คู่มือการปฏิบัติงาน
(Work Manual)

การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา
กรมชลประทาน

พฤษภาคม ๒๕๖๑

คู่มือการปฏิบัติงาน
(Work Manual)

การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)

รหัสคู่มือ สบอ. / สชน.๑/ ๒๕๖๑

หน่วยงานที่จัดทำ
ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

ที่ปรึกษา
หัวหน้าฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน
ผู้อำนวยการส่วนการใช้น้ำชลประทาน

พิมพ์ครั้งที่ ๑
จำนวน ๑ เล่ม
เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

หมวดหมู่ จัดสรรน้ำ

คู่มือการปฏิบัติงาน
(Work Manual)

การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice 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)

การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)

จัดทำโดย

นายฐิตนนท์ หงส์โชติธนวดี
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ — **ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน**

นายจรินทร์ คงรักษ์
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ — **ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน**

นางสาวฉวีวรรณ สุดจิตร
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ — **ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน**

นายปิยพัฒน์ เหลือโกศล
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการ — **ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน**

นางสาวทัศนีย์ แก้วมรกฏ
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ — **ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน**

นางสาวนิศารัตน์ เจนติกุล
ตำแหน่งเจ้าพนักงานการเกษตรปฏิบัติงาน — **ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน**

สามารถติดต่อสอบถามรายละเอียด/ข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่
ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน
เบอร์โทรศัพท์ ๐-๒๒๔๑-๔๕๒๔

คำนำ

คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความรู้พื้นฐานในเรื่องการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว โดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter) ให้กับผู้ปฏิบัติงานในส่วนที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจศึกษาเพื่อจะได้มีความรู้และเข้าใจหลักการทำงานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและคิดคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช หรือปริมาณการใช้น้ำของข้าวได้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

อย่างไรก็ตามหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารเล่มนี้นอกจากจะเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปใช้เป็นแนวทางในการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวแล้ว ยังนำไปเป็นข้อมูลในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าวเพื่อนำไปคำนวณปริมาณความต้องการน้ำในระดับโครงการชลประทาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการส่งน้ำต่อไป

คณะผู้จัดทำ
ฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน
ส่วนการใช้น้ำชลประทาน
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา
กรมชลประทาน

สารบัญ

หน้า

วัตถุประสงค์ ๑

ขอบเขต ๑

คำจำกัดความ ๑

หน้าที่ความรับผิดชอบ ๑

Work Flow ๔

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ๕

ระบบติดตามประเมินผล ๘

เอกสารอ้างอิง ๙

แบบฟอร์มที่ใช้ ๙

ภาคผนวก ๑๐

ภาคผนวก ก ๑๑

แบบฟอร์มตารางบันทึกข้อมูลประกอบในการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าวและการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

๑) แบบฟอร์มที่ ๑ ตารางบันทึกการคายระเหยและการซึมของน้ำจากถังวัดการใช้น้ำของข้าว ๑๒

๒) แบบฟอร์มที่ ๒ ตารางบันทึกปริมาณน้ำฝน ๑๓

๓) แบบฟอร์มที่ ๓ ตารางบันทึกปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย ๑๔

๔) แบบฟอร์มที่ ๔ ตารางบันทึกข้อมูลความเร็วลม ๑๕

๕) แบบฟอร์มที่ ๕ ตารางบันทึกข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดด ๑๖

๖) แบบฟอร์มที่ ๖ ตารางบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ๑๗

๗) แบบฟอร์มที่ ๗ ตารางบันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ๑๘

๘) แบบฟอร์มที่ ๘ ตารางบันทึกข้อมูลความกดของอากาศ ๑๒

ภาคผนวก ข ๒๐

ขั้นตอนการทำงาน ตัวอย่างการคำนวณ และตารางข้อมูลประกอบในการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

ภาคผนวก ค ๖๐

ภาพตัวอย่างขั้นตอนการปฏิบัติงาน

คู่มือการปฏิบัติงาน
การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว
(Rice Lysimeter)

๑. วัตถุประสงค์

๑.๑ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องทางด้านการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)

๑.๒ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการดำเนินการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว และเข้าใจหลักการทำงานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและคิดคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของข้าวหรือปริมาณการใช้น้ำของข้าวได้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

๑.๓ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและเอกสารอ้างอิงประกอบการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง

๒. ขอบเขต

การจัดเตรียมอุปกรณ์ การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter) และสรุปผลรายงานการดำเนินงาน

๓. 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 โดยกระบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลา หรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน

การซึมลึก (Percolation : P) หมายถึง การไหลซึมของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของโลกและความกดดันของน้ำในขณะที่ให้น้ำ หรือการไหลซึมของน้ำที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกเพียงอย่างเดียวเมื่อหยุดให้น้ำแล้ว มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำ/หน่วยเวลา เช่น มิลลิเมตร/วัน

๔. หน้าที่ความรับผิดชอบ

๔.๑ ผู้อำนวยการส่วนการใช้น้ำชลประทาน (ผชน.บอ.) ทำหน้าที่ จัดประชุมวางแผน กำหนดแนวทางและนโยบายในการศึกษาและทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว

๔.๒ หัวหน้าฝ่ายวิจัยการใช้น้ำชลประทาน (วน.บอ.) ทำหน้าที่ วางแผนการดำเนินงาน ติดตามและตรวจสอบผลความก้าวหน้าการศึกษาวิจัยการใช้น้ำชลประทานของข้าว

๔.๓ หัวหน้าสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ ๑ – ๙ (ทน.๑-๙ บอ.) ทำหน้าที่ วางแผนและติดตามรายงานการศึกษาวิจัยการใช้น้ำชลประทานของข้าว

๔.๔ หัวหน้าโครงการวิจัย ทำหน้าที่ รายงานความก้าวหน้าโครงการศึกษาวิจัยการใช้น้ำชลประทานของข้าว

สรุปกระบวนการ การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter) กรมชลประทาน

กระบวนการ การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter) กรมชลประทาน ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

๑.๑ จัดเตรียมอุปกรณ์และรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน

๑.๒ บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่ง และคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าว

๑.๓ การตรวจสอบความถูกต้อง และวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

๑.๔ สรุปผลและจัดทำรายงาน

Work Flow กระบวนการการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter) กรมชลประทานในภาพรวม

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	เวลา
๑.	จัดเตรียมอุปกรณ์และรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน	๒ สัปดาห์
๒.	บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งและคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าว	๔ เดือน
๓.	การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน (No)	๒ สัปดาห์
๔.	สรุปผลและจัดทำรายงาน (Yes)	๑ เดือน

