61 มิลลิบาร์

$\therefore$ ที่ T_{mean} = 25.65 องศาเซลเซียส จะได้ค่า

$$e_a = \left(\frac{25.65-33.61}{24-26}\right)\times 29.83 + \left(\frac{25.65-29.83}{26-24}\right)\times 33.61 = 32.95 \text{ มิลลิบาร์}$$

$$e_d = e_a\left(\frac{RH_{mean}}{100}\right) = 32.95\left(\frac{81.30}{100}\right) = 26.79 \text{ มิลลิบาร์}$$

คำนวณค่า f (u)

$$f(u) = 0.27\left(1+\frac{U_2}{100}\right) = 0.27\left(1+\frac{93.79}{100}\right) = 0.55$$

คำนวณค่า W – Modified Penman

จากค่า T_{mean} = 25.647 องศาเซลเซียส และ ความสูงจาก ร.ท.ก. 11.0 เมตร อ่านค่า W โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข – 6)

<u>Interpolate ครั้งที่ 1</u>

ที่ Altitude = 0 เมตร, T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส $\Longrightarrow$ W = 0.73

ที่ Altitude = 500 เมตร, T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส $\Longrightarrow$ W = 0.74

$\therefore$ ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส จะได้ค่า

$$W = \left(\frac{11-500}{0-500}\right)\times 0.73 + \left(\frac{11-0}{500-0}\right)\times 0.74 = 0.73$$

Interpolate ครั้งที่ 2

ที่ Altitude = 0 เมตร, T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Longrightarrow$ W = 0.75

ที่ Altitude = 500 เมตร, T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Longrightarrow$ W = 0.76

$\therefore$ ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส จะได้ค่า

$$W = \left(\frac{11-500}{0-500}\right)\times 0.75 + \left(\frac{11-0}{500-0}\right)\times 0.76 = 0.75$$

Interpolate ครั้งที่ 3

ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ W = 0.73

ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ W = 0.75

$\therefore$ ที่ Altitude = 11 เมตร, T_{mean} = 25.647 องศาเซลเซียส จะได้ค่า

$$W = \left(\frac{25.65-26}{24-26}\right)\times 0.73 + \left(\frac{25.65-24}{26-24}\right)\times 0.75 = \underline{0.75} \Leftarrow$$

คำนวณค่า $R_n = R_{ns} - R_{nl}$

คำนวณค่า R_S

$$R_S = \left(0.25 + 0.5\frac{n}{N}\right)R_a = \left(0.25 + 0.5\frac{7.80}{11.73}\right)13.80 = 8.04 \text{ มิลลิเมตร /วัน}$$

คำนวณค่า R_{ns}

$R_{ns} = 0.75R_s = 0.75(8.04) = 6.03$ มิลลิเมตร /วัน

คำนวณค่า f (T)

จากค่า T_{mean} = 25.647 องศาเซลเซียส อ่านค่า f (T) โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข – 7)

ที่ T_{mean} = 24 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ f (T) = 15.40

ที่ T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ f (T) = 15.90

$\therefore$ ที่ T_{mean} = 25.65 องศาเซลเซียส จะได้ค่า

$$f(T) = \left(\frac{25.65-26}{24-26}\right)\times 15.40 + \left(\frac{25.65-24}{26-24}\right)\times 15.90 = \underline{15.81}$$

คำนวณค่า f (ed)

$$f(ed) = 0.34 - 0.044\sqrt{ed} = 0.34 - 0.044\sqrt{26.79} = 0.11$$

คำนวณค่า $f\left(\frac{n}{N}\right)$

$$f\left(\frac{n}{N}\right) = 0.1 + 0.9\left(\frac{n}{N}\right) = 0.1 + 0.9\left(\frac{7.80}{11.73}\right) = 0.70$$

คำนวณค่า R_{nl}

$$R_{nl} = f(T)\times f(ed)\times f\left(\frac{n}{N}\right) = 15.81 \times 0.11 \times 0.70 = 1.24 \text{ มิลลิเมตร/วัน}$$

