

ศักยภาพการคายระเหย

สิทธิพร สุขเกษม และ ราชัน วรรณจักร

ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ การศึกษาศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration PET) ที่ได้จากการตรวจวัดโดยตรงโดยใช้ถัง Lysimeter (Drainage type ขนาด $1.2 \times 1.2 \times 1.0$ เมตร) และนำไปเปรียบเทียบกับค่า PET ที่ได้จากการคำนวณด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรโดยวิธีของ Penman, Pan evaporation, Makkink และ Jensen-Haise ได้กระทำขึ้น ณ โครงการวิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (12 สิงหาคม - 23 ธันวาคม 2526) ผลปรากฏว่าค่า PET ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Penman ให้ค่าใกล้เคียงกับวิธีตรงมากที่สุด ($r = 0.87$) วิธีที่ให้ค่าใกล้เคียงรองลงมาคือวิธี Pan evaporation ($r = 0.75$) ส่วนวิธีของ Jensen-Haise แม้จะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r = 0.80$) แต่ค่า PET ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีตรงมาก สำหรับวิธีของ Makkink นั้นให้ค่า PET ที่ใกล้เคียงกับวิธีตรงมากกว่าวิธีของ Jensen-Haise แต่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ (0.40)

กําน้ำ

มีนักวิทยาศาสตร์ได้ให้คำนิยามของคำว่า " ศักยภาพการคายระเหย "

(Potential evapotranspiration, PET) หลายแบบด้วยกัน แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว ก็มีความหมายคล้ายคลึงกัน จากคำนิยามของ Thornthwaite and Penman ที่กล่าวไว้ในปี 1948 (Rosenberg, 1974) ได้สรุปไว้มีใจความว่า ศักยภาพการคายระเหยหมายถึง การระเหยของน้ำจากแปลงพืชที่ตัดสั้นและมีบริเวณที่กว้างพอและพืชจะต้องปกคลุมพื้นดินเต็มที่ และมีการให้น้ำอย่างเพียงพอเพื่อให้ความต้านทานการระเหยน้ำมีน้อยที่สุด สำหรับในทางเกษตรนั้น ค่า PET โดยทั่วไปวัดจากหญ้าที่ตัดให้สั้น (Jensen 1973) ดังนั้น PET บางครั้งจึงเรียกว่าการคายระเหยจากพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration) การประมาณศักยภาพการคายระเหยโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรนั้น มีหลายวิธี บางวิธีก็ใช้สูตรเอมไพริคัล เช่น วิธีการของ Thornthwaite ซึ่งใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเพียงอย่างเดียว วิธีของ Blaney and Criddle ใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความชื้นและลมมาใช้ ส่วนวิธีอื่น ๆ ก็อาศัยพื้นฐานทางฟิสิกส์ของขบวนการระเหย วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ ก็เพื่อที่จะเปรียบเทียบการประมาณศักยภาพการคายระเหย จากวิธีคำนวณโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตร จากวิธีของ Jensen - Haise, Makkink, Pan evaporation และ Modified Penman (บุญยธโรกุล 2526: Jensen 1973) กับวิธีการตรวจวัดโดยตรงโดยใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบาย (Drainage Lysimeter)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

สถานที่

การศึกษาวิจัยครั้งนี้กระทำ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร โครงการศูนย์วิจัย เพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตั้งอยู่ละติจูด $18^{\circ} 47'$ เหนือ ลองจิจูด $98^{\circ} 59'$ ตะวันออก อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 313 เมตร ลักษณะดินในระดับลึก 30 เซนติเมตรจากผิวพื้น เป็นดินร่วนปนทราย

