

การหา Potential Evapotranspiration ในประเทศไทย

โดยสูตรซึ่งใช้ข้อมูลภูมิอากาศ

Estimation of Potential Evapotranspiration in Thailand by Using Formulas Based on Climatological Data

วิบูลย์ บุญยธโรกุล

Wiboon Boonyatharokul

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ABSTRACT

The monthly potential evapotranspiration of 19 provinces in various parts of Thailand was estimated by using formulas based on climatological data. These values were compared with those obtained from Class-A pan evaporation multiplied by 0.85 which were assumed to represent the actual potential evapotranspiration. It was found from this study that the Penman's formula provided the best estimation. The Makkink's formula was usually underestimated. This formula, however, can be improved to suit the climatic conditions in Thailand by adjusting the constant 0.61 and 0.12 in the formula. The Thornthwaite's and Blaney-Criddle's formulas, which base on temperature alone, provided poor estimation.

ปริมาณการใช้น้ำของพืช เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ผู้
ออกแบบระบบการชลประทาน และโครงการชลประ
ทานจำเป็นต้องทราบ เพราะข้อมูลดังกล่าวนี้จะเข้า
มาเกี่ยวข้องกับปริมาณและความถี่ในการให้น้ำ การ
ออกแบบขนาดอาคารชลประทาน การจัดหาน้ำมาให้
กับโครงการชลประทาน ตลอดจนการศึกษาว่าโครงการ
ชลประทานนั้นจะให้ผลคุ้มค่าหรือไม่ด้วย

ปริมาณการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิด อาจวัดได้โดย
ตรง โดยใช้ Lysimeter ผลที่ได้จากการวัดซึ่งถึงแม้ว่า
จะให้ความละเอียดถูกต้องดี แต่ก็ไม่สามารถนำไปใช้
ในพื้นที่เพาะปลูกแห่งอื่นซึ่งมีสภาพแวดล้อมต่าง
กันออกไปได้ ตรงกันข้ามกับ potential evapotranspira-
tion ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างจะคงที่กับการใช้น้ำ
ของพืช ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ตลอดอายุของ

มัน กล่าวคือ เราอาจหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่
จังหวัดใดจังหวัดหนึ่ง ได้โดยการคูณ potential eva-
potranspiration ของจังหวัดนั้นด้วย crop coefficient
ซึ่งมีค่าเท่ากันทุก ๆ จังหวัด

วัตถุประสงค์ในการศึกษานี้ ก็เพื่อเปรียบเทียบค่า
potential evapotranspiration ที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ
ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันและมีอยู่ในตำราทางชลประทาน
หลายเล่ม (2,3,4) และที่คำนวณได้จาก Class A pan
ว่าสูตรใดจะเป็นสูตรที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของ
ประเทศไทยมากที่สุด สูตรที่นำมาศึกษาก็มี Thornth-
waite Method, Blaney-Griddle Method, Makkink
Method และ Penman Method

สำหรับข้อมูลที่น่ามาศึกษานั้น ได้เลือกจากสถิติ
อากาศประจำถิ่นของกรมอุตุนิยมวิทยา (1) ที่มีข้อมูล

หรือหาข้อมูลจากแหล่งอื่นมาสมทบจนครบได้ รวม 19 จังหวัด

วิธีการ

Potential evapotranspiration เป็นปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีพืชปกคลุมอยู่อย่างทั่วถึงดินมีความชื้นอย่างพอเพียงกับความต้องการของพืชตลอดเวลา และพื้นที่เพาะปลูกนั้นกว้างใหญ่พอที่จะไม่ทำให้การระเหยและการคายน้ำต้องกระทบกระเทือนจากแรงภายนอก เช่น การพัดผ่านของลมที่แห้งและร้อน หรือจากสาเหตุอื่นด้วย

Potential evapotranspiration ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์ (solar radiation) อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ฯลฯ และเนื่องจากว่าองค์ประกอบเหล่านี้ต่างก็มีผลต่อการระเหยจากผิวดินการระเหยเช่นเดียวกัน ดังนั้น จากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้น้ำของพืชกับการระเหยจากผิวดินการระเหย จึงปรากฏว่า ค่าทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง (6) ในการศึกษาครั้งนี้จึงสมมุติว่าค่า potential evapotranspiration ที่ถูกต้องนั้นหาได้โดยการคูณ pan evaporation ด้วย 0.85 และพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้โดยวิธีต่าง ๆ กับค่าดังกล่าวนี้

