การคำนวณ ETo ของประเทศไทย โดยวิธี Penman-Monteith

*วราวุธ วุฒิวณิชย์**

บทคัดย่อ

จากการใช้สมการ Penman-Monteith ซึ่งเป็นสมการที่ FAO แนะนำให้ใช้สำหรับการคำนวณหาค่า ETo ของข้อมูลภูมิอากาศเกษตร ในคาบ 25 ปี (2512-2536) ของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 29 สถานี พบว่า ETo มีค่าเฉลี่ย 1,412 มม/ปี ค่าต่ำสุด 1,238 และค่าสูงสุด 1,683 มม/ปี ค่า ETo ที่คำนวณโดย Penman-Monteith มีค่าน้อยกว่าที่คำนวณโดยวิธี Modified Penman ประมาณ 19% ค่า Kp ซึ่งคำนวณจาก ETo (Panman-Monteith) และอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ A มีค่าเฉลี่ย 0.84 ซึ่งใกล้เคียงกับที่วิบูลย์ (2518) แนะนำไว้ คือ 0.85

คำนำ

Penman คือวิธีการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration หรือ Reference Crop Evapotranspiration) ซึ่งวิศวกรหรือผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการวางแผนหรือการจัดการโครงการชลประทานรู้จักกันดี สูตร Penman ได้พัฒนาขึ้นมาโดย H.L. Penman เมื่อ 48 ปีล่วงมาแล้ว (Penman. 1948) ข้อดีของสูตร Penman คือ ได้พิจารณาถึงผลของรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพันธ์ต่อค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จึงทำให้สูตร Penman เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าสามารถคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงได้ถูกต้องแม่นยำกว่าสูตรอื่นๆ

ในประเทศไทย Penman ถือว่าเป็นสูตรที่มีผู้นิยมใช้มากกว่าสูตรอื่น วิบูลย์ (2518) ได้ศึกษาเปรียบผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากสูตร Penman Thornthwaite, Blaney-Criddle และ Makkink กับค่าอัตราการระเหย วิบูลย์สรุปว่าค่า ETo ที่คำนวณจากสูตร Penman เหมาะกับประเทศไทยมากกว่าสูตรอื่น

การพัฒนาสูตร Penman

สูตร Penman ได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศต่างๆ และในช่วงเวลาต่างๆ FAO โดย Doorenbos, J. and W.O. Pruitt (1975, 1984) ได้เสนอสูตร Modified Penman ตั้งแต่ปี 1975 โดยจัดทำ

* รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

แม่นยำมากกว่าวิธีอื่น ๆ Amatya, D.M. and et al. (1995) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณ ETo ของ 6 วิธี คือ Penman-Montetith, Makkink, Priestley-Taylor, Turc, Hargreaves-Samani และ Thornthwaite โดยใช้ข้อมูลจาก 3 สถานี ใน North Carolina ซึ่งในการศึกษา Amatya and et al. ได้เลือกวิธี Penman-Monteith เป็นวิธีมาตราฐานในการเปรียบเทียบ ETo รายเดือน ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า ETo ที่คำนวณโดย Penman-Monteith มีค่าอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยของอีก 5 วิธีที่เหลือ

การเปรียบเทียบสูตร Penman

สูตร Penman มีสมการทั่วไปดังนี้

$$ETo = W (Rn - G) + (1 - W) f(u) (e_a - e_d) \quad -----(1)$$

เมื่อ

ETo = Potential Evapotranspiration มม./วัน
W = แฟ็กเตอร์ของอุณหภูมิ
Rn = รังสีอาทิตย์สุทธิที่ผิวโลกได้รับ = Rns-Rnl
Rns = รังสีอาทิตย์คลื่นสั้นสุทธิ
Rnl = รังสีอาทิตย์คลื่นยาวสุทธิ
G = Soil Heat Flux
f(u) = ฟังค์ชันของลม
e_a = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ย
e_d = ความดันไอจริง

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของสมการ Penman-Monteith กับสมการ Modified Penman และสมการ Penman ดั้งเดิม ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการ Penman-Monteith ใช้หน่วยของรังสีอาทิตย์ ความดันไอ และความเร็วลม ต่างออกไปจาก Modified Penman มีการปรับค่าแฟ็กเตอร์อุณหภูมิ (W) ใหม่ ใช้ฟังค์ชันความเร็วลม [f (u)] และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (α) ต่างจากสมการ Penman อื่น ๆ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณ ETo โดยใช้สูตร Penman