ถึงวัดการใช้น้ำของพืช

ถึงวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) ที่ใช้ศึกษาศักยภาพ การคายระเหย เป็นแบบระบายน้ำ (Drainage type) มีขนาด 1.2×1.2 เมตร ลึก 1.0 เมตร ด้านล่างสูงจากพื้นถึง 10 เซนติเมตร ปูด้วยกรวด เพื่อให้ น้ำระบายออกจากถัง ผ่านท่อเอส ลอน ขนาด $3/4$ นิ้ว ลงสู่ท่อชักเก็บน้ำ ดินจะถูกบรรจุลงในถังทุก ๆ ระดับ 10 เซนติเมตร โดยรักษาให้มีสภาพคล้ายคลึงกับโปรไฟล์ของดินเดิมให้มากที่สุด ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่ถังวัดนี้ สามารถทราบค่าได้ โดยสมมุติว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่ถังวัดมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำฝนที่วัดจาก เครื่องวัดน้ำฝนแบบกระบอกดวง และเพื่อที่จะรักษาความชื้นของดินในถังวัด ให้อยู่ในระดับ ใกล้เคียงกับความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC) น้ำที่ทราบปริมาณ (มิลลิ-เมตร) จะถูกเติมลงในถังวัด อัตราการคายระเหยของน้ำในถังวัด ในคาบเวลาที่กำหนดไว้ (ประมาณ 7-10 วัน) สามารถหาได้จากสมการการสมดุลย์ของน้ำ (water balance equation)

การวัดความชื้นของดิน

วัดความชื้นของดินโดยใช้ Tensiometer ซึ่งทำการติดตั้งไว้ในถังวัด ที่ระดับลึก 10, 20 และ 40 เซนติเมตร จากผิวพื้น ค่าความเครียดของน้ำ ที่อ่านได้จาก

Tensiometer ณ ระดับต่าง ๆ จะถูกบันทึกทุกวัน ตัวอย่างดินที่ระดับดังกล่าว ถูกสุ่มเก็บเพื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (มิลิบาร์) และปริมาณความชื้นในดิน (มิลลิเมตร) ณ ระดับต่าง ๆ ดังกล่าว

พืช (Cropping)

บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร และในถังวัดการใช้น้ำของพืช ปลูกด้วยหัวนาวลน้อย ให้น้ำและปุ๋ยบริเวณรอบ ๆ ถังวัดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้หญ้าเติบโตปกคลุมพื้นดินอย่างเต็มที่ และหญ้าจะถูกตัดให้สั้นอยู่เสมอ (1-2 อาทิตย์ต่อครั้ง)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตร (Agrometeorological data)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรที่ทำการตรวจบันทึกประจำวัน และนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีดังต่อไปนี้.-

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1) ความยาวนานของแสงแดด (ชม.) | 5) อุณหภูมิคุ้มแห้ง (°ซ) |
| 2) ความเร็วลม (กม./วัน) | 6) อุณหภูมิคุ้มเปียก (°ซ) |
| 3) อุณหภูมิอากาศสูงสุด (°ซ) | 7) น้ำระเหย (ม.ม./วัน) |
| 4) อุณหภูมิอากาศต่ำสุด (°ซ) | 8) น้ำฝน (ม.ม./วัน) |

ความยาวนานของแสงแดด (hours of bright sunshine) บันทึกได้จากเครื่อง Campbell Stokes sunshine recorder ซึ่งติดตั้งสูงจากพื้นดิน 1.2 เมตร ข้อมูลความยาวนานของแสงแดดจะนำไปใช้ในการคำนวณหาพลังงานรังสีรวม (Total radiation, St) และพลังงานรังสีสุทธิ (Net radiation, Rn)ต่อไป (Frere 1979 ; Penman 1956)

ความเร็วลมประจำวัน (Total wind run) บันทึกจากเครื่อง Anemometer แบบลูกถ้วย 3 ใบ ซึ่งตั้งอยู่สูงจากพื้นดิน 2 เมตร

อัตราการระเหยน้ำประจำวันตรวจบันทึกจาก American class a pan ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120.6 เซนติเมตร ลึก 25.4 เซนติเมตร ตั้งอยู่บนฐานไม้สูงจากพื้นดิน 15 เซนติเมตร ระดับน้ำในภาชนะได้รักษาให้อยู่ในระดับลึกจากขอบภาชนะประมาณ 5 เซนติเมตรอยู่เสมอ

อุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุดประจำวันบันทึกจาก เทอร์โมมิเตอร์ พรอทสูงสุด และเทอร์โมมิเตอร์ต่ำสุดชนิดแอลกอฮอล์บรรจุในหลอดแก้ว เครื่องมือทั้งสองติดตั้งไว้ในตู้สกรีนแบบ Stevenson อยู่สูงจากพื้นดิน 1.25 เมตร และเทอร์โมมิเตอร์คุ้มครอง และคุ้มครองเปียกซึ่งติดตั้งในตู้สกรีน จะทำการตรวจวัดเวลา 07.00, 10.00, 13.00, 14.00, 16.00 และ 19.00 น. ตามลำดับ ค่าของอุณหภูมิคุ้มครองและคุ้มครองเปียกตามเวลาดังกล่าว จะนำมาคำนวณหาค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประจำวัน

ปริมาณน้ำฝนประจำวันวัดได้จากเครื่องวัดน้ำฝนแบบใช้ไม้วัด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20.3 เซนติเมตร และปากของเครื่องวัดอยู่สูงจากพื้น 45 เซนติเมตร

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตร ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร โครงการวิจัยเพื่อผลิตทางเกษตรในระหว่างการศึกษาวิจัย ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยในคาบเวลาที่กำหนดไว้ (9 หรือ 10 วัน) สำหรับข้อมูลพลังงานรังสีคลื่นสั้นรวม (Total shortwave radiation, S_t) และพลังงานรังสีรวมสุทธิ (Net all wave radiation, R_n) สามารถคำนวณได้ตามสมการ (Frere, 1979)

ตารางที่ 1. แสดงสภาพอากาศ ณ สถานีทำการวิจัย (โครงการศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร)

วันที่	จำนวน วัน	อุณหภูมิ เฉลี่ย (° C)	n (ชม.)	N (ชม.)	S_t^* (มม./วัน)	ความเร็ว ลม (กม./วัน)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำฝน (มม.)	Pan evap. (มม.)
12-20 สค.	9	28.0	4.8	12.6	7.3	80.38	74.2	3.3	45.0
21-29 สค.	9	27.2	2.6	12.5	6.0	83.38	78.9	53.4	38.7
30-8 กย.	10	26.7	3.1	12.4	6.2	73.26	80.2	123.2	42.0
9-18 กย.	10	26.4	4.1	12.2	6.6	84.93	79.5	68.5	43.0
19-28 กย.	10	27.5	7.8	12.0	8.3	65.38	73.5	12.6	52.0
29-8 ตค.	10	26.6	5.1	11.8	6.7	69.99	77.0	101.3	48.0
9-18 ตค.	10	26.1	5.2	11.7	6.5	79.55	75.3	87.4	40.0
19-28 ตค.	10	26.1	7.4	11.5	7.3	63.46	73.5	20.8	45.0
29-7 พย.	10	24.8	3.9	11.3	5.4	77.82	74.7	9.7	35.0
8-16 พย.	9	24.6	1.8	11.2	4.2	71.37	81.5	95.8	18.9
17-26 พย.	10	21.5	8.2	11.1	6.9	63.74	65.2	45.7	40.0
27-6 ธค.	10	16.4	9.7	11.0	7.3	66.07	54.4	0	39.0
7-16 ธค.	10	19.4	8.5	10.9	6.7	54.91	64.5	0	32.0
17-25 ธค.	9	20.7	8.7	10.9	6.7	59.76	64.1	0	33.3

$$*S_t = S_0 (0.29 + 0.42 n/N)$$

โดยที่ S_t = พลังงานรังสีตกกระทบบนพื้นที่ เป็น มม./วัน, S_0 = พลังงานรังสีตกเหนือบรรยากาศ เป็น มม./วัน

n = ระยะเวลาที่จุดนั้นได้รับแสงแดดจริง เป็น ชม. N = ระยะเวลาที่จุดนั้นควรจะได้รับแสงแดด เป็น ชม.

$$S_t = S_o (0.29 + 0.42 n/N)$$

โดยที่ S_t = พลังงานรังสีตกกระทบที่จุดนั้น เป็น มม./วัน

S_o = พลังงานรังสีตกเหนือบรรยากาศ เป็น มม./วัน

n = ระยะเวลาที่จุดนั้นได้รับแสงแดดจริง เป็น ชม.

N = ระยะเวลาที่จุดนั้นควรจะได้รับแสงแดด เป็น ชม.

n = จำนวนชั่วโมงที่มีแสงแดดจริง (ชม.)