Thornthwaite Method วิธีนี้ Thornthwaite ได้ศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชในภาคกลางและภาคตะวันออกของสหรัฐอเมริกา และได้หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนกับ potential evapotranspiration ไว้ในรูปของสมการ

$$E_T = 1.60 L_d \left(\frac{10T}{I} \right)^a \dots \dots \dots (1)$$

โดย E_T = potential evapotranspiration ที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 30 วัน เป็นเซนติเมตร

L_d = ความยาวของชั่วโมงกลางวันซึ่งบอกเป็นจำนวนเท่าของ 12 ชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ซึ่งคิดว่ามี 30 วัน

T = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือน เป็นองศาเซนติเกรด

I = heat index ซึ่งเท่ากับผลรวมของ heat index i ประจำเดือนตลอดปี

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{และ } I = \sum_{j=1}^{12} i_j \dots \dots \dots (3)$$

$$a = 0.000,000,675 I^3 - 0.000,077,1 I^2 + 0.017,92 I + 0.49239 \dots \dots \dots (4)$$

ค่า potential evapotranspiration ที่หาได้นี้เป็นค่าสำหรับเดือนที่มี 30 วัน สำหรับเดือนที่มีมากกว่าหรือน้อยกว่า 30 วัน จะหาได้โดยการคูณจำนวนวันเข้ากับค่าที่หาได้แล้ว ทารด้วย 30 ก็จะได้ potential evapotranspiration สำหรับเดือนนั้นตามต้องการ

Blaney-Criddle Method ในปี ค.ศ. 1942 Blaney และ Morin ได้เสนอสูตรสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวของชั่วโมงกลางวันเป็นข้อมูลที่ต้องการ แต่เนื่องจากว่าในสมัยนั้นมีการวัดความชื้นสัมพัทธ์กันน้อยมาก ต่อมาในปี ค.ศ. 1950 Blaney และ Griddle จึงได้ดัดแปลงสูตรดังกล่าวเสียใหม่ โดยตัดเอาความชื้นสัมพัทธ์ออกจากสูตรเดิม สูตรนี้ภายหลังรู้จักกันดีว่าเป็นสูตรของ Blaney และ Griddle คือ

$$u = k.f = k. \frac{t.p}{100} \dots \dots \dots (5)$$

u = ปริมาณการใช้น้ำของพืชประจำเดือน เป็นนิ้ว

k = monthly crop coefficient

= 1 ถ้าเป็น potential evapotranspiration

t = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนเป็นองศาฟาเรนไฮต์

p = เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันของเดือนนั้นในระยะเวลา 1 ปี

Makkink Method สูตรของ Makkink นั้นต่างกับที่ได้กล่าวมาแล้ว ตรงที่ว่าเขาได้นำเอารังสีอาทิตย์ (solar radiation) เข้ามาใช้ สูตรนี้ได้คิดขึ้นจากการวัด potential evapotranspiration ของหญ้าใน Lysimeter ที่ประเทศ Netherlands

$$E_T = 0.61 Q \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - 0.12 \dots\dots\dots (6)$$

E_T = potential evapotranspiration เป็น มม./วัน

Q = รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้รับ (incoming solar radiation) ซึ่งแปลงให้เป็นปริมาณน้ำที่ระเหยไป เป็น มม./วัน ถ้าหากไม่มีการวัดไว้ ก็อาจจะคำนวณหาได้จากสูตร

$$Q = Q_A (0.18 + 0.55 n/N) \dots\dots\dots (7)$$

Q_A = Angot's value หรือเป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่ แปลงให้เป็นความลึกของน้ำเป็น มม./วัน

n = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริง

N = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ในเวลานั้น

สำหรับประเทศไทย ไพฑูรย์ พะลายะสุต (5) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน n/N เป็นเปอร์เซ็นต์ ถ้าจำนวนขีดความครึ้มของเมฆ ซึ่งมี scale ตั้งแต่ 0 ถึง 8 ไว้ในรูปของสมการ

$$S = \frac{n}{N} \times 100 = 74.5 + 9.5C_c - 2.0 C_c^2 \dots\dots (8)$$

C_c = ขีดความครึ้มของเมฆ ซึ่งวัดตั้งแต่ 0 ถึง 8

Δ = ความลาดเทของกราฟของความดันไอน้ำอิ่มตัว (saturated vapor pressure) กับอุณหภูมิที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย

γ = psychrometric constant

Penman Method ในปี 1948 Penman ได้เสนอสูตรซึ่งได้รวมเอาพลังงานที่ก่อให้เกิดการระเหยไว้ด้วยกัน พลังงานดังกล่าวนี้คือพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ และพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลม สูตรนี้คือ

$$E_T = \frac{\Delta Q_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \dots\dots\dots (9)$$

โดย E_T = potential evapotranspiration มม./วัน

Q_n = รังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ (net solar radiation) ซึ่งแปลงให้เป็นความลึกของน้ำที่ระเหยไปเป็น มม./วัน

ในกรณีที่ไม่มีกรวัดรังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ไว้ ค่านี้อาจจะประมาณหาได้จากสูตร

$$Q_n = Q_A (1 - r) (0.18 + 0.55 n/N) - \sigma T^4 (0.56 - 0.0797 \sqrt{e_d}) (0.10 + 0.90 n/N) \dots\dots\dots (10)$$

r = สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน (reflection coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนออกไป ต่อรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวของวัตถุนั้น

Penman ใช้ค่า $r = 0.05$ สำหรับผิวน้ำ 0.10 สำหรับดินเปียก

ตารางที่ 1 รายชื่อจังหวัดที่ทำการศึกษา

ภาคกลาง	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคใต้
นครสวรรค์	เชียงใหม่	เลย	ชุมพร
สุพรรณบุรี	เชียงใหม่	ขอนแก่น	สงขลา
กาญจนบุรี	น่าน	นครราชสีมา	
กรุงเทพฯ	เชียงใหม่ พล ดาก	อุบลราชธานี	
จันทบุรี	พิษณุโลก	ร้อยเอ็ด	
		สุรินทร์	
		สกลนคร	

ที่ไม่มีพืชปกคลุมอยู่เลย และ 0.20
สำหรับพืชที่เขียวและสด
ในที่นี้ใช้ $r = 0.20$

- σ = Stefan - Boltzman constant
 T = absolute temperature ของอากาศ
 σT^4 = รังสีที่สะท้อนจากวัตถุที่มีผิวดำสนิท
 แปลงให้เป็นความลึกของน้ำเป็น
 มม./วัน
 e_d = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ย
 ของจุดน้ำค้าง (dew point) มีหน่วย
 เป็นมิลลิบาร์
 e_a = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ที่อุณหภูมิ
 เฉลี่ยของบรรยากาศ มีหน่วยเป็น
 มิลลิบาร์
 $e_d = (\text{ความชื้นสัมพัทธ์}) \times e_a$
 E_a = ปริมาณการระเหยของน้ำเนื่องจาก
 การเคลื่อนไหวของลม เป็น มม./วัน
 $E_a = 0.262 (e_d - e_a) (1 + 0.016 U_2) \dots (11)$
 U_2 = ความเร็วเฉลี่ยของลมที่ระดับเหนือ
 จากพื้นดิน 2 เมตร มีหน่วยเป็น
 กิโลเมตรต่อวัน

ถ้าหากไม่มีการวัดความเร็วของลมที่ระดับ 2 เมตร
 ไว้ ก็อาจดัดแปลงค่าที่วัดได้ ที่ระดับอื่นมาเป็นค่าที่
 ระดับ 2 เมตร ได้โดยใช้สูตร