รวมเวลาทั้งหมด ๖ เดือน

๕. Work Flow

ชื่อกระบวนการ : กระบวนการ การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)

ตัวชี้วัดผลลัพธ์กระบวนการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน : จัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์แล้วเสร็จภายใน ๓๐ กันยายน

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
๑.	จัดเตรียมอุปกรณ์และรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน	๒ สัปดาห์	๑.๑. จัดเตรียมเครื่องมือและเตรียมอุปกรณ์ ๑.๒. ข้อมูลชนิดของพันธุ์ข้าว ๑.๓. ข้อมูลวิเคราะห์คุณสมบัติดิน	๑.๑ อุปกรณ์พร้อมสำหรับใช้งาน ๑.๒ ข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูลได้	หัวหน้าโครงการวิจัย
๒.	บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งและคำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าว	๔ เดือน	๒.๑. บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว ๒.๒. คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว ๒.๓ บันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration: ET_O)	๒.๑ การคำนวณ ถูกต้อง แม่นยำ และตรงตามหลักวิชาการ ๒.๒ ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำ	หัวหน้าโครงการวิจัย
๓.	การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน (No / Yes)	๒ สัปดาห์	๓.๑. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำ ปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืช ๓.๒. ตรวจสอบปริมาณน้ำระบายในถัง ๓.๓. ตรวจสอบข้อมูลความชื้นดินก่อนและหลังการส่งน้ำ	๓.๑ ข้อมูลถูกต้อง ครบถ้วน และสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้	หัวหน้าโครงการวิจัย
๔.	สรุปผลและจัดทำรายงาน	๑ เดือน	๔.๑. สรุปผลและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ	๔.๑ สรุปผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	หัวหน้าโครงการวิจัย

๖. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
๑. จัดเตรียมอุปกรณ์ สำหรับการวิจัย และการรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ชนิดของพันธุ์ข้าวที่พิจารณา ข้อมูลผลวิเคราะห์คุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์	๑.๑ ทำการติดตั้งหรือฝังถัง Lysimeter ซึ่งเป็นถังเหล็กจำนวน ๔ ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย ๔ ถัง ซึ่งเป็นถังก้นปิด ๒ ถัง (ถัง A, B) และถังก้นเปิด ๒ ถัง (ถัง C, D) แต่ละถังขนาด ๗๕ x ๗๕ X ๑๐๐ เซนติเมตร ทำการปลูกข้าวในถังก้นปิด ๑ ถังและถังก้นเปิด ๑ ถัง ส่วนที่เหลืออีก ๒ ถัง ซึ่งเป็นถังก้นเปิด ๑ ถังและถังก้นปิด ๑ ถังนั้นไม่ปลูกข้าว แต่จะใช้วัสดุอื่นหรือต้นข้าวเทียมมาปักไว้แทนเพื่อให้ในสภาพคล้ายถังปลูกข้าวและบริเวณรอบๆ ถัง Lysimeter ทั้ง ๔ ชุดจะปลูกข้าวเพื่อให้สภาพแวดล้อมทั่วไปคล้ายแปลงใหญ่ (ภาพที่ ๑,๒ และ ๓) ถัง A เป็นถังก้นปิดส่วนล่างใช้ปลูกข้าว วัดค่า ET (Evapotranspiration) ถัง B เป็นถังก้นปิดส่วนล่างไม่ปลูกข้าว วัดค่า E (Evaporation) ถัง C เป็นถังก้นเปิดส่วนล่างใช้ปลูกข้าว วัดค่า ETP (Evapotranspiration+ Percolation) ถัง D เป็นถังก้นเปิดส่วนล่างไม่ปลูกข้าว วัดค่า EP (Evaporation + Percolation) ๑.๒ จัดเตรียมเครื่องมือวัดสภาพภูมิอากาศ เช่น เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน ถาดวัดการระเหย เครื่องวัดความยาวนานแสงแดด เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดพลังงานแสงแดด เครื่องวัดความกดอากาศ	-	หัวหน้าโครงการวิจัย /ทน๑-๙บอ.	อุปกรณ์และเครื่องมือพร้อมใช้งาน

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
	๑.๓ จัดเตรียมอุปกรณ์ในการให้น้ำแก่-ข้าว เช่น เครื่องมือวัดน้ำแบบตะขอ (Hook gauge) เครื่องมือวัดน้ำ Cutthroat - Flume เครื่องเจาะดิน และเครื่องมือด้านการเกษตรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ๑.๕ ข้อมูลชนิดชนิดของพันธุ์ข้าว ๑.๖ ข้อมูลคุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์ เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก ๐-๓๐ และ ๓๐-๖๐ เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความสามารถในการดูดยึดน้ำของดิน ความหนาแน่นดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดิน			
๒. คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว และบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว	๒.๑ การอ่านค่าระดับน้ำ ใช้เครื่องมือวัดน้ำแบบตะขอ (Hook gauge) ที่ติดตั้งไว้บนขอบถังแต่ละใบเพื่อใช้วัดปริมาณน้ำที่สูญเสีย/สูญหายในแต่ละถังเป็นประจำทุกวัน โดยการปรับตัวตะขอของเครื่องมือวัดน้ำในแต่ละถังให้เสมอผิวน้ำแล้วจดค่าที่อ่านได้ไว้ เมื่ออ่านค่าเสร็จแล้วให้เติมน้ำกลับมาที่ระดับที่ตั้งไว้สูง ๑๐ เซนติเมตร แล้วบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในตาราง ๒.๒ การคำนวณปริมาณน้ำ (ปริมาณความต้องการใช้น้ำ) ๒.๒.๑ นำค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง A ลบด้วยค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง B และค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง C ลบด้วยค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง D จะได้ค่า T (Transpiration)	แบบฟอร์มตารางการบันทึกข้อมูล ที่ ๑ - ๘	หัวหน้าโครงการวิจัย /ทน๑-๙บอ.	ข้อมูลมีความถูกต้องและครบถ้วน และตรงตามหลักวิชาการ

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
	๒.๒.๒ นำค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง C ลบด้วยค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง A และค่าปริมาณตรวจวัดจากถัง D ลบด้วยค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง B จะได้ค่า P (Percolation) ๒.๒.๓ ค่า E (Evaporation) ได้จากค่าปริมาณการตรวจวัดถ้ง B เพียงถังเดียว ๒.๓ บันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration: ET_O)			
๓. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าวและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของข้าว	๓.๑. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว ๓.๒. วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของข้าว	แบบฟอร์มตารางการบันทึกข้อมูล ที่ ๑ - ๘	หัวหน้าโครงการวิจัย /ทน๑-๙บอ./วน.บอ./ผชน.บอ.	ข้อมูลมีความถูกต้องและครบถ้วน
๔. สรุปผลและจัดทำรายงานการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว	๔.๑ สรุปข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด-ต่ำสุด ความเร็วลม ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ จำนวนชั่วโมงแสงแดด ความกดของอากาศ และค่าการระเหย ๔.๒ วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่พืชใช้ตลอดการทดลอง		หัวหน้าโครงการวิจัย	