N = จำนวนชั่วโมงที่ควรจะได้รับแสงแดด (ชม.)

$$Rn = St (1 - \alpha) + Ln$$

$$= (1 - \alpha)(0.29) + 0.42 \frac{n}{N} S_o - 6 Ta^4 (0.56 - 0.08 \sqrt{ea})$$

$$(0.1 + 0.9 \frac{n}{N})$$

เมื่อ α = สัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับของแผ่นหญ้า

Ta = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประจำวัน (องศาเซลเซียส)

ea = ความดันไอลจริงเฉลี่ยประจำวัน (มิลลิบาร์)

6 = ค่าคงที่ของ Boltzman and stefan

Water balance equation

ความสมดุลของน้ำใน Lysimeter ในช่วง 9-10 วัน คำนวณได้จาก
สมการสมดุลของน้ำ (water balance equation) ดังนี้.-

$$P + T = PET + \Delta S + D + Ro$$

เมื่อ P = ปริมาณน้ำฝนในคาบเวลาที่กำหนดไว้ (มม.)

T = ปริมาณน้ำที่ให้แก่หญ้าในถัง Lysimeter (มม.)

ΔS = ปริมาณความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละคาบเวลาที่กำหนดไว้ (มม.)

D = ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากถัง Lysimeter (มม.)

Ro = ปริมาณน้ำที่ไหลบ่าออกจากถัง Lysimeter (มม.)

อัตราการคายระเหยจากแผ่นหญ้าหรือศักยภาพการคายระเหยเฉลี่ย และองค์ประกอบต่าง ๆ ของสมการสมดุลของน้ำได้แสดงในตารางที่ 2

(Water balance method)

วันที่	จำนวน	น้ำฝน	น้ำที่ให้	Drainage	Run off	ΔS^*	PET	PET / วัน
	วัน	(I, มม.)	(D, มม.)	(Ro มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)	(มม.)
12-20 สค.	9	3.3	24	0	0	- 9.3	36.6	4.07
21-29 สค.	9	53.4	0	26.7	0	- 5.1	31.8	3.53
30-8 กย.	10	123.2	0	82.6	0	+ 6.9	33.7	3.37
9-18 กย.	10	68.5	0	33.3	0	+ 5.0	30.2	3.02
19-28 กย.	10	12.6	26	4.1	0	- 6.9	41.4	4.14
29-8 ตค.	10	101.3	5	63.3	0	+ 4.0	39.0	3.90
9-18 ตค.	10	87.4	9	54.2	0	+ 8.6	33.6	3.36
19-28 ตค.	10	20.8	7	13.7	0	- 16.6	30.7	3.07
29-7 พย.	10	9.7	8	0	0	- 8.9	26.6	2.66
8-16 พย.	9	95.8	2	56.9	0	+ 20.5	20.4	2.27
17-26 พย.	10	45.7	0	37.8	0	- 20.4	28.3	2.83
27-6 ธค.	10	0	18	0	0	+ 1.5	16.5	1.65
7-16 ธค.	10	0	10	0	0	- 18.58	28.6	2.86
17-25 ธค.	9	0	12	0	0	- 8.5	20.5	2.27

 ΔS^*

+ ความเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินในคาบเวลาการศึกษา
 เป็นปริมาณความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้นจากเดิม
 - เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ลดลง (จากการระเหย)

Penman method

สมการการประมาณ PET ของ Penman (1956) นั้น ได้รวบรวมเอาวิธีการทางสมดุลพลังงานและการเคลื่อนไหวยของลมที่มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ เข้าด้วยกันตั้งสมการ

$$PET = \frac{\Delta R_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

เมื่อ R_n = พลังงานรังสีรวมสุทธิมีหน่วยเทียบเท่ากับกำลังการระเหยน้ำ (มม./วัน)

Δ = ความลาดชัน (slope) ของกราฟความดันไออิ่มตัว ที่อุณหภูมิอากาศนั้น ๆ (มิลลิบาร์/°ซ)

γ = ค่าคงที่ไซโครเมตริก (Psychrometric constant, 0.66 มิลลิบาร์/°ซ)

E_a = เทอมแอโรไดนามิก (Aerodynamic term) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร และการขาดความอิ่มของไอน้ำ (Saturation deficit)

$$E_a = 0.26 (1 + 0.0062 U_2) (e_s - e_a)$$

เมื่อ U_2 = ความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร สูงจากพื้นดิน (กม./วัน)

e_s = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิอากาศนั้น ๆ (มิลลิบาร์)

e_a = ความดันไอจริงที่อุณหภูมิอากาศนั้น ๆ (มิลลิบาร์)