สูตร Penman ใช้ข้อมูลมาก ทำให้การคำนวณด้วยมือยุ่งยากและเสียเวลา จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่า ETo โดยใช้สูตร Penman และสูตรอื่น ๆ อาทิ เช่น

- CROPWAT 5.5 ของ FAO ใช้สูตร Modified Penman (Smith,M., 1989)
- CROPWAT 5.7 ของ FAO ใช้สูตร Penman-Monteith (Smith,M., 1992)
- CRIWAR 2.0 ของ ILRI (Nether land) สามารถเลือกใช้ Modified Penman หรือ Penman-Monteith (Bos, M.G. and et al., 1996)
- REF-ET ของ USU (สหรัฐอเมริกา คำนวณ 8 วิธีเปรียบเทียบ (Allen, R.G., 1991)
- PENMAN-A วราวุธ. (2539a) ใช้สูตร Penman-Monteith
- PENMAN-C วราวุธ. (2539b) ใช้สูตร Penman-Monteith

โปรแกรม PENMAN-A และ PENMAN-C พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้คำนวณ ETo ตามวิธี Penman-Monteith โดยเลือกหญ้า (Grass) เป็นพืชอ้างอิง วิธีการคำนวณ ETo ในโปรแกรมทั้งสองมีหลักการเหมือนกัน แต่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลจากรายงานสถิติภูมิอากาศเกษตรของประเทศไทย (ดูตารางผนวกที่ 1) และจากรายงานสถิติภูมิอากาศของประเทศไทย (ดูตารางผนวกที่ 2) ของกรมอุตุนิยมวิทยาได้โดยตรงโดยไม่ต้องปรับค่า ก่อนป้อนเข้าโปรแกรม

PENMAN-A ถูกออกแบบสำหรับข้อมูลในรายงาน สถิติภูมิอากาศเกษตรของประเทศไทย ส่วน PENMAN-C สำหรับข้อมูลในรายงานภูมิอากาศของประเทศไทย

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของสมการ Penman-Monteith กับสมการ Penman อื่นๆ

	Penman ดั้งเดิม (Penman. 1948)	Modified Penman (Doorenbos,J. and W.O. Pruitt. 1984)	Penman - Monteith
W	$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ Δ = ความลาดชั้นของเส้นความดันไออิ่มตัว γ = Psychrometric constant = 0.27	W แปรผันตามอุณหภูมิและระดับความสูงของพื้นที่	$\frac{1}{\lambda}[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma (1 + 0.337 U_2)}]$ λ = 2.501 - 0.002361 *T T = อุณหภูมิเฉลี่ย, °C U_2 = ความเร็วลมที่ระดับ 2 ม. (ม./วินาที)
1-W	$\frac{\gamma}{\Delta + \gamma}$	(1-W) แปรผันตามอุณหภูมิและระดับความสูงของพื้นที่	$[\frac{\gamma}{\Delta + \gamma (1 + 0.337 U_2)}]$
Rns	$(1 - \alpha)(0.18 + 0.55 \frac{n}{N})$ Ra α = ส.ป.ส. การสะท้อน = 0.25 $\frac{n}{N}$ = สัดส่วนความยาวชั่วโมงกลางวันจริงต่อความยาวชั่วโมงกลางวันสูงสุด Ra = รังสีอาทิตย์ที่ขอบบนของบรรยากาศของโลก (มม./วัน)	$(1 - \alpha)(0.25 + 0.05 \frac{n}{N})$ Ra α = 0.25 Ra = (มม./วัน)	$(1 - \alpha)(0.25 + 0.05 \frac{n}{N})$ Ra α = 0.23 Ra = ($MJ/m^2./d$)

ตารางที่ 1 (ต่อ) การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของสมการ Penman-Monteith กับสมการ Penman อื่น ๆ

	Penman ดั้งเดิม (Penman. 1948)	Modified Penman (Doorenbos,J. and W.O. Pruitt. 1984)	Penman - Monteith
Rnl	$\delta T_k^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_d} * (0.1 + 0.9 \frac{n}{N})$ T_k = อุณหภูมิ °K e_d = ความดันไออิ่มตัว (มม.) **หน่วย** : มม/วัน	$\delta T_k^4 (0.34 - 0.044 \sqrt{e_d} * (0.1 + 0.9 \frac{n}{N})$ T_k = (°K) e_d = (มิลลิบาร์) **หน่วย** : มม./วัน	$2.45 \times 10^{-9} T_k^4 * (0.34 - 0.139 \sqrt{e_d}) * (0.1 + 0.9 \frac{n}{N})$ T_k = (°K) e_d = (KPa) **หน่วย** : ($MJ/m^2/d$)
G	-	-	$0.14 (T_i - T_{i-1})$ T_i, T_{i-1} = อุณหภูมิเฉลี่ย °C ของเดือน i และ i-1
f (u)	$0.35 (1 + 0.0098 U_2)$ U_2 (ไมล์/วัน)	$0.27 (1 + 0.01 U_2)$ U_2 (กม./วัน)	$(\frac{899.92}{T + 273.16}) U_2$ U_2 (ม./วินาที)