๗. ระบบติดตามประเมินผล

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
๑. จัดเครื่องมือและเตรียมอุปกรณ์ ๑.๑ เครื่องมือสำหรับการวิจัย ๑.๒. ข้อมูลชนิดของพันธุ์ข้าว ๑.๓. ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์	อุปกรณ์มีความพร้อม ข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงกับแหล่งที่มาของข้อมูลได้	ตรวจสอบข้อมูลกับแหล่งที่มาอ้างอิง	หัวหน้าโครงการวิจัย/ทน๑-๙บอ.	-
๒. คำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าวและบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว ๒.๑. คำนวณปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว ๒.๒. บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว	ระยะเวลาการเก็บข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงกับแหล่งที่มาของข้อมูลได้	ตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูล	หัวหน้าโครงการวิจัย/ทน๑-๙บอ.	-
๓. การตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน ๓.๑. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้น้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่ข้าว ๓.๒. วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของข้าว	มีการตรวจสอบจากคณะทำงานฯ	ตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูล และสามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนกลับได้	หัวหน้าโครงการวิจัย/ทน๑-๙บอ. วน.บอ./ผชน.บอ.	-
๔. สรุปผลและจัดทำรายงาน ๔.๑.สรุปผลและจัดทำรายงานการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว	ข้อมูลมีความถูกต้อง สามารถอ้างอิงกับแหล่งที่มาของข้อมูลได้	ตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์	หัวหน้าโครงการวิจัย/ทน๑-๙บอ.	-

๘. เอกสารอ้างอิง

วิบูลย์ บุญยธโรกุล.๒๕๒๖. หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมการชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุจิน จรูญศักดิ์.๒๕๔๙.เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการปรับปรุงระบบการจัดการน้ำด้านเกษตรชลประทาน. กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน

๙. แบบฟอร์มที่ใช้

๙.๑ แบบฟอร์มที่ ๑ ตารางบันทึกการคายระเหยและการซึมของน้ำจากถังวัดการใช้น้ำของข้า

๙.๒ แบบฟอร์มที่ ๒ ตารางบันทึกปริมาณน้ำฝน

๙.๓ แบบฟอร์มที่ ๓ ตารางบันทึกปริมาณการระเหยการถาดวัดการระเหย

๙.๔ แบบฟอร์มที่ ๔ ตารางบันทึกข้อมูลความเร็วลม

๙.๕ แบบฟอร์มที่ ๕ ตารางบันทึกข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดด

๙.๖ แบบฟอร์มที่ ๖ ตารางบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

๙.๗ แบบฟอร์มที่ ๗ ตารางบันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

๙.๘ แบบฟอร์มที่ ๘ ตารางบันทึกข้อมูลความกดของอากาศ

รายละเอียดตามเอกสารภาคผนวกที่แนบ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบฟอร์มตารางในการข้อมูลประกอบในการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าวและการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

แบบฟอร์มที่ 1

ตารางบันทึกการคายระเหยและการซึมของน้ำจากถังวัดการใช้น้ำของข้าว

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณการคายระเหยและการซึมลึก (มิลลิเมตร)							
		ถัง A (E+T)	ถัง B (E)	ถัง C (E+T+P)	ถัง D (E+P)	ถัง B (E)	ถัง A-B (T)	ถัง D-B (P)	หมายเหตุ
รวม									

แบบฟอร์มที่ 2

ตารางบันทึกปริมาณน้ำฝน

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

แบบฟอร์มที่ 3

ตารางบันทึกปริมาณการระเหยการถาดวัดการระเหย

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

แบบฟอร์มที่ 4
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				
	06.00				
	18.00				
รวม					
เฉลี่ย					

แบบฟอร์มที่ 5
ตารางบันทึกข้อมูลจำนวนชั่วโมงแสงแดด

วันที่	จำนวนชั่วโมงแสงแดด (ชม.)	หมายเหตุ
รวม		
เฉลี่ย		

แบบฟอร์มที่ 6

ตารางบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

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

แบบฟอร์มที่ 7
ตารางบันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

วันที่	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)			หมายเหตุ
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
รวม				
เฉลี่ย				

แบบฟอร์มที่ 8

ตารางบันทึกข้อมูลความกดของอากาศ

วันที่	ความกดของอากาศ (มิลลิบาร์)			หมายเหตุ
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
รวม				
เฉลี่ย				

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการทำงาน ตัวอย่างการคำนวณ และตารางข้อมูลประกอบในการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

ขั้นตอนการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)

1 จัดเตรียมอุปกรณ์ และการรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ประกอบด้วย