$$U_2 = U_1 \frac{\log 2}{\log h} \dots (12)$$

U_1 = ความเร็วของลมเป็นกิโลเมตร ต่อ
 วันซึ่งวัดที่ระดับเหนือพื้นดิน h เมตร

ผลการเปรียบเทียบ

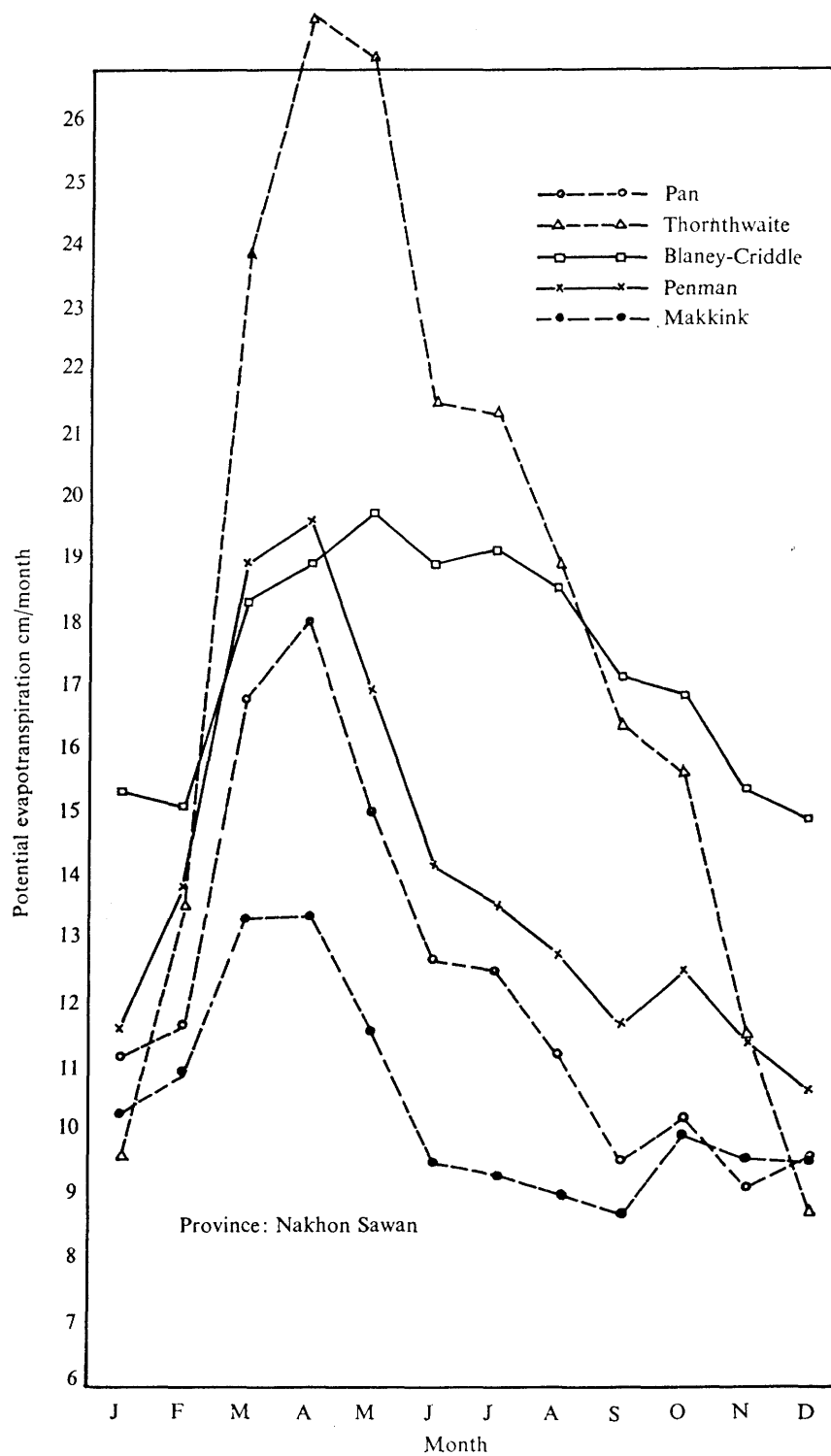
จากผลการคำนวณ potential evapotranspiration
 ด้วยสูตรทั้งสี่เมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้จาก Class-A pan
 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ถูกต้องแล้ว ปรากฏว่าสูตรของ Penman
 ดีที่สุด ที่ให้ความละเอียดถูกต้องรองลงมาคือสูตร
 ของ Makkink ส่วนสูตรของ Thornthwaite และ Bla-
 ney-Criddle นั้นให้ค่าสูงมากเกินไป