ทั้ง 2 โปรแกรมจะแปลงข้อมูลความเร็วลมที่ระดับต่าง ๆ เป็นความเร็วลมที่ 2 เมตร โดยใช้สมการ (ปฤษทัศน์. 2535)

$$U_2 = 1.1585z^{-0.19514} U_z \quad \text{--- (2)}$$

เมื่อ

U_2 = ความเร็วลมที่ระยะ 2 เมตรเหนือผิวดิน

U_z = ความเร็วลมที่ระยะ z เมตร

ในรายงาน ภูมิอากาศของประเทศไทย บางสถานีไม่ได้วัดความยาวชั่วโมงกลางวัน (n) ไว้ แต่สามารถคำนวณได้จากขีดความครึ้มของเมฆ (C_c) โดยใช้สูตร (ปฤษทัศน์. 2535)

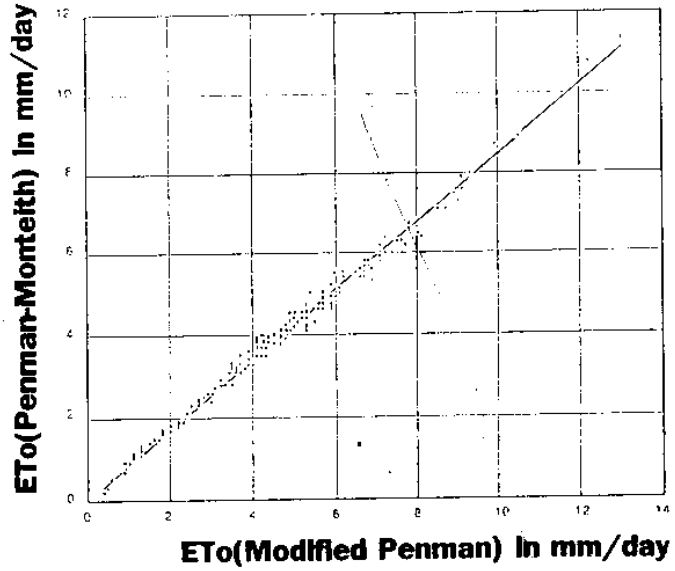
$$\frac{n}{N} = 0.592 + 0.088^* C_c + 0.013^* C_c^2 \quad \text{--- (3)}$$

เมื่อ C_c = ขีดความครึ้มของเมฆซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-10

ค่า ETo ที่ได้จากการรันโปรแกรม PENMAN-A โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศเกษตรของประเทศในคาบ 25 ปี ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศเกษตรจำนวน 29 สถานี แสดงอยู่ในตารางที่ 2 พบว่าค่า ETo เฉลี่ย 1,412 มม/ปี ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,238 และ 1,683 มม/ปี ผลการรันโปรแกรม PENMAN-C โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 30 ปี ของ 74 สถานี แสดงอยู่ในตารางที่ 3

การเปรียบเทียบผลการคำนวณ ETo โดยวิธี Penman

Bos, M.G. and et al. (1996) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการคำนวณ ETo โดยวิธี Modified Penman และวิธี Penman-Monteith โดยใช้ข้อมูลจาก 20 สถานีพบว่า ETo ที่คำนวณได้จากวิธี Penman-Monteith มีค่าน้อยกว่า ETo ที่คำนวณได้จากวิธี Modified Penman ประมาณ 18% หรือ อัตราส่วนระหว่าง ETo (Penman-Monteith) ต่อ ETo (Modified Penman) เท่ากับ 0.82 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบ ETo ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith กับวิธี Modified Penman (Bos, M.G. and et al., 1996)

ตารางที่ 2 ETo รายเดือนของ 29 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเกษตรของประเทศไทย (คำนวณโดยใช้โปรแกรม PENMAN-A โดยใช้ข้อมูลในรอบ 25 ปี 2512-2536)

(หน่วยเป็น มม.)