ค่า PET ในตารางที่ 3 ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีของ Penman นั้นก่อนอื่น ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรแต่ละข้อมูลจะนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยก่อน แล้วจึงนำไปแทนค่าในสมการ (Lomas et al. 1974)

ตารางที่ 3. แสดงค่า PET ที่คำนวณได้จากสูตรต่าง ๆ ในระยะเวลาที่เหมาะสม กับค่า PET ที่ได้จากการวัดโดยวิธีตรง

วันที่ (พ.ศ. 2526)	จำนวน วัน	ค่า PET มม./วัน				
		water balance	Jensen- Haise	Makkink	Penman	Pan evap.
12-20 สค.	9	4.1	6.2	4.2	4.3	4.3
21-29 สค.	9	3.5	5.0	3.5	3.7	3.7
30-8 กย.	10	3.4	5.1	3.6	3.7	3.7
9-18 กย.	10	3.0	5.3	3.8	3.7	3.7
19-28 กย.	10	4.1	6.9	4.8	4.4	4.4
29-8 ตค.	10	3.9	5.5	3.9	4.7	4.1
9-18 ตค.	10	3.4	5.2	3.7	3.5	3.4
19-28 ตค.	10	3.1	5.9	4.2	3.6	3.8
29-7 พย.	10	2.7	4.2	3.1	3.0	3.0
8-16 พย.	9	2.3	3.3	2.4	2.5	1.8
17-26 พย.	10	2.8	4.8	3.9	2.7	3.4
27-6 ธค.	10	1.7	4.3	4.2	2.2	3.3
7-16 ธค.	10	2.9	4.3	3.8	2.3	2.7
17-25 ธค.	9	2.3	4.5	3.8	2.4	3.1

Makkink method

ในปี 1957 Makkink ได้ใช้ข้อมูลพลังงานรังสีที่ใช้ในการประมาณค่า ในสภาพภูมิอากาศหนาวของประเทศเนเธอร์แลนด์ ดังสมการ

$$PET = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + 8} St - 0.12$$

เมื่อ St = พลังงานรังสีคลื่นสั้นรวมที่ได้รับ ณ พื้นโลกในแนวระดับ มีหน่วยเทียบเท่ากับกำลังการระเหยน้ำ (มม./วัน)

ในการศึกษาครั้งนี้ค่าเฉลี่ยของ St และอุณหภูมิในคาบเวลาที่กำหนดได้นำมาใช้ในการคำนวณค่า PET ดังแสดงในตารางที่ 3

Jensen - Haise method

สมการเอมไพริกัลที่ใช้ในการประมาณ PET ซึ่งตั้งโดย Jensen - Haise ในปี 1963 นั้น เป็นวิธีทางพลังงานรังสีดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับวิธีของ Makkink

$$PET = C_T (T - T_x) St$$

เมื่อ St = พลังงานรังสีคลื่นสั้นรวมมีหน่วยเทียบเท่า กำลังการระเหยน้ำ (มม./วัน)

T = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C)

C_T = ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ

T_x = ค่าคงที่ของอุณหภูมิ

$$C_T = \frac{1}{C_1 + C_2 \cdot C_H}$$

$$\text{เมื่อ } C_1 = 38 - (2.0 \times \text{Elev. (m)} / 305)$$

$$C_2 = 7.6^\circ$$

$$C_H = \frac{50}{(e_2 - e_1)} \quad \text{มิลลิบาร์}$$

$$\text{เมื่อ } e_2 = \text{ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิอากาศสูงสุดเฉลี่ยประจำเดือนที่ร้อนที่สุดในรอบปี (มิลลิบาร์)}$$

$$e_1 = \text{ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิอากาศต่ำสุดเฉลี่ยประจำเดือนที่ร้อนที่สุดในรอบปี (มิลลิบาร์)}$$

$$T_x = -2.5 - 0.14 (e_2 - e_1)^{0.9} \text{C/mb} - \text{elev. (m)} / 550$$

สมการของ Jensen-Haise ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้หลังจากแทนค่าคงที่ต่าง ๆ แล้ว สามารถเขียนใหม่ดังนี้.-

$$\text{PET} = 0.2224 (T_a - 9.428) \text{ St}$$

Evaporation method

วิธีการประมาณการคายระเหย โดยใช้ข้อมูลน้ำระเหย (มม./วัน) จากถาดระเหยแบบ Class A นั้นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์ของถาดระเหย (K_p) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามพืชที่ขึ้นอยู่รอบ ๆ ถาดระเหย ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม แต่ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่า K_p คงที่ตลอดการวิจัย

$$\text{PET} = K_p \times E_p$$

$$K_p = 0.85$$

ตารางที่ 3 แสดงค่า PET ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ (รูปที่ 1) จะเห็นได้ว่าคุณค่า PET ที่ได้จากการคำนวณตามวิธีของ