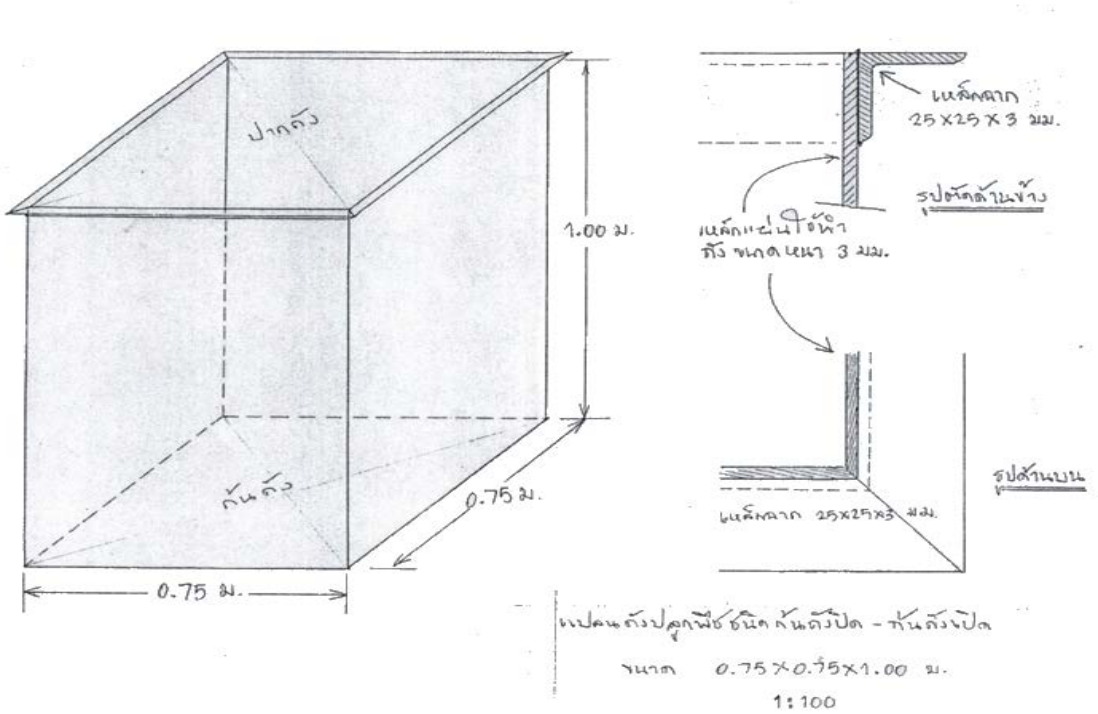
1.1 ทำการติดตั้งหรือฝังถัง Lysimeter ซึ่งเป็นถังเหล็ก จำนวน 4 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย 4 ถัง ซึ่งเป็นถังก้นปิด 2 ถัง (ถัง A, B) และถังก้นเปิด 2 ถัง (ถัง C, D) แต่ละถังขนาด 75 x 75 X 100 เซนติเมตร ทำการปลูกข้าวในถังก้นปิด 1 ถังและถังก้นเปิด 1 ถัง ส่วนที่เหลืออีก 2 ถัง ซึ่งเป็นถังก้นเปิด 1 ถังและถังก้นปิด 1 ถังนั้นไม่ปลุกข้าว แต่จะใช้วัสดุอื่นหรือต้นข้าวเทียมมาปักไว้แทนเพื่อให้ในสภาพังคล้ายถังปลูกข้าวและบริเวณรอบๆ ถัง Lysimeter ทั้ง 4 ชุดจะปลูกข้าวเพื่อให้สภาพแวดล้อมทั่วไปคล้ายแปลงใหญ่ (ภาพที่ 1,2 และ 3)

ถัง A เป็นถังก้นปิดส่วนล่างใช้ปลูกข้าว วัดค่า ET (Evapotranspiration)

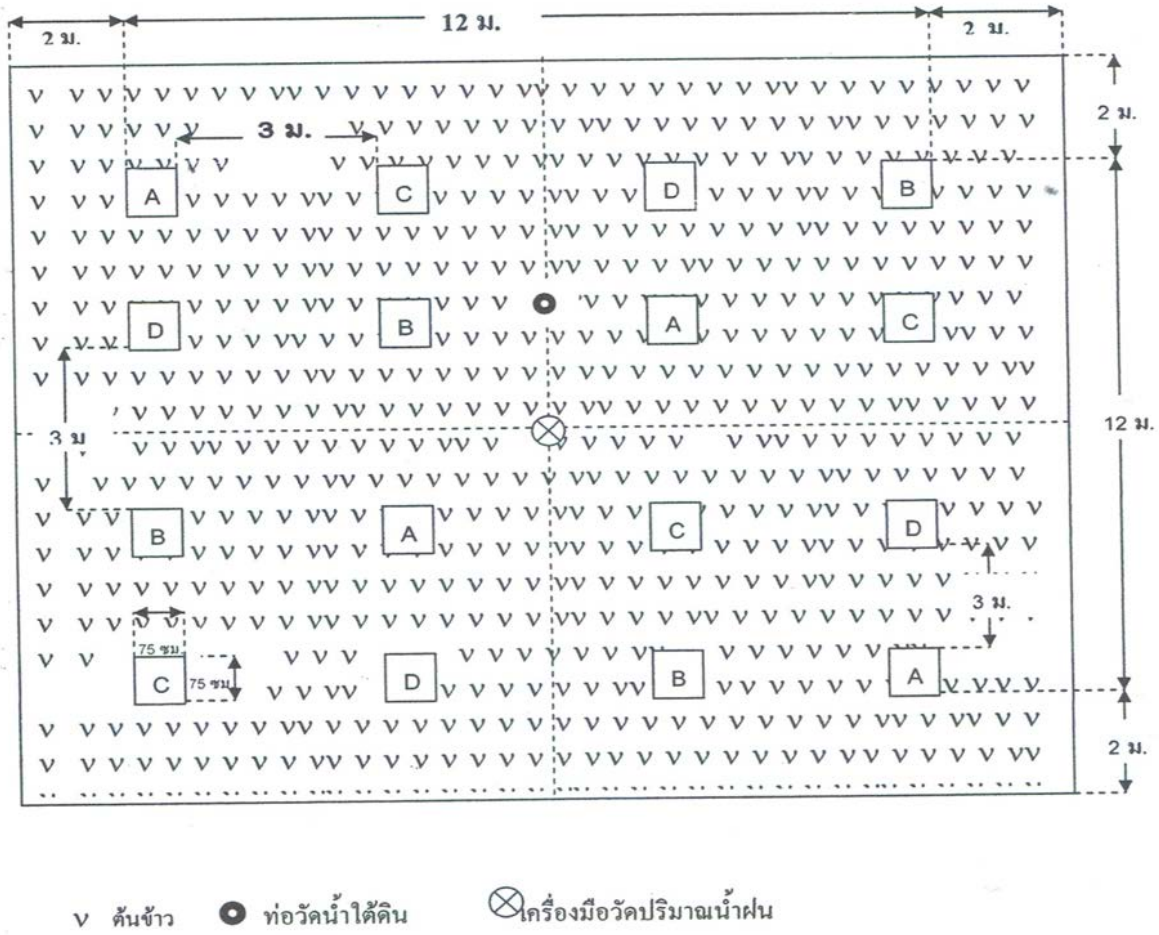
ถัง B เป็นถังก้นปิดส่วนล่างไม่ปลูกข้าว วัดค่า E (Evaporation)

ถัง C เป็นถังก้นเปิดส่วนล่างใช้ปลูกข้าว วัดค่า ETP (Evapotranspiration+ Percolation)