สถานี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
เชียงราย	75	88	118	137	139	116	112	112	107	101	81	71	1256
แม่โจ้	84	95	124	139	141	115	109	108	107	107	88	78	1294
น่าน	80	90	118	135	134	107	102	99	102	106	87	77	1238
ลำปาง	94	108	144	154	147	117	112	110	110	106	92	88	1383
ศรีสำโรง	94	106	144	164	153	125	122	115	111	112	100	92	1436
เลย	82	91	120	134	129	109	109	103	102	99	85	79	1242
นครพนม	97	103	131	139	134	110	114	105	112	109	100	94	1347
สกลนคร	96	102	133	139	133	111	115	106	111	113	103	95	1356
ท่าพระ	99	107	142	151	144	124	124	114	111	116	104	98	1435
ร้อยเอ็ด	106	109	159	153	151	124	130	118	118	116	109	104	1497
ศรีสะเกษ	105	108	141	148	147	125	129	121	115	115	111	106	1472
อุบลราชธานี	107	113	140	144	147	120	123	113	108	119	118	112	1464
สุรินทร์	97	104	133	141	142	121	123	118	112	112	102	95	1401
ปากช่อง	93	99	128	128	130	121	125	117	103	101	96	94	1336
ตากฟ้า	100	111	145	153	144	119	119	112	105	111	104	103	1427
ชัยนาท	118	129	172	179	172	148	146	134	124	126	119	116	1683
อู่ทอง	109	119	164	167	157	131	136	128	116	117	113	111	1567
บางเขน	108	117	147	149	137	120	121	116	113	110	107	105	1451
บางนา	111	118	151	154	140	121	122	118	111	114	109	107	1475
กำแพงแสน	105	117	155	160	147	123	129	121	113	114	107	106	1497
ฉะเชิงเทรา	121	127	151	158	142	121	127	116	113	109	118	117	1520
ห้วยโป่ง	113	112	141	140	126	109	115	111	102	108	109	117	1403
พลิ้ว	108	106	126	129	117	99	100	97	95	103	106	110	1297
หนองพลับ	110	116	149	146	130	108	114	106	104	101	98	105	1388
สวี	105	112	139	134	120	99	106	105	102	103	89	96	1310
นครศรีธรรมราช	109	117	140	132	122	120	123	127	116	106	94	94	1400
พัทลุง	123	126	148	145	133	125	132	134	124	115	98	101	1504
คอหงษ์	126	130	151	140	124	110	117	119	112	104	92	101	1424
ยะลา	112	126	148	141	132	117	124	124	121	114	94	93	1446
ค่าเฉลี่ย	103	111	141	146	138	118	120	115	110	110	101	99	1412
ค่าต่ำสุด	75	88	118	128	117	99	100	97	95	99	81	71	1238
ค่าสูงสุด	126	130	172	179	172	148	146	134	124	126	119	117	1683

ตารางที่ 3 ETo รายเดือนของ 74 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศของประเทศไทย (คำนวณโดยใช้โปรแกรม PENMAN-C โดยใช้ข้อมูลในรอบ 30 ปี 2504-2533)