เหตุที่สูตรของ Penman ให้ค่าละเอียดถูกต้องดีก็
 เพราะสูตรนี้ได้นำเอาข้อมูล ภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับ
 การระเหยและคายน้ำทุกอย่างมาใช้ จึงทำให้สูตรนี้ใช้
 ได้ผลดีในทุกภาคของประเทศ อย่างไรก็ตามสูตรนี้ต้อง
 การข้อมูลมากและมีการคำนวณยุ่งยากกว่าสูตรอื่นๆ
 มาก

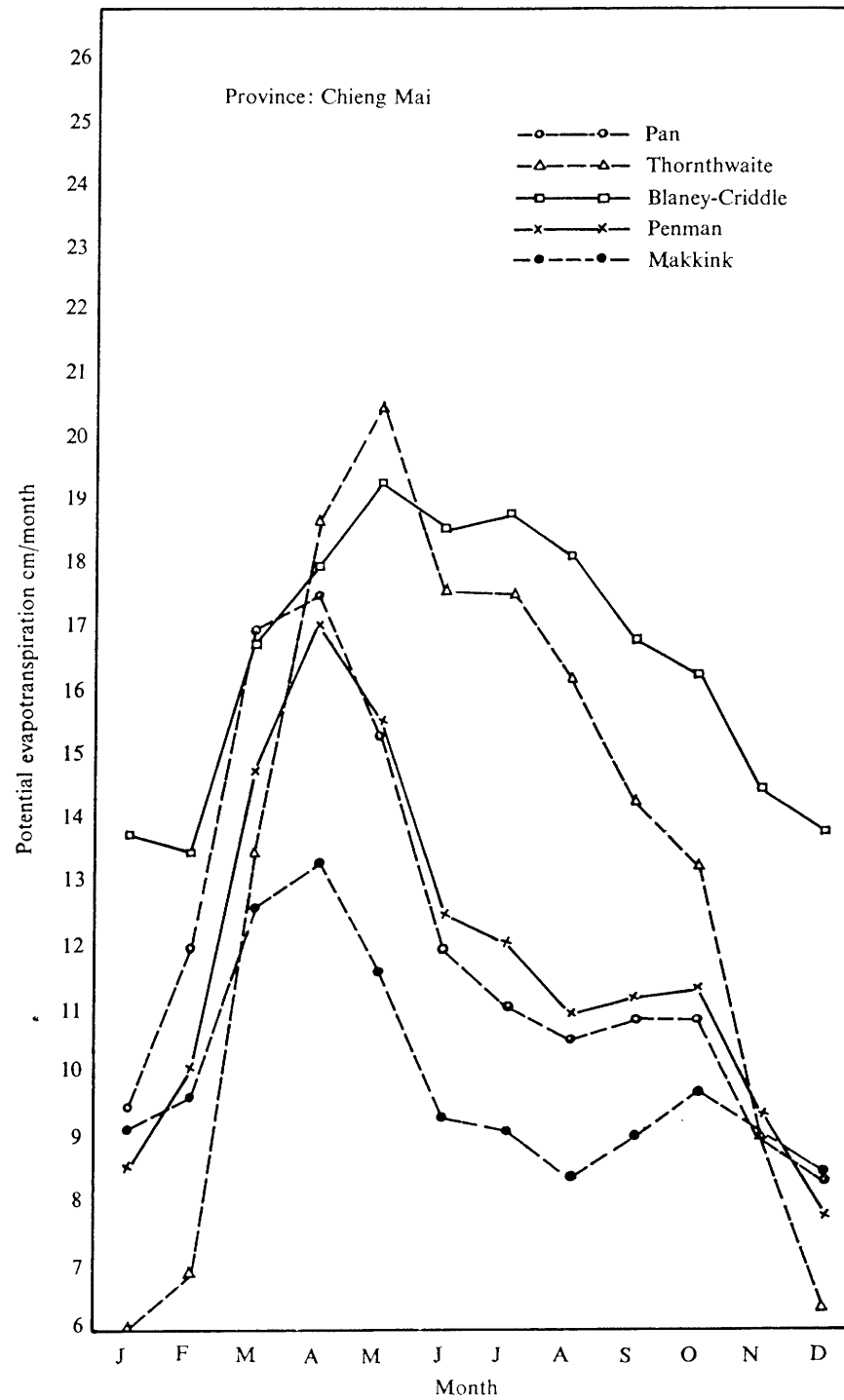
สำหรับสูตรของ Makkink ซึ่งนำเอารังสีอาทิตย์มา
 ใช้เช่นเดียวกับสูตรของ Penman แต่ไม่ได้นำเอา
 ความดันไอน้ำ และความเร็วลมมาคิด จึงทำให้มีจุด
 อ่อนอยู่บ้าง แต่พิจารณาจากลักษณะของกราฟแล้ว
 กราฟที่คำนวณได้โดยสูตรของ Makkink โดยทั่วไป
 จะเรียบแบบแต่อยู่ต่ำกว่ากราฟที่ได้จาก Class-A pan
 จุดอ่อนนี้อาจจะแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนค่า constant
 0.61 และ 0.12 เสียใหม่ให้เหมาะสมกับสภาพของประ-
 เทศไทย ก็จะทำให้สูตรนี้ให้ค่าถูกต้องดีขึ้น การ
 คำนวณก็ง่ายกว่าสูตรของ Penman มาก