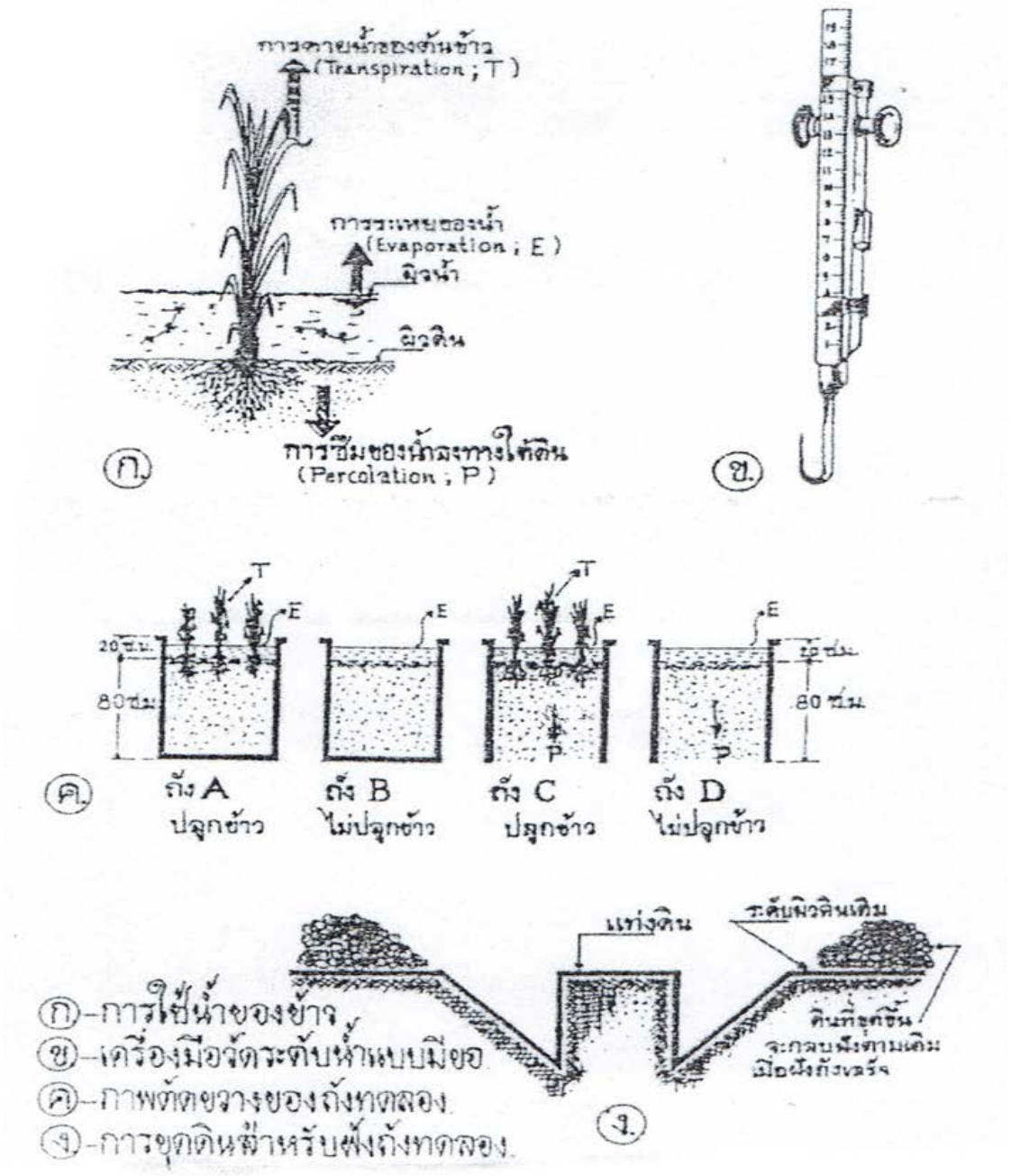
ถัง D เป็นถังก้นเปิดส่วนล่างไม่ปลูกข้าว วัดค่า EP (Evaporation + Percolation)



ภาพผนวกที่ ข-1 แสดงถังวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)

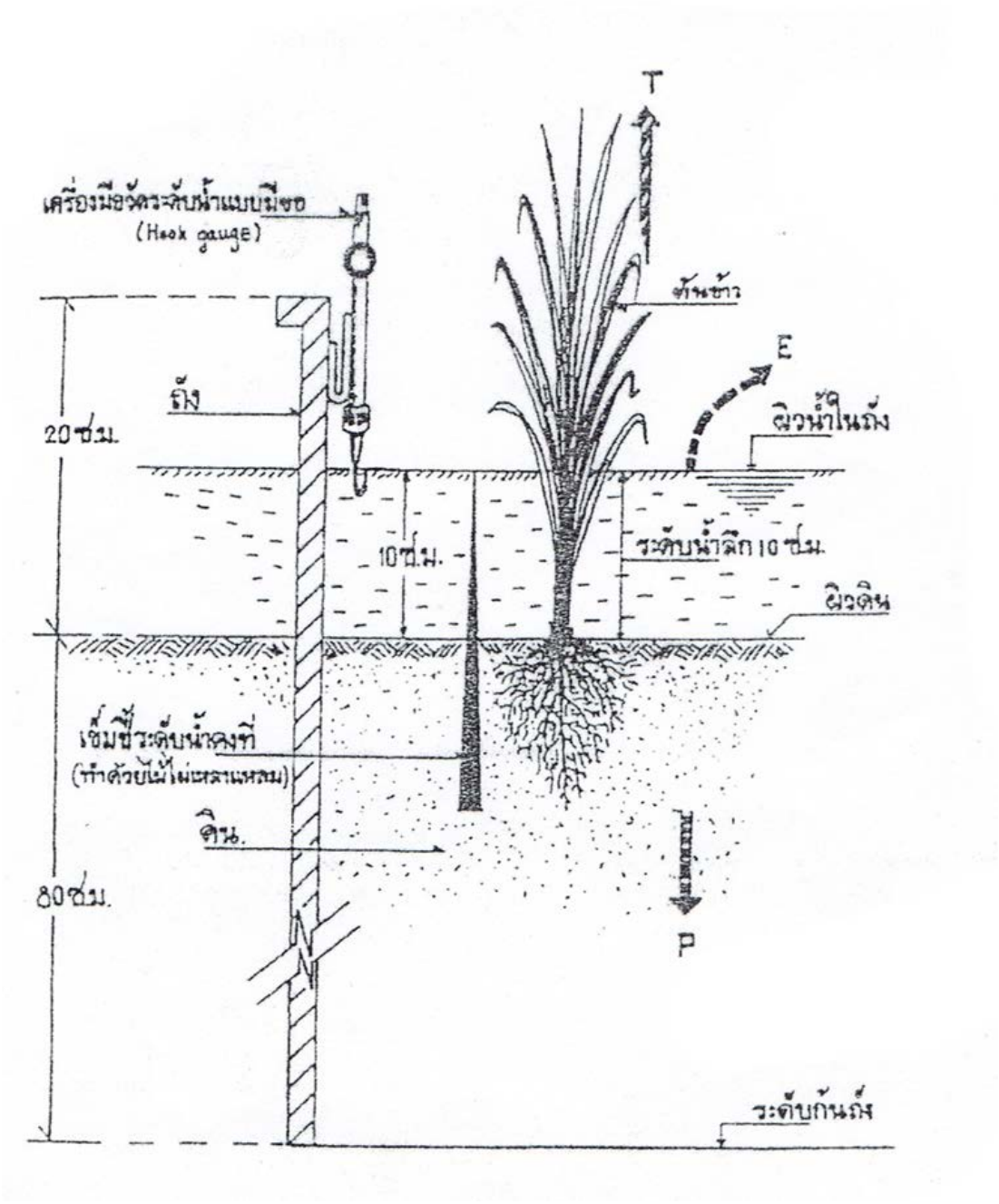


ภาพผนวกที่ ข-2 แสดงการวางถัง Lysimeter จำนวน 4 ชุด (16 ถัง) ในแปลง



ภาพผนวกที่ ข-3 แสดงรายละเอียดการขุดฝังถัง Lysimeter และวิธีวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว

1.2 ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำแบบตะขอ (Hook gauge) บนขอบถังแต่ละใบ และเติมน้ำในถังสูง 10 เซนติเมตร เพื่อใช้วัดปริมาณน้ำที่สูญเสีย/สูญหายในแต่ละถังเป็นประจำทุกวัน ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวสามารถอ่านค่าได้ละเอียดสูง
(ภาพที่ 4)



ภาพผนวกที่ ข- 4 แสดงรายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำแบบตะขอ (Hook gauge) และวิธีวัดปริมาณการใช้น้ำของข้าว

1.3 จัดเตรียมเครื่องมือวัดสภาพภูมิอากาศ เช่น เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน ถาดวัดการระเหย เครื่องวัดความยาวนานแสงแดด เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดพลังงานแสงแดด เครื่องวัดความกดอากาศ

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

2 คำนวณปริมาณการใช้น้ำของข้าว และบันทึกข้อมูล

2.1 การอ่านค่าระดับน้ำ ใช้เครื่องมือวัดน้ำแบบตะขอ (Hook gauge) ที่ติดตั้งไว้บนขอบถังแต่ละใบเพื่อใช้วัดปริมาณน้ำที่สูญเสีย/สูญหายในแต่ละถังเป็นประจำทุกวัน โดยการปรับตัวตะขอของเครื่องมือวัดน้ำในแต่ละถังให้เสมอผิวน้ำแล้วจดค่าที่อ่านได้ไว้ เมื่ออ่านค่าเสร็จแล้วให้เติมน้ำกลับมาที่ระดับที่ตั้งไว้สูง 10 เซนติเมตร แล้วบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในตาราง

2.2 การคำนวณปริมาณน้ำ (ปริมาณความต้องการใช้น้ำ)

2.2.1 นำค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง A ลบด้วยค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง B และค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง C ลบด้วยค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง D จะได้ค่า T (Transpiration)

2.2.2 นำค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง C ลบด้วยค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง A และค่าปริมาณตรวจวัดจากถัง D ลบด้วยค่าปริมาณการตรวจวัดจากถัง B จะได้ค่า P (Percolation)

2.2.3 ค่า E (Evaporation) ได้จากค่าปริมาณการตรวจวัดถ้ง B เพียงถังเดียว

2.3 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, ลมกลางวันเป็น เมตร /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/^{O}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

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

$T^4_{min,K}$ = 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 $^{\circ}$/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 ($^{\circ}$C)

U_2 = ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (เมตร/วินาที)

$e_s - e_a$ = = ค่าความต่างของแรงดันไอ (kPa)

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

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

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

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

โดยที่

e_s = Mean saturation vapour pressure (kPa)

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

$e^o(T_{min})$ = 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)	0.43	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
0	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
500	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
1000	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
2000																				

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

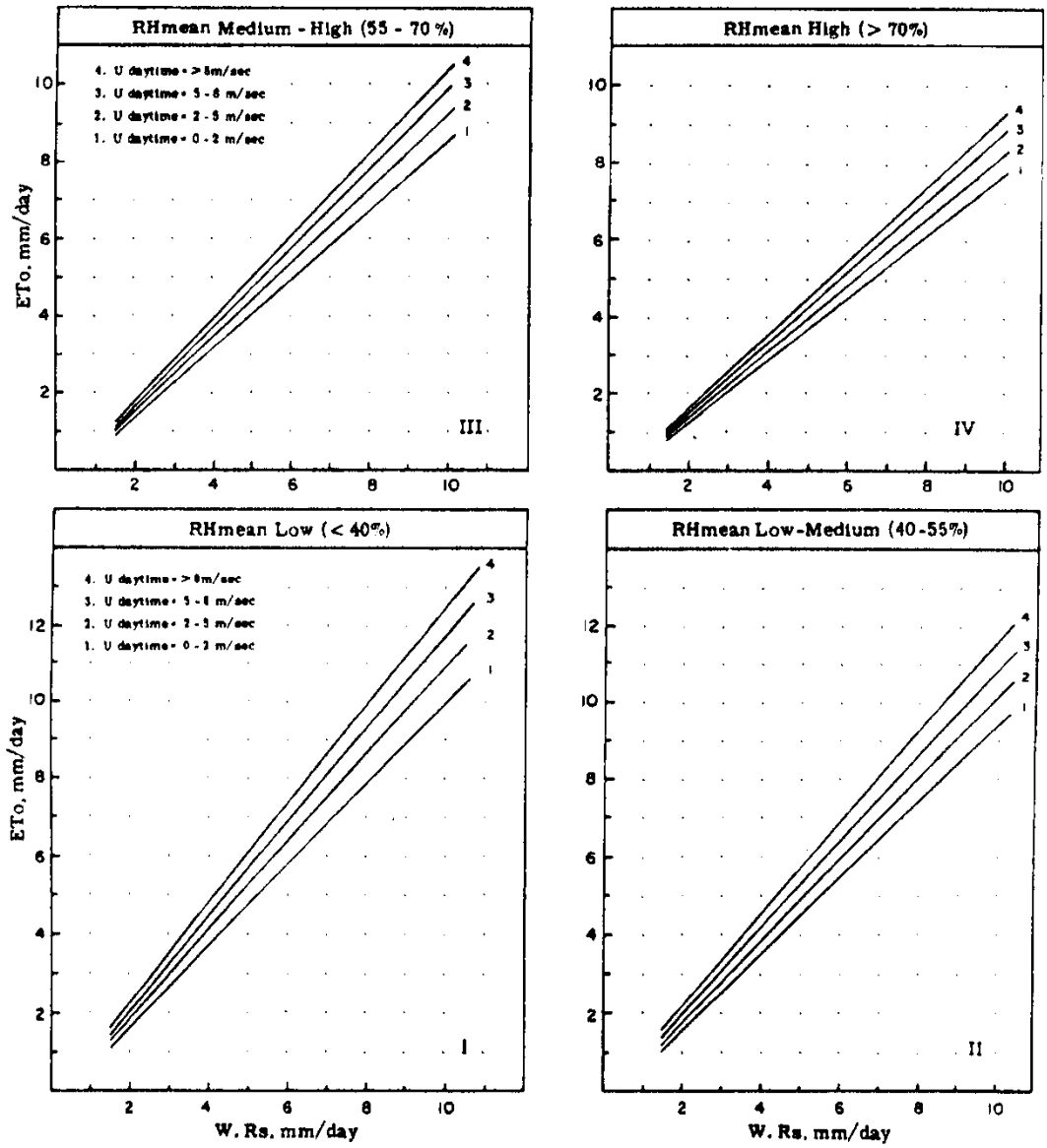


Fig. 2 Prediction of ETo from W. RS for different conditions of mean relative humidity and day time wind.