$R_n = R_{ns} - R_{nl} = 6.03 - 1.24 = 4.79$ มิลลิเมตร /วัน

คำนวณค่าปรับแก้ c

จากค่า $\frac{U_{day}}{U_{night}}$ = 3.15, R_s = 8.039 มิลลิเมตร / วัน, $U_{daytime} = U_{2day}$ = 1.84 เมตร / วินาที และ RH_{max} = 99.5 เปอร์เซ็นต์ อ่านค่าปรับแก้ โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข – 9) และเนื่องจากค่า RH_{max} จากตัวอย่าง มีค่าสูงกว่าค่า RH_{max} ของตารางดังนั้นจึงใช้ค่า RH_{max} = 90 เปอร์เซ็นต์

Interpolate ครั้งที่ 1

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 0,\ R_s = 6,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.06$

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 0,\ R_s = 9,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.10$

$\therefore$ ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 0,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90$ จะได้ค่า

$$c = \left(\frac{8.04-9}{6-9}\right)\times 1.06 + \left(\frac{8.04-6}{9-6}\right)\times 1.10 = 1.0872$$

Interpolate ครั้งที่ 2

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 3,\ R_s = 6,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.04$

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 3,\ R_s = 9,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.18$

$\therefore$ ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 3,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90$ จะได้ค่า c=

$$\left(\frac{8.04-9}{6-9}\right)\times 1.04 + \left(\frac{8.04-6}{9-6}\right)\times 1.18 = 1.1352$$

Interpolate ครั้งที่ 3

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 0,\ R_s = 6,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.06$

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 0,\ R_s = 9,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.10$

$\therefore$ ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 0,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90$ จะได้ค่า

$$c = \left(\frac{8.04-9}{6-9}\right)\times 1.06 + \left(\frac{8.04-6}{9-6}\right)\times 1.10 = 1.0872$$

Interpolate ครั้งที่ 4

(4) ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 3,\ R_s = 6,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.10$

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 3,\ R_s = 9,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.27$

$\therefore$ ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 3,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90$ จะได้ค่า

$$c = \left(\frac{8.04-9}{6-9}\right)\times 1.10 + \left(\frac{8.04-6}{9-6}\right)\times 1.27 = 1.2156$$

Interpolate ครั้งที่ 5

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 0,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.0872$

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 3,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.1352$

$\therefore$ ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 1.84,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90$ จะได้ค่า

$$c = \left(\frac{1.84-3}{0-3}\right)\times 1.0872 + \left(\frac{1.84-0}{3-0}\right)\times 1.352 = 1.1166$$

Interpolate ครั้งที่ 6

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 0,\ R_s = 6,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.0872$

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 3,\ R_s = 9,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.2156$

$\therefore$ ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 1.84,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90$ จะได้ค่า

$$c = \left(\frac{1.84-3}{0-3}\right)\times 1.0872 + \left(\frac{1.84-0}{3-0}\right)\times 1.2156 = 1.1660$$

Interpolate ครั้งที่ 7

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3,\ U_{2day} = 1.84,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.1166$

ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 4,\ U_{2day} = 1.84,\ R_s = 8.04,\ RH_{max} = 90 \Rightarrow 1.1660$

$\therefore$ ที่ $\frac{U_{day}}{U_{night}} = 3.15,\ U_{2day} = 1.648,\ R_s = 8.039,\ RH_{max} = 90$ จะได้ค่า

$$c = \left(\frac{3.15-4}{3-4}\right)\times 1.1166 + \left(\frac{3.15-3}{4-3}\right)\times 1.1660 = 1.12$$

$ET_o = c\left[WRn + (1-w)f(u)(ea-ed)\right]$

ET_o = 1.12[0.75(4.79) + (1-0.75) (0.55) (32.95-26.79)] = 4.99 มิลลิเมตร / วัน ←

<u>วิธีการที่ 6 Penman – Monteith</u>

<u>ค่าเฉลี่ยข้อมูลอุตุ ฯ ที่ใช้คำนวณ ของสถานี ฯ ที่ 7 (ปัตตานี) ในช่วงวันที่ 1-15 ม.ค. 1997</u>