สูตรของ Thornthwaite และ Blaney-Criddle ที่
 คำนวณได้ให้ค่า potential evapotranspiration สูงกว่าที่
 ได้จาก Class-A pan มากทุกจังหวัด ลักษณะของกราฟ
 ก็ไม่คล้ายคลึงกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะสูตรทั้งสองใช้
 อุณหภูมิเป็นข้อมูลเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิของบรร-
 ยากาศมิใช่เป็นสิ่งที่จะใช้บอกถึงปริมาณพลังงานความ
 ร้อนที่ใช้สำหรับการระเหยและคายน้ำอย่างถูกต้อง
 เพราะพลังงานที่ใช้ที่แท้จริงก็คือรังสีอาทิตย์ สูตรที่
 ใช้อุณหภูมิเป็นข้อมูลหลักเช่นสูตรของ Thornthwaite
 และ Blaney - Criddle จึงให้ความละเอียดถูกต้องสู้สูตร
 ที่นำเอารังสีอาทิตย์มาคิด เช่นสูตรของ Penman และ
 Makkink ไม่ได้

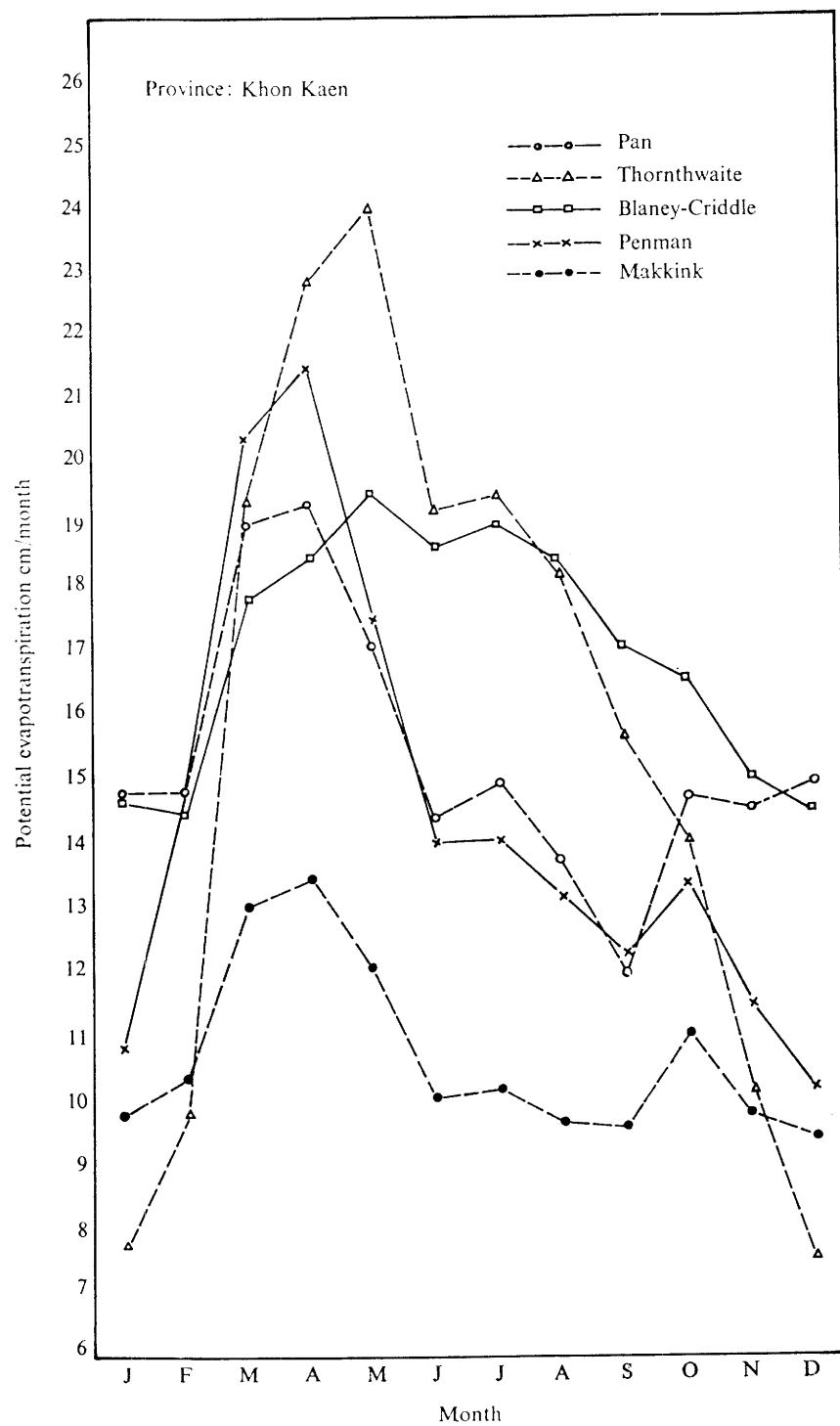
จากการศึกษาเปรียบเทียบสูตรสำหรับคำนวณ pot-
 ential evapotranspiration สำหรับจังหวัดต่าง ๆ รวม 19
 จังหวัดทั่วประเทศแล้ว ปรากฏว่า สูตรของ
 Penman ให้ค่าละเอียดถูกต้องดีที่สุด สูตรของ Makkink
 ให้ความถูกต้องรองลงมา แต่อาจปรับปรุงสูตรนี้ได้
 โดยการเปลี่ยนค่า constant 0.61 และ 0.12 ในสูตร
 เสียใหม่ ให้เหมาะสมกับสภาพของประเทศไทย สำหรับ



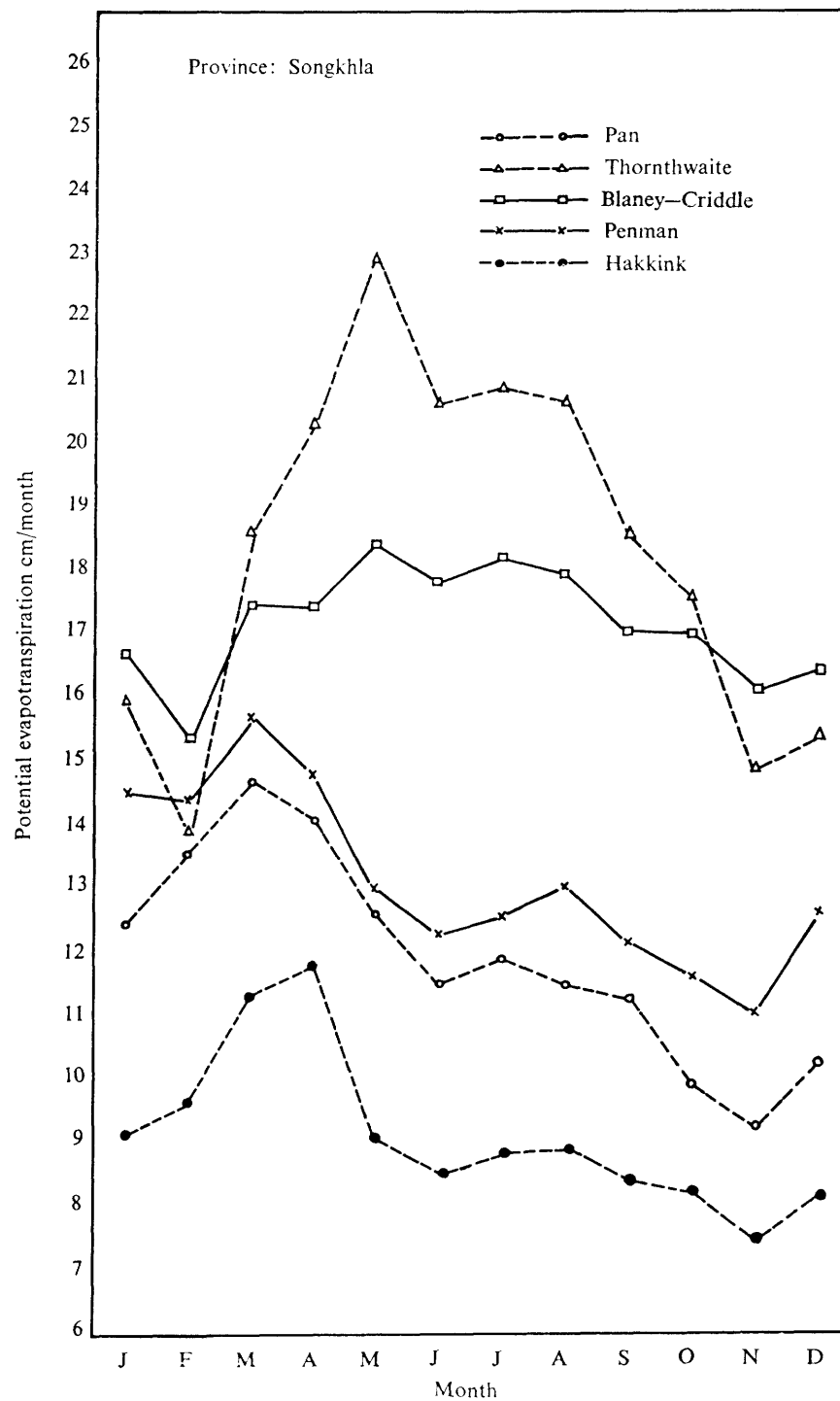
รูปที่ 1 เปรียบเทียบ potential evapotranspiration ที่คำนวณได้จากสูตรต่าง ๆ กับ pan evaporation X 0.85 ของ จังหวัดนครสวรรค์



รูปที่ 2 เปรียบเทียบ potential evapotranspiration ที่คำนวณได้จากสูตรต่าง ๆ กับ pan evaporation X 0.85 ของ จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 3 เปรียบเทียบ potential evapotranspiration ที่คำนวณได้จากสูตรต่าง ๆ กับ pan evaporation X 0.85 ของ จังหวัดขอนแก่น



รูปที่ 4 เปรียบเทียบ potential evapotranspiration ที่คำนวณได้จากสูตรต่าง ๆ กับ pan evaporation X 0.85 ของ จังหวัดสงขลา

สูตรของ Thornthwaite และ Blaney-Criddle นั้นให้
ความละเอียดถูกต้องน้อยกว่าสองสูตรแรก

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอุตุนิยมวิทยา 2515 สถิติอากาศประจำถิ่นของ
ประเทศไทยในคาบ 20 ปี (พ.ศ. 2494 --
2513) กองอากาศประจำถิ่น
2. CHANG, JEN-HU. 1968. Climate and agricul-
ture, an ecological survey. Aldine Pub-
lishing Company, Chicago.
3. ISRAELSEN, O.W. and V.E. HANSEN. 1962.
Irrigation principles and practices. Third
edition, John Wiley and Sons, Inc.
4. PAIR, C.H. (Editor-in-Chief). 1969. Sprink-
ler irrigation. Third edition, Sprinkler
Irrigation Association.
5. PALAYASOOT, PITOON. 1965. Estimation of
pan evaporation and potential evapotran-
spiration of rice in the central plain of
Thailand by using various formulas based
on climatological data, M.S. Thesis, De-
partment of Irrigation Engineering, Utah
State University.
6. Soil Conservation Service. 1964. National
engineering handbook section 15, irriga-
tion chapter 1 soil-plant-water relation-
ships. U.S. Department of Agriculture.