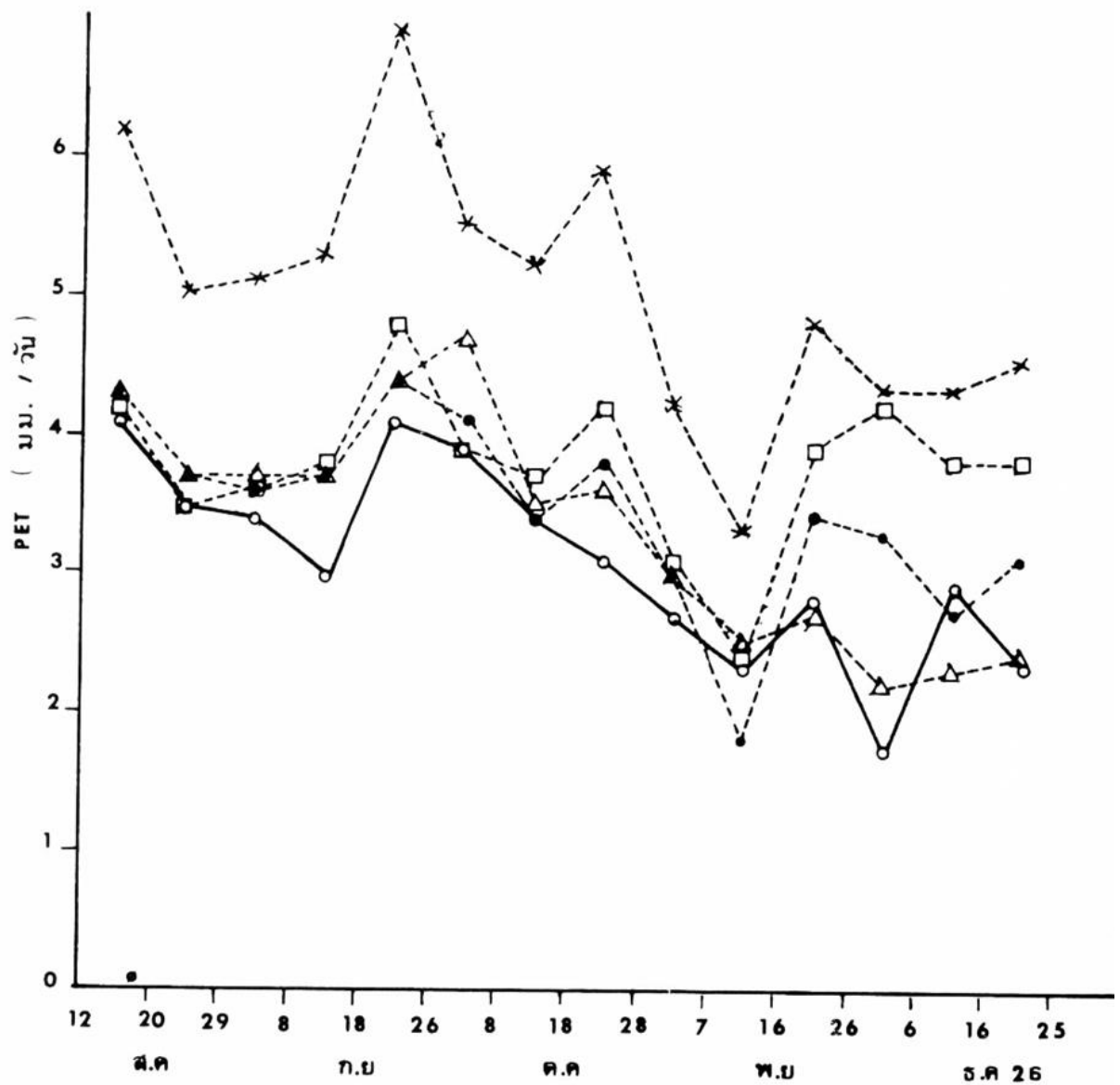
Penman มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยวิธีตรงมากที่สุด รองลงมาได้แก่วิธีของการระเหยน้ำ สำหรับวิธีของ Jensen-Haise ค่า PET ที่ได้จะสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีตรงตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