U_{mean} = 69.47 กิโลเมตร / วัน

T_{max} = 30.60 องศาเซลเซียส

T_{min} = 20.69 องศาเซลเซียส

T_{mean} = 25.65 องศาเซลเซียส

RH_{mean} = 81.30 เปอร์เซ็นต์

n = 7.80 ชั่วโมง /วัน

คำนวณค่า R_a

จาก เส้นรุ้ง 6° - 40′ - 00″ เหนือ (Latitude North) และช่วงข้อมูลอยู่ในเดือน <u>มกราคม</u> หาค่า R_a โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข – 11)

ที่ Latitude North 6° $\Rightarrow$ R_a =33.7 เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน

ที่ Latitude North 8° $\Rightarrow$ R_a =32.8 เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน

$\therefore$ ที่ Latitude North 6° - 40′ - 00″=6.67 จะได้ค่า

$$R_a = \left(\frac{6.67-8}{6-8}\right)\times 33.7 + \left(\frac{6.67-6}{8-6}\right)\times 32.8 = 33.40 \text{ เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน}$$

คำนวณค่า N

จาก เส้นรุ้ง 6° - 40′ - 00″ เหนือ (Latitude North) และช่วงข้อมูลอยู่ในเดือน <u>มกราคม</u> หาค่า N โดยการ Interpolation (จากตารางภาคผนวก ข – 12)

ที่ Latitude North 5° $\Rightarrow$ N = 11.7 ชั่วโมง/วัน

ที่ Latitude North 10° $\Rightarrow$ N = 11.6 ชั่วโมง/วัน

$\therefore$ ที่ Latitude North 6° - 40′ - 00″ = 6.67° จะได้ค่า

$$N = \left(\frac{6.67-10}{5-10}\right)\times 11.7 + \left(\frac{6.67-5}{10-5}\right)\times 11.60 = 11.67 \text{ ชั่วโมง/วัน}$$

คำนวณค่าความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร

กรณีที่ไม่มีการบันทึกค่าความเร็วลมที่ระดับ 2.0 เมตร แต่มีค่าที่ระดับ 0.45 เมตร สามารถหาได้โดยใช้

$$\text{Correction factor for wind 0.45 m to 2.0 m height} = \frac{4.87}{\ln(67.8 \times z - 5.42)}$$

$$= \frac{4.87}{\ln(67.8 \times 0.45 - 5.42)} = 1.51$$

$$\therefore U_2 = U_z \times 1.51 = \frac{U_{mean} \times 1000}{24 \times 60 \times 60} \times 1.51 = \frac{69.47 \times 1000}{24 \times 60 \times 60} \times 1.51 = 1.22 \text{ เมตร / วินาที}$$

คำนวณค่า $e_s - e_a$ (Vapour pressure deficit)

$$e^o(T_{max}) = 0.6108 \times e\left[\frac{17.27 \times T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right] = 0.6108 \times e\left[\frac{17.27 \times 30.60}{30.60 + 237.3}\right]$$

$\therefore e^o(T_{max}) = 4.39$ กิโลปาสคาล

$$e^o(T_{min}) = 0.6108 \times e\left[\frac{17.27 \times T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right] = 0.6108 \times e\left[\frac{17.27 \times 20.693}{20.693 + 237.3}\right]$$

$\therefore e^o(T_{min}) = 2.44$ กิโลปาสคาล

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2} = \frac{4.391 + 2.440}{2}$$

$\therefore e_s = 3.42$ กิโลปาสคาล

$$e_a = \frac{e^o(T_{min})\frac{RH_{max}}{100} + e^o(T_{max})\frac{RH_{min}}{100}}{2}$$

$$= \frac{2.440 \times \frac{99.50}{100} + 4.391 \times \frac{63.10}{100}}{2}$$

$\therefore e_a = 2.60$ กิโลปาสคาล

$\therefore e_s - e_a = 3.416 - 2.599 = 0.82$ กิโลปาสคาล

คำนวณค่า $R_n = R_{ns} - R_{nl}$ (Radiation)

$R_{ns} = (1 - \alpha)R_S$ โดยที่ $\alpha = 0.23$

$\therefore R_{ns} = 0.77R_S$

$$R_s = \left(0.25 + 0.5\frac{n}{N}\right)R_a = \left(0.25 + 0.5\frac{7.80}{11.67}\right) \times 33.40 = 19.51 \text{ เมกกะจูล/ตารางเมตร / วัน}$$

$\therefore R_{ns} = 0.77 \times 19.52 = 15.03$ เมกกะจูล/ตารางเมตร / วัน

$$R_{nl} = \sigma \times \left(\frac{T_{max,K}^4 + T_{max,K}^4}{2} \right) \times \left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}\right) \times \left(1.35 \frac{R_S}{R_{SO}} - 0.35 \right)$$

โดยที่ Tmax,K = Tmax + 273 เคลวิน

σ = 4.903×10^{-9} เมกกะจูล/ตารางเมตร / วัน

$\sqrt{e_a}$ = $\sqrt{2.599}$ =1.612 กิโลปาสคาล

R_{so} = $0.75 R_a$

= 0.75×33.40 = 25.05 เมกกะจูล/ตารางเมตร / วัน

$$R_{nl} = 4.903 \times 10^{-9} \times \left(\frac{T_{max,K}{}^4 + T_{min,K}{}^4}{2} \right) \left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}\right) \left(1.35 \frac{R_S}{R_{SO}} - 0.35 \right)$$

$$= 4.903 \times 10^{-9} \times \frac{\left((273 + 30.6)^4 + (273 + 20.693)^4 \right)}{2} \times (0.34 - 0.14 \times 1.612) \times \left(1.35 \times \frac{19.52}{25.05} - 0.35 \right)$$

$= 4.903 \times 10^{-9} \times 7.968 \times 10^9 \times 0.114 \times 0.702$

$\therefore R_{nl}$ = 3.13 เมกกะจูล / ตารางเมตร / วัน

$\therefore R_n = R_{ns} - R_{nl}$ = 15.03 – 3.13 = 11.90 เมกกะจูล / ตารางเมตร / วัน

คำนวณค่า Parameters

$$\Delta = \frac{4098\left[0.6108 e^{\frac{17.27T}{T+237.3}}\right]}{(T+237.3)^2} = \frac{4098 \times \left[0.6108 e^{\frac{17.27 x 25.6\,5}{25.65+237.3}}\right]}{(25.647+237.3)^2}$$

$\therefore \Delta$ = 0.20 กิโลปาสคาล/องศาเซลเซียส

$$P = P_o \left(\frac{T_{ko} - \alpha(z - z_o)}{T_{ko}} \right)^{\frac{g}{\alpha R}}$$

P_o = ความดันบรรยากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเลมีค่าประมาณ 101.3 กิโลปาสคาล

$Z - Z_0$ = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (จากโจทย์ 11 เมตร ร.ท.ก.)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก 9.81 เมตร/วินาที ^{2}

R = ค่าคงที่ของแกส สำหรับอากาศมีค่าเท่ากับ 287 จูล/กิโลกรัม/เคลวิน

α = อัตราเบี่ยงเบนคงที่ของอากาศอิ่มตัวมีค่าเท่ากับ 0.0065 เคลวิน/เมตร

T_{ko} = อุณหภูมิที่ระดับ Z_0 มีค่าประมาณ T_{mean} + 273 เคลวิน

$$\frac{g}{\alpha R} = \frac{9.807}{0.0065 \times 287} = 5.26$$

$$\therefore P = 101.3\left(\frac{(273 + 25.65) - 0.0065(11)}{(273 + 25.65)}\right)^{5.26} \quad 101.17 \text{ กิโลปาสคาล}$$

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})T$$

$$= 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})25.65$$

$\therefore \lambda$ = 2.44 เมกกะจูล /กิโลกรัม

$$\gamma = 0.00163\frac{P}{\lambda} = 0.00163\left(\frac{101.172}{2.440}\right)$$

$\therefore \gamma$ = 0.07 กิโลปาสคาล / องศาเซลเซียส

$$G = 0.14(T_{month_n} + T_{month_{n-1}}) \approx 0$$

$$ET_O = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T + 273}\right)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

$$ET_O = \frac{0.408(0.195)(11.904 - 0) + 0.068\left(\frac{900}{25.647 + 273}\right)(1.22)(0.817)}{0.195 + 0.068(1 + 0.34 \times 1.22)}$$

ET_o = 3.95 มิลลิเมตร / วัน ←