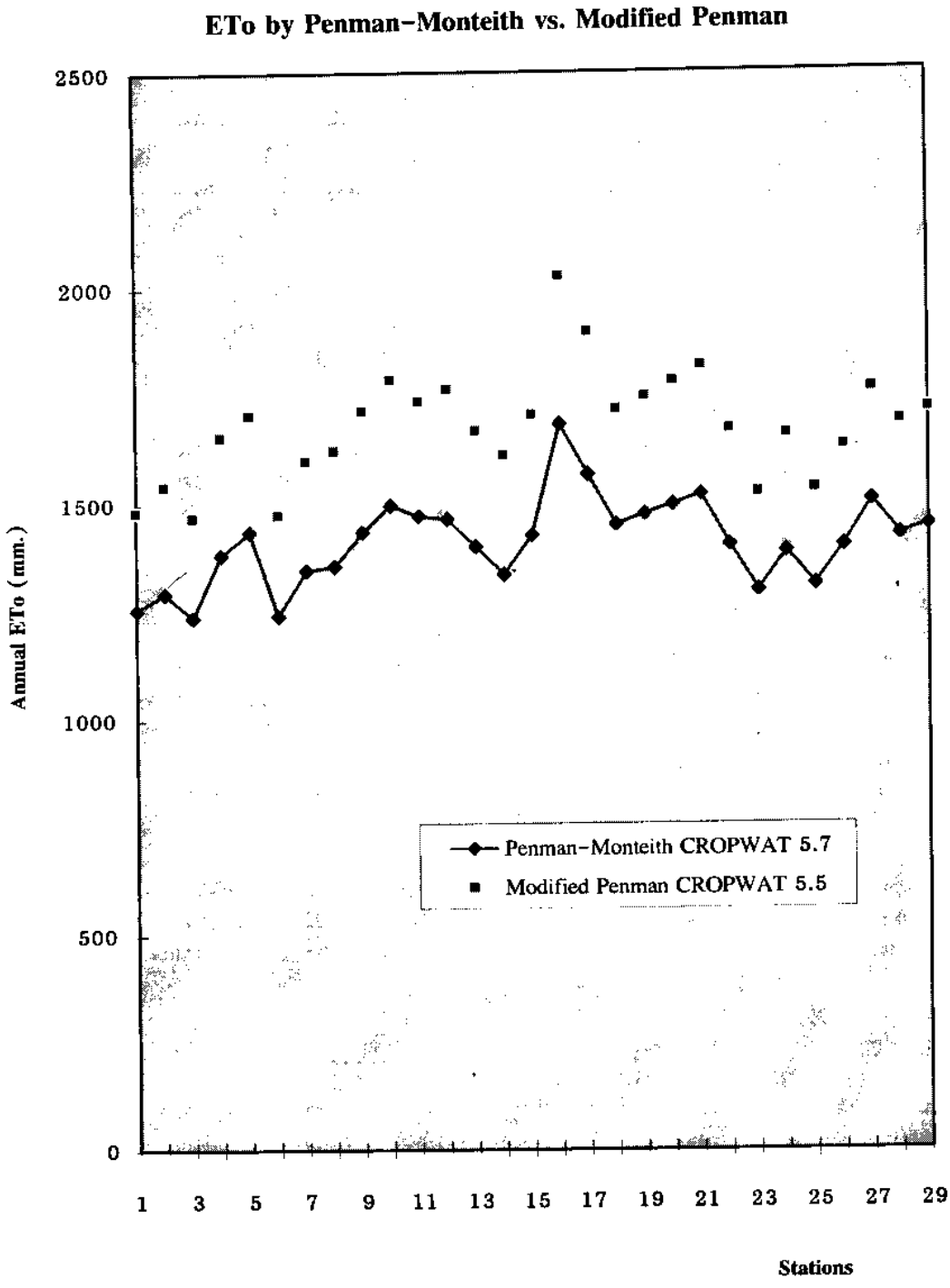
(หน่วยเป็น มม.)

สถานี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
แม่ฮ่องสอน	78	83	120	148	144	113	107	103	106	105	89	78	1274
แม่ละเรียง	83	88	126	152	144	108	103	99	103	107	93	83	1290
เชียงราย	73	83	119	140	141	125	121	116	113	107	85	73	1296
พะเยา	79	90	132	149	148	131	124	123	117	110	89	78	1369
เชียงใหม่	82	92	135	159	150	124	120	113	111	111	92	81	1372
ลำปาง	83	92	131	151	145	124	121	114	110	108	91	81	1350
ลำพูน	79	92	136	158	145	123	121	117	111	106	89	78	1353
แพร่	90	101	148	168	154	131	126	117	113	115	97	87	1446
น่าน	80	89	126	144	142	124	119	113	113	111	90	79	1330
ท่าวังผา	79	88	126	144	137	115	112	120	118	109	90	75	1313
อุตรดิตถ์	88	96	133	149	145	121	118	113	113	117	99	88	1379
ตาก	91	110	166	184	155	125	130	121	109	107	93	87	1477
แม่สอด	94	104	152	168	145	111	108	102	106	113	101	92	1397
เขื่อนภูมิพล	99	117	162	175	152	125	129	123	113	112	97	91	1494
อุ้มผาง	83	91	122	136	123	92	99	96	93	94	93	78	1200
พิษณุโลก	91	102	142	154	143	122	120	114	110	114	99	90	1400
เพชรบูรณ์	99	107	148	159	144	121	119	111	108	117	105	96	1434
หล่มสัก	91	101	131	146	139	116	117	118	113	113	98	87	1368
วิเชียรบุรี	102	120	155	168	151	127	127	128	118	121	110	99	1526
กำแพงเพชร	97	108	144	156	140	114	117	111	109	108	96	93	1393
หนองคาย	90	99	136	148	138	117	120	110	115	115	98	87	1374
เลย	89	100	139	150	143	126	128	121	115	115	95	86	1406
อุดรธานี	91	100	138	149	140	120	123	114	114	119	100	90	1399
สกลนคร	99	109	146	150	141	121	126	115	117	121	104	94	1444
นครพนม	97	103	139	146	139	115	118	110	115	118	103	94	1397
ขอนแก่น	94	103	142	152	145	128	129	120	114	118	102	94	1440
มุกดาหาร	105	112	150	153	140	120	124	111	113	123	114	104	1470
โกสุมพิสัย	89	97	130	149	144	124	119	113	114	113	98	86	1378
ชัยภูมิ	109	116	154	156	150	134	135	125	117	125	115	108	1546
ร้อยเอ็ด	103	109	146	150	141	126	128	118	114	121	108	102	1464
อุบลราชธานี	109	113	149	149	139	120	123	114	108	119	115	110	1467
นครราชสีมา	96	103	138	144	138	126	126	119	109	113	101	94	1406
โชคชัย	98	106	136	151	137	123	128	122	113	116	103	84	1417
สุรินทร์	105	111	148	150	140	122	121	115	109	116	107	103	1447
ท่าตูม	93	101	132	149	145	124	123	122	118	121	106	91	1425
นางรอง	100	107	137	151	149	130	135	128	124	121	107	94	1483
นครสวรรค์	108	127	178	184	161	139	133	122	113	117	106	100	1588
สุพรรณบุรี	114	120	161	167	155	139	137	128	117	121	113	113	1586
ลพบุรี	119	123	163	164	148	130	128	120	113	121	118	119	1564