แผนภูมิผนวกที่ ข - 1 กราฟประมาณค่า ET_O จากวิธีการของ Radiation (WxRs)

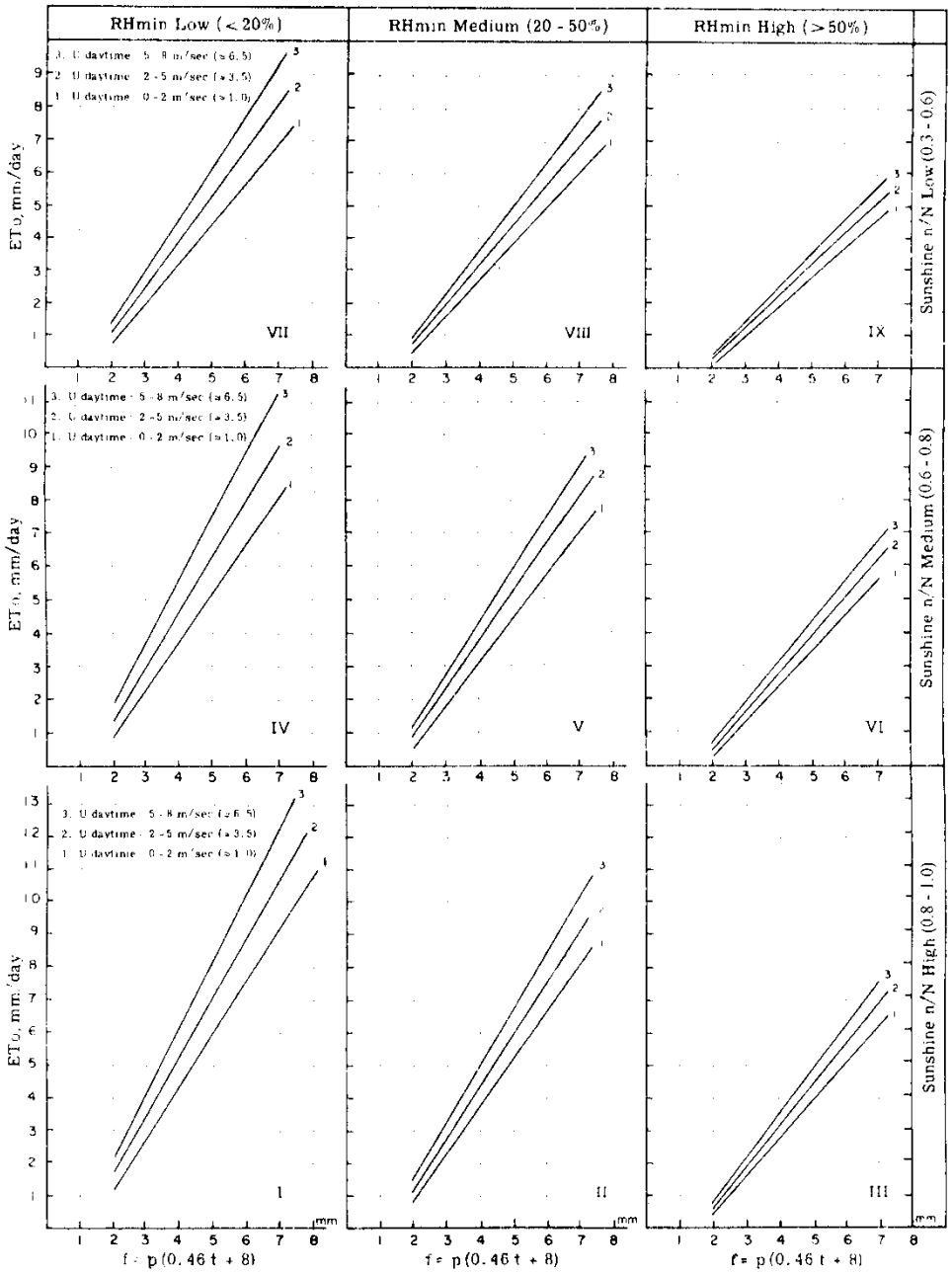


Fig. 1 Prediction of ETo from Blaney-Criddle f factor for different conditions of minimum relative humidity, sunshine duration and day time wind.

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

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 $6^{\circ} \Rightarrow R_a = 13.9$

ที่ Latitude North $8^{\circ} \Rightarrow R_a = 13.6$

$\therefore$ 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 $\leftarrow$

<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 $5^{\circ} \Rightarrow$ N = 11.8 ชั่วโมง/วัน

ที่ Latitude North $10^{\circ} \Rightarrow$ 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 $\dfrac{U_{day}}{U_{night}}$ = 3.15 จะได้

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

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

จากค่า RH_{mean}, $U_{daytime}$ และ $W \times R_S$ จะได้ค่า ET_O = 4.30 มิลลิเมตร / วัน ← (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° $\Rightarrow$ p = 0.27

ที่ Latitude North 10° $\Rightarrow$ p = 0.26

∴ ที่ Latitude North 6° - 40′ - 00″ = 6.67° จะได้ค่า

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

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

$$f = p(0.46T + 8) = 0.27\left(0.46(25.65)+8\right) = 5.28 \text{ มิลลิเมตร / วัน}$$

จากค่า RH_{min}, U_{2day}, f และ $\frac{n}{N}$ จะได้ค่า ET_o = 3.07 มิลลิเมตร / วัน ← (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 $\Rightarrow$ e_a = 29.83 มิลลิบาร์

ที่ T_{mean} = 26 องศาเซลเซียส $\Rightarrow$ 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 $\Rightarrow$ 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

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

Interpolate ครั้งที่ 2

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

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

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}

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

<u>Interpolate ครั้งที่ 1</u>

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 ←

วิธีการที่ 6 Penman – Monteith

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

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 α = 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 เมกกะจูล/ตารางเมตร / วัน