รูปที่ 2 แสดงถึงสหสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear regression) ระหว่าง PET จากวิธีตรง (Lysimeter) และวิธีคำนวณต่าง ๆ วิธีของ Penman นั้นให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด ($r = 0.87$) รองลงมาคือวิธี Jensen - Haise ($r = 0.80$) วิธีการระเหยน้ำ (0.75) และวิธีของ Makkink จึงให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ (0.40)

วิจารณ์ผลการทดลอง

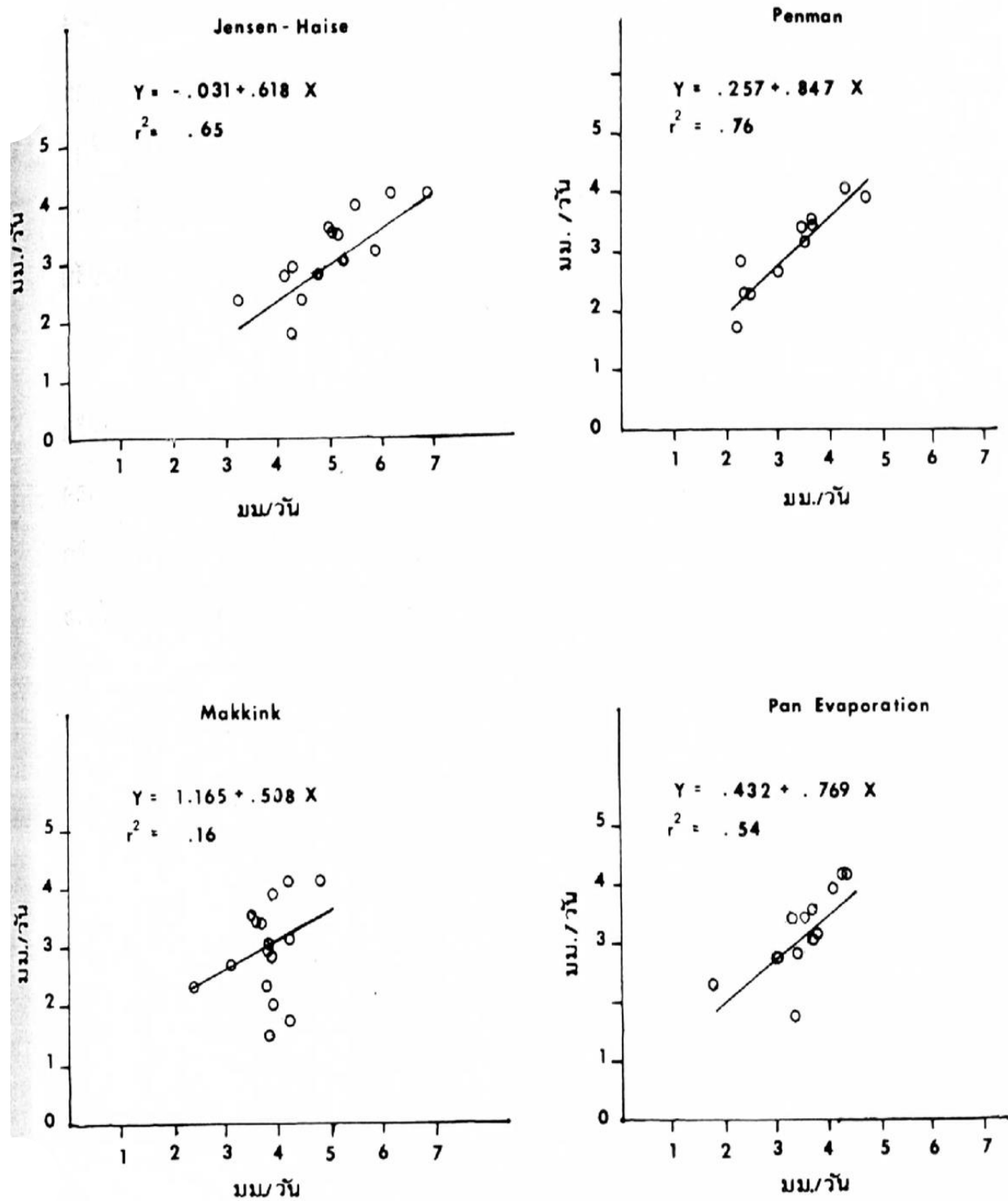
จากการเปรียบเทียบ PET ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยเกษตรแบบต่าง ๆ กับ PET ที่ได้จากการตรวจวัดจากถัง Lysimeter (Drainage type) พบว่าวิธีของ Penman ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้รับการตรวจวัดโดยตรง และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นค่อนข้างสูง ($r = 0.80$) ทั้งนี้ ก็เพราะว่าวิธีการของ Penman นั้นอาศัยพื้นฐานทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการระเหยน้ำมาจัดตั้งเป็นสมการ แต่ข้อจำกัดในการใช้สมการของ Penman ในการคำนวณค่า PET ก็คือต้องการข้อมูลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยเกษตร หลายอย่างซึ่งในบางท้องที่อาจจะหาข้อมูลได้ไม่ครบ

วิธี Pan evaporation นั้นให้ค่า PET ที่ใกล้เคียงกับวิธีตรง รองจากวิธีของ Penman และให้ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นค่อนข้างสูง ($r = 0.75$) จึงน่าจะนำมาใช้ในการประมาณ PET เพราะว่าการคำนวณไม่ยุ่งยากซับซ้อน และโดยส่วนใหญ่ข้อมูลน้ำระเหยประจำวันหาได้ง่ายมีการบันทึกต่อเนื่องกันมานานตามสถานีอุณหภูมิมหาวิทยาลัยเกษตร



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่า PET ที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ กับ Water Balance Meth





รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า PET ที่ได้จากคำนวณ (แกน X) และ Water balance method (แกน Y)

สำหรับวิธีของ Jensen-Haise นั้น แม้ว่าจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($r = 0.80$) แต่ค่า PET ที่ได้สูงกว่าของวิธีตรงมาก ทั้งนี้เพราะว่า สูตรนี้ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในเขตแห้งแล้ง และกึ่งแห้งแล้งทางภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกา (บุญธโรกุล 2526) เมื่อนำเอาสูตรนี้มาใช้ในแถบภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จึงทำให้ค่า PET ที่คำนวณได้สูงกว่าค่าที่ควรจะเป็น ดังนั้น จึงควรจะมีการปรับปรุงค่าคงที่ในสนามให้เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้

วิธีของ Makkink ส่วนใหญ่จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับวิธีตรง แต่ในช่วงหลังการทดลอง (17 พย. - 25 ธค.) ค่า PET ที่คำนวณได้จะสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีตรงเนื่องจากว่าช่วงเวลาดังกล่าวเป็นฤดูหนาว ข้อมูลความยาวนานของแสงแดดมีค่าสูง (ท้องฟ้าโปร่ง) ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณจึงให้ค่าที่สูงกว่าความเป็นจริง ดังจะสังเกตได้จากข้อมูลน้ำระเหยจากถาดระเหย (ตารางที่ 1)

เอกสารอ้างอิง

1. บุญยธโรกุล, วิบูลย์. (2526) หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
2. สุขเกษม, สิทธิพร. (2527) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประจำวัน ที่ได้จากการวัดโดยตรง การคำนวณและจากโมเดล.วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 43-52.
3. Frere,M.and Popov,G.F. (1979).Agrometeorological crop monitoring and forcasting. FOA., Rome.
4. Jensen,M.E. (1973). Consumptive use of water and irrigation water reguivements. American Socisty of Civil Engineers., New York.
5. Lomas,J.;Schlesinger,E.;and Lewin, J. (1974). Effects of environmental and crop factors on the evopotranspiration rate and water use efficiency of maize. *Agri. Met.*, 13 : 239 - 251.
6. Penman, H.L. (1956). Evaporation - An introductory survey. *Neth. J. Agr.Sci.*,4 : 9 - 29.
7. Rosenberg, N.J. (1970). Microclimate : The Biological Environ ment. John Willey & Sons., New York.