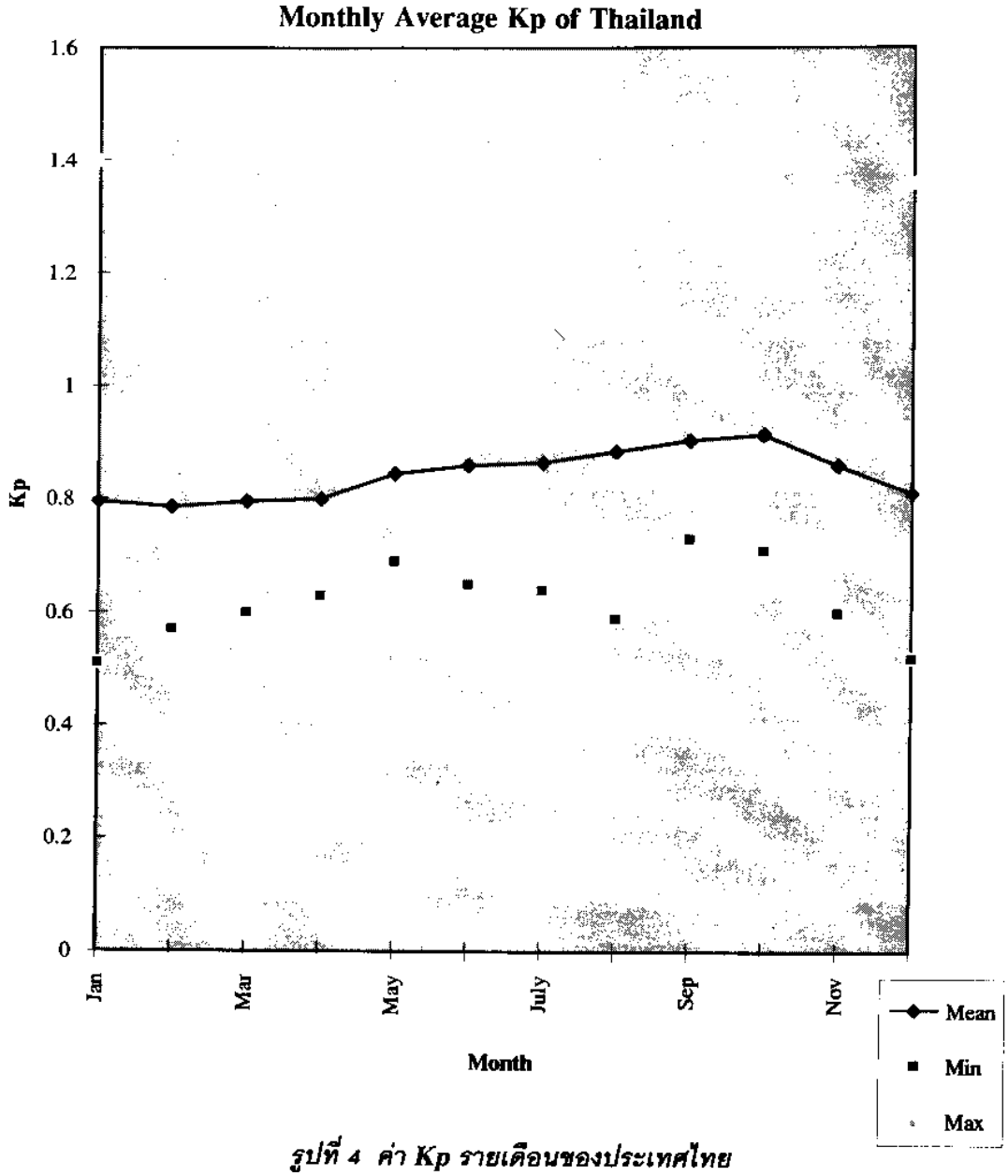
ตารางที่ 3 (ต่อ) ETo รายเดือนของ 74 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศของประเทศไทย (คำนวณโดยใช้โปรแกรม PENMAN-C โดยใช้ข้อมูลในรอบ 30 ปี 2504-2533)

(หน่วยเป็น มม.)

สถานี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
บัวชุม	112	117	151	161	143	118	119	116	108	116	108	98	1467
สถานีน่าร่อง	132	120	153	152	149	143	137	136	125	125	131	139	1642
กาญจนบุรี	109	118	157	164	149	127	130	124	114	115	108	107	1521
ทองผาภูมิ	92	99	129	143	132	101	107	95	102	106	97	85	1288
กรุงเทพฯ	107	106	136	136	127	115	116	111	100	103	99	100	1352
สนามบินดอนเมือง	121	125	158	157	145	134	134	129	116	119	115	117	1570
ปราจีนบุรี	120	119	84	110	136	118	121	114	112	124	121	120	1401
อรัญประเทศ	112	117	149	147	138	121	122	116	110	116	108	107	1463
กบินบุรี	105	114	140	147	129	109	114	108	103	115	112	105	1402
ชลบุรี	123	123	156	157	145	134	134	127	115	120	120	122	1576
เกาะสีชัง	129	123	157	158	151	141	141	136	119	123	130	136	1643
พัทยา	118	117	150	152	145	141	139	136	116	116	117	126	1575
สัตหีบ	117	118	152	155	148	143	143	136	114	109	113	120	1567
ระยอง	114	121	153	151	145	141	142	134	116	117	113	114	1563
จันทรบุรี	109	104	128	129	119	104	107	103	99	108	108	112	1330
คลองใหญ่	121	114	139	138	126	107	110	104	103	111	113	120	1406
เพชรบุรี	109	121	157	158	147	125	127	120	112	113	106	103	1499
ประจวบคีรีขันธ์	114	113	145	150	140	126	130	124	120	118	118	120	1517
หัวหิน	115	119	153	157	142	124	124	117	111	115	112	116	1506
ชุมพร	113	115	144	143	128	114	116	112	111	111	101	108	1416
สุราษฎร์ธานี	111	115	140	135	121	111	116	114	109	107	96	101	1374
สนามบินสุราษฎร์	115	120	148	140	123	117	125	119	114	109	100	107	1438
เกาะสมุย	121	124	150	145	137	132	137	134	126	118	103	112	1539
นครศรีธรรมราช	110	114	141	137	127	123	127	128	117	112	97	100	1433
สงขลา	135	134	153	142	128	121	127	128	121	112	102	115	1519
สนามบินหาดใหญ่	115	119	138	127	115	111	117	119	107	103	91	100	1362
สนามบินปัตตานี	118	118	141	136	123	113	119	121	114	109	96	101	1409
นราธิวาส	115	118	142	140	131	119	122	123	119	116	99	101	1444
ระนอง	119	118	146	140	121	104	108	102	100	106	103	113	1380
ตะกั่วป่า	120	120	145	135	122	115	118	120	110	111	105	116	1438
ภูเก็ต	135	133	157	145	129	123	125	129	117	117	113	127	1550
สนามบินภูเก็ต	129	129	150	135	120	117	120	121	110	108	106	119	1462
เกาะลันตา	135	131	152	142	127	126	127	130	116	115	109	125	1537
สนามบินตรัง	134	137	154	136	119	111	115	116	108	107	100	116	1454
สตูล	143	135	150	132	122	116	119	120	110	111	105	125	1489
ค่าเฉลี่ย	105	111	143	149	138	122	123	118	112	14	104	102	1442
ค่าต่ำสุด	73	83	84	110	115	92	99	95	93	94	85	73	1200
ค่าสูงสุด	143	137	178	184	161	143	143	136	126	125	131	139	1643



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบ ETo ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith และวิธี Modified Penman



รูปที่ 4 ค่า Kp รายเดือนของประเทศไทย

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย

อีกแนวทางหนึ่งในการประเมินค่า ETo คือการคำนวณจากอัตราการระเหย โดยใช้สูตร

$$ETo = Kp * Epan \quad \cdots\cdots (2)$$

เมื่อ Kp = ส.ป.ส. ของถาดจัดการระเหย

Epan = อัตราการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหย

จากการคำนวณค่า Kp โดยใช้ข้อมูล Epan ของถาดวัดการระเหยแบบ A จาก 29 สถานีตามรายงานภูมิอากาศเกษตร และ 68 สถานีตามรายงานภูมิอากาศของประเทศไทย และค่า ETo ในตารางที่ 2 และ 3 ได้ค่า Kp เฉลี่ยรายเดือน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของประเทศไทย ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Kp เฉลี่ยรายเดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.79-0.92 และมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.84 ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ วิบูลย์ (2518) ซึ่งกำหนดให้ Kp เท่ากับ 0.85

สำหรับโครงการที่อยู่ห่างไกลจากสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ และภูมิอากาศเกษตรของกรมอุตุนิยมวิทยา สามารถติดตั้งถาดวัดการระเหยแบบ A และคำนวณ ETo เองได้โดยใช้ค่า Kp ดังกล่าว

สรุป

ปัจจุบัน FAO แนะนำให้ใช้สูตร Penman-Monteith สำหรับการคำนวณ ETo พร้อมพัฒนาโปรแกรม CROPWAT 5.7 สำหรับช่วยในการคำนวณ ETo และใช้ในการวางแผนการชลประทาน เมื่อนำสูตร Penman-Monteith มาคำนวณ ETo ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศเกษตร ของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 29 สถานี เปรียบกับการคำนวณ ETo โดยใช้สูตร Modified Penman พบว่า สูตร Penman-Monteith ให้ค่า ETo ต่ำกว่าสูตร Modified Penman ประมาณ 19%

การวิเคราะห์ Kp รายเดือนของ 29 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเกษตรพบว่า Kp รายเดือนมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.79-0.92 และมีค่าเฉลี่ยรวม 0.84 ซึ่งใกล้เคียงกับที่วิบูลย์ (2518) แนะนำไว้

เอกสารอ้างอิง

1. ฉลอง เกิดพิทักษ์. การจัดการลุ่มน้ำในประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2527.

2. ปฤษทัศน์ คีตะปัน์ย์. การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ CROPWAT ในการวางโครงการชลประทานและการจัดสรรน้ำในประเทศไทย. โครงการวิศวกรรมที่ 10/2534. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 2535.

3. วิบูลย์ บุญยธโรกุล. การหา Potential Evapotranspiration ในประเทศไทย โดยสูตรซึ่งใช้ข้อมูลภูมิอากาศ. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ ฉบับที่ 1 ปีที่ 9. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 26-34.

4. วราวุธ วุฒิวณิชย์. โปรแกรม PENMAN-A สำหรับคำนวณ ETo โดยใช้ข้อมูลจากรายงานภูมิอากาศเกษตรของประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. 2539(a)

5. วราวุธ วุฒิวณิชย์. โปรแกรม PENMAN-C สำหรับคำนวณ ETo โดยใช้ข้อมูลจากรายงานภูมิอากาศของประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. 2539(b)

6. Allen, R.G., REF-ET : Reference Evapotranspiration Calaulator Version 2.1, Dept. of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, USA, 1991.

7. Amatya, D.M., Skaggs, R.W. and J.D. Gregory, Comparison of Methods for Estimating REF-ET., Journal of Irrigation and Drainage Engineering, November-December 1995, P.427-345.

8. Bos, M.G., J. Vos and R.A. Feddes, CRIWAR 2.0-A Simulation Model on Crop Irrigation Water Requirements, ILRI publication 46, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherland, 1996.

9. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt, Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No.24, FAO, Rome, 1975, 1984.

10. Monteith, J.L. (1965), Evaporation and the environment, Proceeding, The State and Movement of Water in Living Organisms, XIX th Symposium, Soc.for Exp. Biol., Swansea, Cambridge Univ. Press, New York. P. 205-234.

11. Penman, H.L. (1948), Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass, Proc., Royal Soc., London, U.K., A 193, P. 120-146.

12. Smith, M., Manual for CROPWAT Version 5.5, FAO, Rome, 1989.

13. Smith, M., CROPWAT-A Computer Program for Irrigation Planning and Management, FAO Irrigation and Drainage Paper No.46, FAO, Rome, 1992.

14. Smith, M., Climwat for CROPWAT-A Climate Database for Irrigation Planning and Management, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 49, FAO, Rome, 1993.