$\therefore R_{ns}$ = 0.77×19.52 = 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} = $0.75R_a$

= 0.75×33.40 = 25.05 เมกกะจูล/ตารางเมตร / วัน

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

$$=4.903\times10^{-9}\times\frac{\left((273+30.6)^4+(273+20.693)^4\right)}{2}\times(0.34-0.14\times1.612)\times\left(1.35\times\frac{19.52}{25.05}-0.35\right)$$

$$=4.903\times10^{-9}\times7.968\times10^{9}\times0.114\times0.702$$

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

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

คำนวณค่า Parameters

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

$\therefore \Delta$ = 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

$$\frac{g}{\alpha R} = \frac{9.807}{0.0065\times287} = 5.26$$

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

$$\lambda = 2.501-\left(2.361\times10^{-3}\right)T$$

$$= 2.501-\left(2.361\times10^{-3}\right)25.65$$

$\therefore \lambda$ = 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

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

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

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

ET_o = 3.95 มิลลิเมตร / วัน $\leftarrow$

ภาคผนวก ค

ภาพตัวอย่างขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ภาพตัวอย่าง
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ภาพผนวกที่ ค-1 แสดงการติดตั้งถัง Lysimeter เพื่อวัดค่าการใช้น้ำของข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร

ภาพผนวกที่ ค-2 แสดงการจัดเตรียมเครื่องมืออุตุนิยมวิทยาเพื่อเก็บข้อมูลสภาพอากาศ

ภาพผนวกที่ ค-3 แสดงการจัดเตรียมเครื่องมือ hookgauge เพื่อวัดระดับน้ำในถัง lysmiter และเครื่องมืออุตุนิยมวิทยา

ภาพผนวกที่ ค-3 แสดงการเก็บข้อมูลการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบ American Class A Pan

ภาพผนวกที่ ค-4 แสดงการไถ ทำเทือก เตรียมดิน เพื่อปักดำ

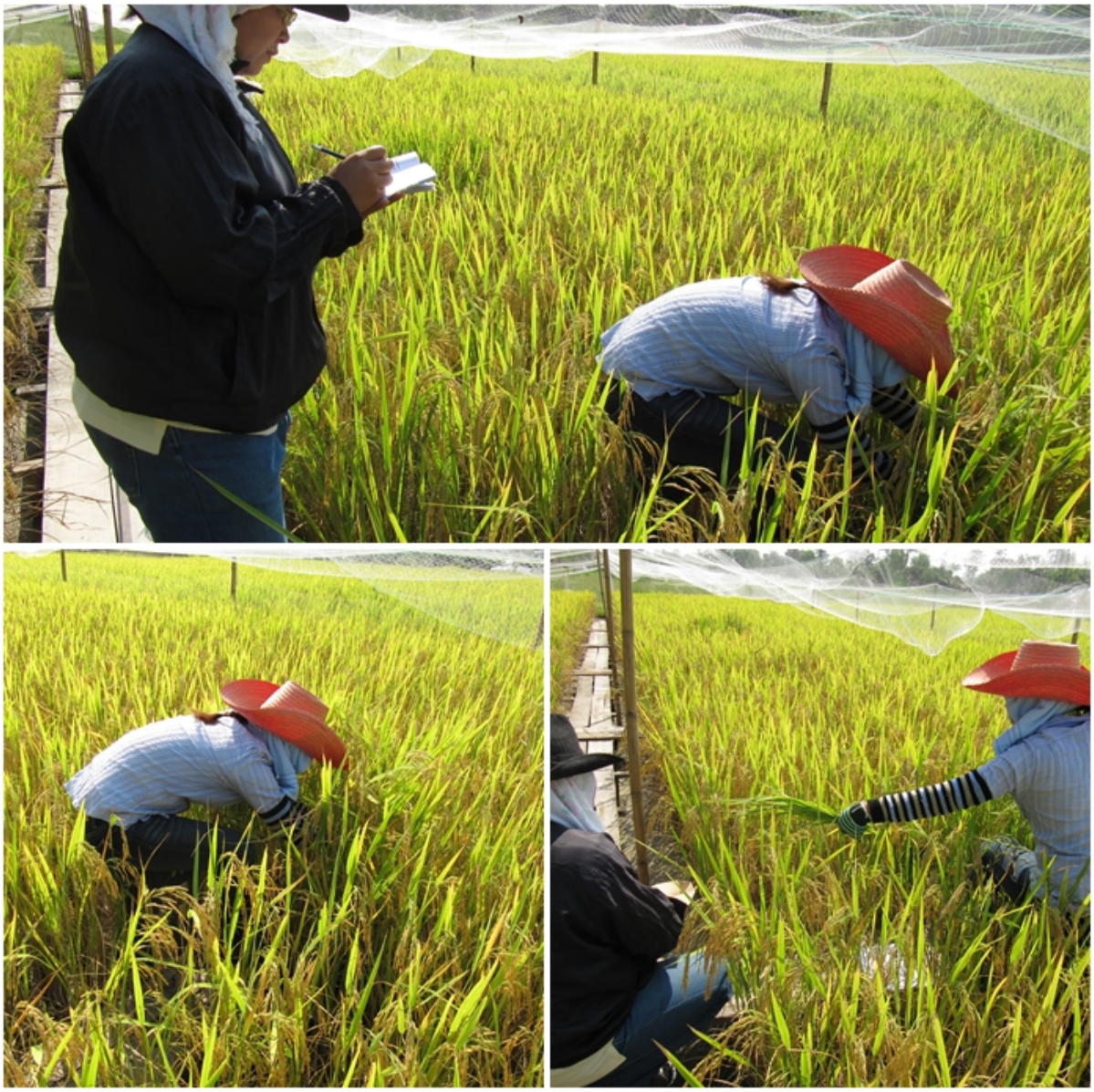
ภาพผนวกที่ ค-5 แสดงการเตรียมดินในถัง lysimeter และการใส่ปุ๋ยคอก เตรียมปลูกข้าว

ภาพผนวกที่ ค-6 แสดงการติดตั้งท่อวัดการซึมของน้ำลงสู่ระดับดินชั้นล่าง (percolation)

ภาพผนวกที่ ค-7 แสดงการปักดำข้าวทั้งในถัง lysimeter และในแปลงทดลองระยะปลูก ๒๐ x ๒๐ ซ.ม.

ภาพผนวกที่ ค-8 แสดงการติดตั้ง Hook Gauge บนถังไลซิมิเตอร์

ภาพผนวกที่ ค-9 แสดงการวัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว



ภาพผนวกที่ ค-10 แสดงการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการเก็บข้อมูลก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต