บทที่ 4

ความต้องการใช้น้ำของพืช

4.1 บทนำ

ปริมาณการใช้น้ำของพืช หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชดูดเอาไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต โดยการคายน้ำและรวมถึงปริมาณน้ำที่ระเหยไปจากผิวดินที่มีน้ำขังอยู่ด้วย ซึ่งปริมาณการใช้น้ำของพืชขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 ประการ คือ

(1) สภาพภูมิอากาศรอบ ๆ ต้นพืช ได้แก่ พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และความเร็วลม เป็นต้น

(2) พืช ได้แก่ ชนิดและอายุของพืช

(3) ดิน ได้แก่ เนื้อดิน ความชื้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และปริมาณเกลือในดิน เป็นต้น

(4) องค์ประกอบอื่นๆ เช่น วิธีการให้น้ำแก่พืช และความลึกที่ให้แต่ละครั้ง การไถพรวนดิน การคลุมดิน เป็นต้น

การคำนวณหาความต้องการใช้น้ำของพืชสามารถทำได้โดยการวัดในสนามโดยตรง หรือคำนวณ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในรูปของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญของการศึกษาความสมดุลน้ำในระบบชลประทาน แม้ว่าจะมีหน่วยงานราชการ เช่น กรมชลประทาน ได้ทำการศึกษาวิจัยหาความต้องการน้ำของพืชในและชนิดในช่วงเวลา ต่าง ๆ ที่สถานีค้นคว้าและวิจัยการใช้น้ำของพืชที่กระจายอยู่ในแต่ละภาคของประเทศ แต่ก็ไม่สามารถทำการศึกษาหรือทำการวิจัยได้ทุกพื้นที่ทั่วประเทศได้ จึงได้มีการนำความสัมพันธ์ที่ได้

การคิดค้น โดยนักวิจัยต่างประเทศมาประยุกต์หาอัตราการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยใช้ข้อมูลของสภาพ ภูมิอากาศแต่เพียงอย่างเดียว โดยใช้สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient, Kc) เป็นตัวปรับแก้ซึ่งตอบสนองต่อชนิดของพืชและช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืชในรูปของสมการที่ (1)

$$ETc_t = Kc_t.ETp_t \quad \text{..... (1)}$$

เมื่อ ETc_t = ความต้องการน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration) ที่สัปดาห์ t เป็น มม./สัปดาห์

Kc_t = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient) ที่สัปดาห์ t เป็น มม./สัปดาห์

ETp_t = อัตราการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (Reference Evapotranspiration) ที่สัปดาห์ t เป็น มม./สัปดาห์

ในที่นี้ได้พิจารณาความสัมพันธ์ที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในการคำนวณหาอัตราการใช้น้ำของพืชอ้างอิง 7 ความสัมพันธ์ ซึ่งมีใช้ในโปรแกรมที่ได้ศึกษาคือ

1.) โดยความสัมพันธ์ของ Hargreaves 1985
2.) โดยความสัมพันธ์ของ Penman - Monteith
3.) โดยความสัมพันธ์ของ Jensen - Haise
4.) โดยความสัมพันธ์ของ FAO-24 Pan Evaporation
5.) โดยความสัมพันธ์ของ Penman 1948
6.) โดยความสัมพันธ์ของ Penman A.M. Michael
7.) โดยความสัมพันธ์ของ Penman Doorenbos and Pruitt

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพืชและสภาพภูมิอากาศ

1.) <u>การหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดย ความสัมพันธ์ของ Hargreaves 1985</u>

วิธีนี้มีข้อได้เปรียบกว่าความสัมพันธ์อื่น ๆ เนื่องมาจากใช้ข้อมูลภูมิอากาศน้อย กล่าวคือ ต้องการเพียงค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเท่านั้น สำหรับจุดอ่อนของการใช้ความสัมพันธ์ Hargreaves ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง ค่าการระเหยน้ำคำนวณมาจากพืชที่ใช้หญ้าเป็นค่าพืชอ้างอิง (ET_p) ซึ่งที่คำนวณได้อาจจะต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีค่าน้อยมาก จนบางครั้งอาจได้ค่าใกล้เคียงศูนย์

ดังนั้น วิธีการคำนวณด้วยความสัมพันธ์ของ Hargreaves (สมการที่ 2) จึงอาจเรียกได้ว่าเป็นวิธีการของการใช้อุณหภูมิเป็นหลัก ผลการคำนวณจากการศึกษาของ Allen (1993) พบว่า ในกรณีที่คำนวณ ETp เฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 7 วัน หรือมากกว่า จะได้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงและเป็นที่ยอมรับได้

$$ET_o = 0.0023 R_a (T + 17.8) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad \text{.....} \quad (2)$$

เมื่อ ET_p = ศักยภาพอัตราการคายระเหยน้ำของพืชที่ใช้หญ้าเป็นพืชอ้างอิง (มม./วัน)

R_a = รังสีแสงอาทิตย์จากชั้นนอกบรรยากาศของโลก (มม./วัน)

T = อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (องศาเซลเซียส)

T_{max} = อุณหภูมิสูงสุดรายวัน (องศาเซลเซียส)

T_{min} = อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน (องศาเซลเซียส)

รังสีแสงอาทิตย์จากชั้นนอกบรรยากาศของโลกขึ้นอยู่กับวันของปี, ตำแหน่งของพื้นที่ ซึ่งอาจคำนวณได้จากสูตรข้างล่างนี้

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{sc}\, d_r \left[(\omega_s) \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \right] \quad ...(3)$$

เมื่อ

R_a = รังสีดวงอาทิตย์จากชั้นนอกบรรยากาศของโลกเป็นรายวัน (แคลอรี่/ตร.ซม./วัน)

ϕ = เส้นรุ้งของตำแหน่งพื้นที่ (เรเดียน)

δ = ความเอียงของดวงอาทิตย์ (เรเดียน)

d_r = ระยะห่างสัมพัทธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

ω_s = มุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ (เรเดียน)

G_{sc} = ค่าคงที่ (1.959 แคลอรี่/ตร.ซม./นาที)

ความเอียงของดวงอาทิตย์ (δ) ระยะทางสัมพัทธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ (d_r) และมุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ (w_s) สามารถคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\delta = 0.4093 \sin\left(\frac{2\pi(284+J)}{365}\right) \quad \text{..... (4)}$$

เมื่อ J = Julian day (1 - 366, เมื่อ 1 คือวันที่ 1 มกราคม)

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right) \quad \text{..... (5)}$$

$$\omega = \cos^{-1}\left(-\tan(\phi)\tan(\delta)\right) \quad \text{..... (6)}$$

และ R_a สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ มม./วัน โดยการหารด้วย $\lambda_{T(day)}/10$ เมื่อ

$\lambda_{T(day)} = 597.3 - 0.564T$

T = อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (องศาเซลเซียส)

2.) <u>การหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยความสัมพันธ์ของ Penman - Monteith</u>

เป็นสมการที่ต้องใช้ตัวแปรภูมิอากาศมากแต่ให้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ที่มีนี้มีจุดอ่อนในการหาข้อมูลที่ต้องการมากกว่ารังสีและอุณหภูมิ ซึ่งความสัมพันธ์ในสมการที่ 7 เป็นการดัดแปลงและปรับปรุงโดยแนะนำจาก Smith et. al. (1991)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อเป็นตัวแทนในการประมาณหาค่าอัตราการคายระเหยน้ำของพืชที่ใช้หญ้าเป็นพืชอ้างอิง ตามที่ FAO แนะนำ คือ

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{..... (7)}$$

เมื่อ R_n = รังสีแสงอาทิตย์สุทธิทั้งหมดที่ผิวพืช (เมกะจูล/ตร.ม./วัน)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad \text{..... (8)}$$

R_{ns} = รังสีคลื่นสั้น (เมกะจูล/ตร.ม./วัน)

R_{nl} = รังสีคลื่นยาว (เมกะจูล/ตร.ม./วัน)

$$R_{ns} = 0.77\left(0.25 + 0.50\frac{n}{N}\right)R_a \quad \text{..... (9)}$$

$$R_{nl} = -2.45 \times 10^{-9}\left(0.9\frac{n}{N} + 0.1\right)\left(0.34 - 0.14\sqrt{e_d}\right)\left(T_{kx}^4 + T_{kn}^4\right) \quad \text{..... (10)}$$

เมื่อ

T_{kx} = อุณหภูมิสูงสุดรายวัน (เคลวิล)

T_{kn} = อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน (เคลวิล)

e_d = ค่าเฉลี่ยความดันไอจริงรายวัน (กิโลปาสคาล)

e_a = ค่าเฉลี่ยความดันไออิ่มตัวรายวัน (กิโลปาสคาล)

G = ความร้อนที่แผ่มาจากดิน (เมกะจูล/ตร.ม./วัน)

G คำนวณมาจาก

$$G = 0.38(T_{dayi} - T_{dayi-1}) \quad \text{..... (11)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ T_{dayi} = อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (องศาเซลเซียส)

T_{dayi-1} = อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในสามวันที่ผ่านมา (องศาเซลเซียส)

T = อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 2 ม. จากพื้นดิน (องศาเซลเซียส)

U_2 = ความเร็วลมที่ 2 ม. จากพื้นดิน (ม./วินาที)

Δ = ความลาดของกราฟความดันไอ (กิโลปาสคาล/องศาเซลเซียส)

$$\Delta = \frac{4098e_a}{(T+237.3)^2} \quad \text{..... (12)}$$

เมื่อ γ = ค่าคงที่ psychrometric (กิโลปาสคาล/องศาเซลเซียส) ซึ่งคำนวณมาจาก

$$\gamma = 0.00163\frac{P}{\lambda} \quad \text{..... (13)}$$

P = ค่าแรงดันบรรยายกาศเฉลี่ย (กิโลปาสคาล) ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของพื้นที่

3.) <u>การหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยความสัมพันธ์ของ Jensen - Haise</u>

ความสัมพันธ์ของ Jensen - Haise เป็นประมาณหาค่าการคายน้ำของพืชที่ใช้ Alfalfa เป็นพืชอ้างอิง แสดงได้ดังสมการที่ (14)

$$ET_r = C_t(T_a - T_x)R_s \quad \text{.....}$$

(14)

Et_r = อัตราการคายระเหยน้ำของ Alfalfa (มม./วัน)

C_t = ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ

T_a = ค่าอุณหภูมิ เป็น องศาเซลเซียส

T_X = ค่าจุดตัดบนแกนอุณหภูมิ

R_S = Incident solar radiation (แคลอรี/ตร.ซม./วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าของ C_t = 0.025 และค่า T_x =-3 หรืออาจหามาจากสูตร

$$C_t = \frac{1}{C_1 + C_2 C_H} \quad \text{..... (15)}$$

และ

$$C_H = \frac{50}{(e_2 - e_1)} \quad \text{..... (16)}$$

$$C_1 = 38 - \frac{2(Ele)}{305} \quad \text{..... (17)}$$

$$C_2 = 7.3$$

เมื่อ e_1, e_2 = ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด และ

$$T_X = -2.5 - 0.14(e_2 - e_1) - \frac{Ele}{550} \quad \text{..... (18)}$$

$$e = \exp\left(\frac{19.08T + 429.4}{T + 237.3}\right) \quad \text{..... (19)}$$

Ele = ค่าระดับความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (เมตร)

T = ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

พลังงานแสงอาทิตย์ (R_S) คำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$R_s = \left(0.25 + \frac{0.5n}{N}\right) R_a \quad \text{..... (20)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ n = จำนวนชั่วโมงแสงแดดจริงใน 1 วัน

N = ศักยภาพของจำนวนชั่วโมงที่จะสามารถรับแสงแดดได้ใน 1 วัน โดยประมาณมาจากค่า ω

$$N = \frac{24\omega}{\pi} \quad \text{.....(21)}$$

เนื่องจากค่าการคายการระเหยของพืชคำนวนมาจาก Alfalfa ดังนั้นเพื่อให้เป็นอัตราการระเหยของหญ้าประเภทเดียวกันกับความสัมพันธ์อื่น ๆ จึงปรับค่า ET_r ในสมการที่ (14) จึงได้อัตราการคายระเหยของพืชอ้างอิงคือ หญ้า ดังแสดงในสมการที่ (22)

$$ET_p = 0.80\ ET_r \quad \text{.....(22)}$$

ET_r = อัตราการคายระเหยของ Alfalfa (มม./วัน) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ (22) ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ ความสูงและช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของ Alfalfa และตัวแปรท้องถิ่นอื่น ๆ ซึ่งจะมีค่าประมาณ 0.80

4) <u>การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี FAO-24 Pan Evaporation</u>

ความสัมพันธ์ดังกล่าวให้ผลที่ดี ถ้ามีข้อมูลที่มีคุณภาพเพียงพอ และสถานีวัดอัตราการระเหยได้รับการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี สมการที่ได้พัฒนาและนำเสนอโดย FAO มีดังนี้

$$ET_p = k_p E_{pan} \quad \text{.....(23)}$$

ET_p = อัตราการคายระเหยของน้ำโดยใช้หญ้าเป็นพืชอ้างอิง (มม.)

Et_{pan} = อัตราการระเหยวัดจากถาด Class "A" Pan (มม.)

k_p = ค่าสัมประสิทธิคำนวณจากสมการที่ 23

$$k_p = 0.18 - 0.000331U_2 + 0.0422\ln(Fetch) + 0.143\ln(RH_{mean}) - 0.00063(\ln(Fetch))^2 * \ln(Rh_{mean}) \quad \text{.....(24)}$$

เมื่อ U_2 = ความเร็วลม ณ ความสูง 2 ม. จากพื้นดิน (กม./วัน)

RH_{mean}= ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)

Fetch = ระยะพืชปกคลุมมาจากสถานีตรวจวัดอากาศ (ม.)

ความสัมพันธ์นี้จะใช้ได้เมื่อมีเงื่อนไขดังนี้

$30 \leq RH_{mean} \leq 84$ %

$1 \leq$ Fetch ≤ 1000 m

$84 \leq U_2 \leq 700$ km day^{-1}

5.) <u>การหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยความสัมพันธ์ของ Penman</u>

5.1) ความสัมพันธ์ของ Penman จากหนังสือ CONSUMPTIVE USE OF WATER AND IRRIGATION WATER REQUIREMENT BY ASCE

ในปี 1948 Penman ได้เสนอความสัมพันธ์ซึ่งรวมเอาพลังงานที่ก่อให้เกิดการระเหยไว้ด้วยกัน พลังงานดังกล่าวนี้คือพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์และพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของอากาศ (Aerodynamic)

$$ET_p = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}(R_n+G)+\frac{\gamma}{\Delta+\gamma}(15.36)(1.0+0.0062U_2)(e_z^0-e_z) \quad \text{..... (25)}$$

ETp = อัตราการคายระเหยน้ำของพืชที่ใช้หญ้าเป็นพืชอ้างอิง (มม./วัน)

Δ = ความลาดเทของกราฟของความดันไออิ่มตัว (Saturated vapour pressure) (มิลลิบาร์/องศาเซลเซียส)

γ = ค่าคงที่ Psychromatic (มิลลิบาร์/องศาเซลเซียส) คือการสมดุลย์ระหว่างความร้อนที่รู้สึกได้ซึ่งได้รับจากดวงอาทิตย์ไหลผ่านเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและความ ร้อนที่รู้สึกได้แปลงรูปเป็นความร้อนแฝง

$$\gamma = \frac{C_p \times P}{0.622\lambda} \quad \text{..... (26)}$$

C_p = 0.240

P = ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)

λ = ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนแปลงไอน้ำ

λ = 595 - 0.51T

T = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (เซลเซียส)

R_n = รังสีแสงแดดสุทธิ (แคลอรี่/ตร.ซม./วัน)

G = ปริมาณความร้อนในดินเฉลี่ย (แคลอรี่/ตร.ซม./วัน) ปริมาณความร้อนในดินโดยประมาณในช่วงระยะเวลายาวนาน ซึ่งหาได้โดยกำหนดว่าอุณหภูมิของดินระยะลึก 2 เมตร เปลี่ยนแปลงโดยประมาณตามอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยและความจุความร้อนโดยปริมาณเฉลี่ย ซึ่งสำหรับดินคือ 0.5 / ลบ.ซม./องศาเซลเซียส

$$G = \frac{(T_{i-1} - T_{i+1})100}{\Delta_t} \quad \text{..... (27)}$$

Δ_t = จำนวนวันระหว่างจุดกลางของช่วง 2 ช่วง ในกรณีนี้ใช้ค่า t คือ 60 วัน

U_2 = ความเร็วของลมเฉลี่ยสูงจากพื้นดิน 2 เมตร ถ้าหากไม่มีการวัดความเร็วของลมที่ระดับ 2 เมตร ไว้ ก็อาจแปลงค่าที่วัดได้ในระดับอื่นมาเป็นค่าที่ระดับ 2 เมตร ได้โดยใช้สมการ

$$U_2 = U_z \frac{(2)^{0.2}}{Z} \quad \text{..... (28)}$$

U_z = ความเร็วของลมเป็นกิโลเมตรต่อวัน ที่ระดับเหนือพื้นดิน Z เมตร

$(e_z^0 - e_z)$ = การลดความดันไอ (มิลลิบาร์)

e_z^0 = แรงดันไออิ่มตัวของบรรยายกาศ (มิลลิบาร์) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย

e_z = แรงดันไอจริง (มิลลิบาร์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2) Modified Penman Formula จากหนังสือ Irrigation Theory and Practice ของ A.M. Michael

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\left[R_A(1-\alpha)\left(0.25+\frac{0.5n}{N}\right)-6T_A^4\left(0.34-0.44\sqrt{e_d}\right)\left(0.1+\frac{0.9n}{N}\right)\right] + \left[\left(1-\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\right)(0.27)(1+0.01U_2)(e_a-e_d)\right] \quad \text{..... (29)}$$

ET_o = ค่าอัตราการคายระเหยน้ำเมื่อใช้หญ้าเป็นพืชอ้างอิง (มม./วัน)

Δ = อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไออิ่มตัวต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียส

γ = ค่าคงที่ psychrometric (มม./วัน)

R_A = รังสีอาทิตย์จากภายนอกโลก (มม./วัน)

α = สัมประสิทธิการสะท้อน (= 0.25)

$\frac{n}{N}$ = เปอร์เซนต์ชั่วโมงที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ต่อศักยภาพของชั่วโมงที่มีดวงอาทิตย์

= $74.5+9.5C_c-2.0C_c^2$ where C_c = ความครึ้ม

σ = ค่าคงที่ Stephan-Boltzman emmissivity

= 11.71×10^{-8} แคลลอรี่/ซม.^{2}/วัน/เคลวิน^4

T_A = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (เคลวิล)

e_a = แรงดันไออิ่มตัวของบรรยากาศเป็นมิลิบาร์ ที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (เซลเซียส)

e_d = แรงดันไอจริงของอากาศ (มิลลิบาร์)

U_2 = ความเร็วลม (กม./วัน) ที่ระดับ 2 ม. จากพื้นดิน

= $U_1\frac{\log 6.6}{\log h} = 0.82\frac{U_1}{\log h}$ เมื่อ h = ความสูงของแกนวัดความเร็วลมเป็นฟุต

เมื่อ U_1 ความเร็วลมที่ความสูง h (กม./วัน)

5.3) ความสัมพันธ์ของ Penman จากหนังสือ FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER No. 24

ความสัมพันธ์ของ Modified Penman ตามวิธีของ Doorenbos และ Pruitt (1975) ประกอบด้วยเทอมสองเทอม เทอมแรกมีความเกี่ยวพันกับพลังงานรังสี และเทอมที่สองเกี่ยวพันกับกระแสลมและความชื้น ในท้องที่ที่อากาศสงบเทอมที่สองจะมีความสำคัญน้อยกว่าเทอมแรก แต่ถ้าท้องถิ่นมีลมแรงจัดเทอมที่สองจะเพิ่มความสำคัญมากขึ้น

$$ET_p = c\left[W \times R_n + (1-W) f(U)\left(e_a - e_d\right)\right] \quad \text{..... (30)}$$

radiation + aerodynamic term

term

ET_p = ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงเป็น มม./วัน

W = แฟคเตอร์ที่ใช้ในการปรับแก้เกี่ยวกับรังสีแสงแดด

R_n = ปริมาณรังสีสุทธิเทียบเป็นอัตราการระเหยมีหน่วยเป็น มม./วัน

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

R_{ns} = การแผ่รังสีคลื่นสั้นสุทธิเทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ มม./วัน

R_{nl} = การแผ่รังสีคลื่นยาวสุทธิเทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ มม./วัน

$R_{ns} = (1-\alpha)R_s$

α = สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพืช ใช้ 0.25

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

n = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริง (ชั่วโมง)

N = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลานั้น (ชั่วโมง)

R_a = รังสีอาทิตย์ที่มาถึงผิวยอดของบรรยากาศเทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ มม./วัน

$$R_{nl} = f(T) * f\left(e_d\right) * f\left(n/N\right) \quad \text{..... (31)}$$

$f(U)$ = ฟังก์ชั่นของกระแสลม

$f(U) = 0.27\left(1+\frac{U}{100}\right)$

U = ความเร็วลมรายวัน กม./วัน วัดที่ความสูง 2.00 ม. หากวัดความเร็วลมที่ระดับต่าง ๆ จะต้องปรับแก้ใช้เหมือนสูตรที่ (27)

e_a = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ย T องศาเซลเซียส (มิลลิบาร์)

e_d = ความดันของไอน้ำจริงของอุณหภูมิเฉลี่ย T องศาเซลเซียส (มิลลิบาร์)

$= \frac{e_a \times RH_{mean}}{100}$

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

c = แฟคเตอร์ปรับแก้เพื่อชดเชยอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศในตอนกลางคืนและตอนกลางวัน

จากความสัมพันธ์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น กรมชลประทานได้ใช้ความสัมพันธ์ของ Modified Penman ของสมการที่ 30 ซึ่งให้ผลดีกว่าสัมพันธ์อื่น ๆ เพราะเป็นสัมพันธ์ที่ได้นำเอาข้อมูลภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับการคายระเหยน้ำทุกอย่างมาใช้ จึงทำให้สัมพันธ์นี้มีความละเอียดถูกต้องและสามารถใช้ได้ผลดีกับทุกภาคของประเทศไทย

4.3 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบอัตรการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง

การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง เป็นปัจจัยที่สำคัญในการคำนวณหาความต้องการใช้น้ำของพืชและความต้องการใช้น้ำชลประทาน วิธีการที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือการใช้ความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศ ตำแหน่งและความสูงของพื้นที่ รวมถึงพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคำนวณหาอัตราการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้ได้มีนักวิจัยได้พัฒนาและหน่วยงานหลัก เช่น กรมชลประทาน ได้นำมาใช้รวมทั้งสิ้น 7 ความสัมพันธ์ โดยมีการเรียกความสัมพันธ์นั้น ตามผู้คิดค้นดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.2

การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง เป็นปัจจัยที่สำคัญในการคำนวณหาความต้องการใช้น้ำของพืช การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบอัตราการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง จึงได้แบ่งการพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ การเลือกความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศและอื่นๆ ที่เหมาะสมจาก 7 ความสัมพันธ์ และการเลือกใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและอื่นๆ เพื่อใช้กับพื้นที่โครงการฯ นครนายก

4.3.1 การเปรียบเทียบอัตราการคายระเหยน้ำของพืช

การเลือกความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศและอื่นๆ ได้พิจารณาใน 7 ความสัมพันธ์ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยเปรียบเทียบกับอัตราการใช้น้ำของน้ำของข้างที่วัดได้จากถัง Lysimeter จากฤดูแล้ง ซึ่งจากข้อมูลของกรมชลประทานมีเพียงข้อมูลของการใช้น้ำของข้าวที่วัดจากถัง Lysimeter จากสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานของพืช อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมชลประทาน) ในปี พ.ศ. 2522 และ พ.ศ. 2523 เท่านั้น จึงได้ใช้ข้อมูลการการใช้น้ำของข้าวดังกล่าว เป็นดัชนีในการเปรียบเทียบกับการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศและอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและื่อนๆ จากสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานของพืช อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี และจากสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอเมืองสุพรรณี(กรมอุตุนิยมวิทยา) ผลการศึกษาได้แสดงในตาราง 4 - 1

จากตาราง 4 - 1 จะเห็นได้ว่าค่า ETp ที่เกิดจากการคำนวณด้วยสภาพภูมิอากาศและอื่นๆ จากสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานของพืชอำเภอสามชุก (กรมชลประทาน) นั้น ความสัมพันธ์ของ Penman 1984 จะได้ค่า ETp ใกล้เคียงกับการใช้น้ำของข้าว ที่ได้จากการวัดด้วยถัง Lysimeter มากที่สุด สำหรับผลการคำรวณที่ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและอื่นๆ ของสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอเมืองสุพรรณบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา) พบว่าความสัมพันธ์ของ Penman Doorenbos and Pruitt จะให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากถัง Lysimeter มากที่สุด และเมื่อใช้แฟคเตอร์ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ของข้าว (Kc) ปรับแก้ค่า ETp ที่คำนวณจากความสัมพันธ์ต่างๆ และแปรเปลี่ยนไปตามสภาพภูมิอากาศแล้ว ค่า Kc ที่คำนวณจากความสัมพันธ์ Penman 1948 โดยใช้ข้อมูลอากาศและอื่นๆ ของกรมชลประทานจะมีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากกว่าความสัมพันธ์อื่นๆ กล่าวคือ อยู่ระหว่าง 1.13 - 1.15 ดังตาราง 4 - 2 สำหรับค่า Kc ที่คำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศสุพรรณบุรี โดย

ใช้ความสัมพันธ์ของ Penman Doorenbos and Pruitt จะให้ค่าอยู่ระหว่าง 1.23 - 1.28 ดังตาราง 4-3

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาและวิเคราะห์ในเชิงเปรียบเทียบค่า ETp จากทั้ง 2 สถานี ใน 7 ความสัมพันธ์ ที่ใช้ในการคำนวณ จากข้อมูลในสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอเมืองสุพรรณบุรี และสถานีทดลองการใช้น้ำของพืชอำเภอสามชุก ดังแสดงในตาราง 4 - 4 และ 4 - 5

สถานีตรวจวัดอากาศที่จังหวัดสุพรรณบุรี (พ.ศ. 2522 - พ.ศ. 2538)

ผลการคำนวณหาค่า ETp เฉลี่ยทั้งปีจากความสัมพันธ์ทั้ง 7 ความสัมพันธ์ พบว่าค่า ETp เฉลี่ยทั้งปีจากความสัมพันธ์ของ Penman Doorenbos and Pruitt ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 150.9 มม./เดือน และค่า ETp เฉลี่ยทั้งปีจากความสัมพันธ์ของ Penman - Montieth ให้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 132.8 มม./เดือน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน (ดังตาราง 4 - 4) คือ

- ค่า ETp เฉลี่ยทั้งปีจากความสัมพันธ์ของ Penman - Montieth , Jensen - Haise และ FAO - 24 Pan Evaporation มีค่าใกล้เคียงกันคือ 132.8,134.8 และ 133.8 มม./เดือนหรือมีค่าต่างกันไม่เกิน 2.0 มม./เดือน

- ค่า ETp เฉลี่ยทั้งปีจากความสัมพันธ์ของ Hagreaves 1985 , Penman 1948 , Penman A.M. Michael และ Penman Doorenbos and Pruitt มีค่าใกล้เคียงกันคือ 141.4 , 141.2 , 148.4 , 150.9 มม./เดือน ตามลำดับ หรือมีค่าต่างกันไม่เกิน 10.0 มม./เดือน

สถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานของพืชสุพรรณบุรี (พ.ศ. 2532 - พ.ศ. 2537)

ผลการคำนวณหาค่า ETp จากความสัมพันธ์ทั้ง 7 สมการในแต่ละเดือน ที่แสดงในตาราง 4 - 5 มีค่าต่างกัน ค่า ETp เฉลี่ยทั้งปีของความสัมพันธ์ Jensen - Haise ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 226.2 มม. /เดือน และค่า ETp ของความสัมพันธ์ Penman - Montieth ให้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 142.2 มม. /เดือน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- ค่า ETp เฉลี่ย สูงอยู่ระหว่าง 215.7 - 226.2 มม. /เดือน ได้จากความสัมพันธ์ Penman 1948 , Jensen - Haise

- ค่า ETp เฉลี่ย ปานกลาง ได้แก่ ค่า ETp ที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ Penman A.M. Michael ซึ่งมีค่า 159.5 มม./เดือน

- ค่า ETp เฉลี่ย ต่ำอยู่ระหว่าง 142.2 - 142.6 มม./เดือน ได้จากความสัมพันธ์ของ Penman Montieth , Penman A.M Michael และ Penman Doorenbos and Pruitt

จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างผลการคำนวณค่า ETp รายเดือนจากสมการต่างๆ ไม่มีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกันอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างการใช้ตัวแปรในการคำนวณในความสัมพันธ์ ดังแสดงในตาราง 4 - 6 เช่น ความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Jensen - Haise จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) ค่าสัมประสิทธิ์ของสถานีตรวจวัดอากาศบริเวณนั้นด้วย สมการของ Hargreaves ค่า ETp จะตอบสนองต่ออุณหภูมิที่มีความชุ่มชื้นสูงได้น้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในแถบภูมิอากาศเดียวกับประเทศไทย (Allen , 1990) และสมการของ FAO - 24 Pan จะต้องมีการวัดระยะที่พืชสีเขียวปกคลุมห่างจากสถานีวัดอากาศอย่างแท้จริง ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งในสมการนี้ด้วย และโดยทั่วไปข้อมูลภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จะมีสถานีตรวจวัดอยู่ครอบคลุมทั่วประเทศไทยมากกว่าสถานีตรวจวัดอากาศของกรมชลประทาน หรือหน่วยงานอื่น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา กับความสัมพันธ์ของ Penman Doorenbos and Pruitt

4.3.2 การใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

จากการพิจารณาอัตราการคายระเหยน้ำของพืชที่คำนวณจากความสัมพันธ์ต่างๆ สรุปได้ว่า ในกรณีที่ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่วัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยานั้น ความสัมพันธ์ของ Penman Doorenbos and Pruitt ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการใช้น้ำของข้าวที่วัดจากถัง Lysimeter มากที่สุด จึงได้ใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวคำนวณหาอัตราการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงจากสถานีตรวจวัดอากาศบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่โครงการฯ นครนายก คือ สถานีตรวจวัดอากาศ

กรุงเทพฯ สถานีตรวจวัดอากาศปราจีนบุรี สถานีตรวจวัดอากาศนครราชสีมา ดังแสดงในตาราง 4 - 7 ซึ่งสรุปได้ว่า

สถานี	ETp (มม./เดือน)
นครราชสีมา	162.4
กรุงเทพฯ	132.5
ปราจีนบุรี	139.2
นครนายก (ดิเรก , 2526)	140.9

ในกรณีของการคำนวณหาความต้องการใช้น้ำของพืชในพื้นที่จังหวัดนครนายกนั้นสามารถคำนวณหามาจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำของพืช (ETp) คูณด้วยสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) แต่เนื่องจากไม่มีสถานีตรวจวัดอากาศของจังหวัดนครนายกโดยตรง จึงจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่ใกล้เคียงที่มีการบันทึก ในที่นี้ได้พิจารณาเลือกสถานีตรวจวัดอากาศปราจีนบุรี กรุงเทพฯ และสถานีตรวจวัดอากาศนครราชสีมา สำหรับในการศึกษานี้ ซึ่งจากการศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมทั้ง 3 สถานี สรุปได้ว่าข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศปราจีนบุรีมีความเหมาะสมในการคำนวณหาอัตราการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ETp) ในเขตพื้นที่จังหวัดนครนายกมากกว่าข้อมูลภูมิอากาศสถานีอื่นๆ เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1) เมื่อพิจารณาตัวแปรสำหรับการคำนวณค่า ETp จะเห็นได้ว่าค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ (Ra) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นที่ของสถานีตรวจวัดอากาศ ซึ่งสถานีตรวจวัดอากาศปราจีนบุรี และพื้นที่ของจังหวัดนครนายกอยู่ไม่ห่างจากกันมากนัก ดังจะเห็นได้จาก Latitude และ Longitude ของแต่ละสถานีดังนี้

	นครนายก	ปราจีนบุรี	กรุงเทพฯ	นครราชสีมา
Latitude	14° 12' N	14° 03' N	14° 44' N	15° 00' N
Longitude	101° 13' E	101° 22' E	100° 34' E	102° 05' E

2) ระดับความสูงของพื้นที่การเกษตรของพื้นที่ในจังหวัดนครนายกมีระดับสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางใกล้เคียงกับระดับของสถานีวัดอากาศปราจีนบุรี มากกว่าสถานีตรวจวัดอากาศอื่นๆ กล่าวคือ

นครนายก	ปราจีนบุรี	กรุงเทพฯ	นครราชสีมา
4.0 ม.	5.0 ม.	2.0 ม.	187.0 ม.

จากเหตุผลทางด้านตัวแปรต่อการคำนวณค่า ETp ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาความคล้ายคลึงของสถานีพื้นที่โดยรอบของพื้นที่ทางการเกษตร และสภาพภูมิอากาศจะเห็นว่าจังหวัดปราจีนบุรีมีสภาพพื้นที่และสภาพแวดล้อมเป็นที่ราบทุ่งนา และถูกจัดให้อยู่ในภูมิภาคทางอุทกวิทยา (ภาคตะวันออก) เดียวกับจังหวัดนครนายก ซึ่งแตกต่างจากสภาพพื้นที่โดยรอบของสถานีตรวจอากาศนครราชสีมา สุพรรณบุรี และกรุงเทพฯ

จากเหตุผลดังกล่าวมา ในกรณีการใช้ข้อมูลของสถานีตรวจวัดอากาศที่วัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยาควรใช้ข้อมูลจาก สถานีตรวจวัดอากาศปราจีนบุรี เพื่อนำมาใช้ในพื้นที่จังหวัดนครนายก ซึ่งสมการของ Penman Doorenbos and Pruitt มีความเหมาะสมมากกว่าความสัมพันธ์อื่นๆ

4.4 สรุปผลการวิเคราะห์การหาความต้องการใช้น้ำและสภาพภูมิอากาศ

เนื่องจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศ มีหน่วยงานหลักที่เก็บรวบรวมข้อมูลอยู่คือกรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา และการหาค่าความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยข้อมูลสภาพทางภูมิอากาศก็มีอยู่หลายความสัมพันธ์ ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่มีการตรวจวัดไว้ทั้งสองหน่วยงาน คือ สถานีจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งมีการวัดอัตราการใช้น้ำของข้าวด้วย Lysimeter ในปี พ.ศ.2522 และปี พ.ศ.2523 โดยสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานของพืชสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี

ผลการสอบเปรียบเทียบ สรุปได้ว่าค่า ETp ที่เกิดจากการคำนวณด้วยข้อมูลของสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานของพืชสามชุก (กรมชลประทาน) นั้น ความสัมพันธ์ของ Penman 1948 จะให้ค่า ETp ใกล้เคียงกับค่า ETp ที่ได้จากการวัดด้วย Lysimeter มากที่สุด

สำหรับผลการคำนวณที่ใช้ข้อมูลภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ความสัมพันธ์ของ Penman Doorenbos and Pruitt จะให้ค่าใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ความสัมพันธ์ของ Penman Doorenbos and Pruitt ทดสอบค่า ETp สถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียงกับจังหวัดนครนายกคือ สถานีตรวจวัดอากาศนครราชสีมา สถานีตรวจวัดอากาศปราจีนบุรี และสถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพฯ

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศปราจีนบุรี มีความเหมาะสมในการคำนวนหาอัตราการระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ETp) ในเขตพื้นที่จังหวัดนครนายกมากกว่าข้อมูลภูมิอากาศสถานีอื่นๆ จากเหตุทางด้านตัวแปรต่อการคำนวณค่า ETp ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากความสัมพันธ์ต่าง ๆ

ความสัมพันธ์	อัตราการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ETp)					
	สุพรรณบุรี *			สามชุก **		
	2522	2523		2522	2523	
	ฤดูฝน	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
Lysimeter	-	-	-	6.25	6.06	8.22
Hargreaves 1985	4.75	4.58	4.48	4.94	4.15	5.03
Penman-Montieth	4.22	4.03	5.35	4.65	4.52	4.88
Jensen-Haise	3.91	3.54	6.43	5.24	4.21	5.42
FAO-24 Pan Evaporation	4.38	4.13	4.84	4.36	4.58	5.21
Penman 1948	4.71	4.35	6.06	6.05	5.26	7.27
Penman A.M. Michael	5.10	4.67	6.55	4.38	4.05	4.93
Penmen Doorenbos and Pruitt	5.19	4.75	6.66	4.52	4.17	5.70

หมายเหตุ

* ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและอื่น ๆ จากสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอเมืองสุพรรณบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา)

** ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและอื่น ๆ จากสถานีทดลองการใช้น้ำของพืชอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมชลประทาน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-2 ค่า Kc ที่คำนวณจากข้อมูลสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานของพืช จังหวัดสุพรรณบุรี

ความสัมพันธ์	ฤดูฝนปี 2522	ฤดูฝนปี 2522	ฤดูแล้งปี 2523
Lysimeter	1.00	1.00	1.00
Hargreaves 1985	1.27	1.46	1.63
Penman-Montieth	1.34	1.34	1.68
Jensen-Haise	1.19	1.44	1.52
FAO-24 Pan Evaporation	1.43	1.32	1.58
Penman 1948	1.03	1.15	1.13
Penman A.M. Michael	1.43	1.50	1.67
Penmen Doorenbos and Pruitt	1.38	1.45	1.44

ตารางที่ 4-3 ค่า Kc ที่คำนวณจากข้อมูลสถานีตรวจอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสุพรรณบุรี

ความสัมพันธ์	ฤดูฝนปี 2522	ฤดูฝนปี 2522	ฤดูแล้งปี 2523
Lysimeter	1.00	1.00	1.00
Hargreaves 1985	1.32	1.32	1.83
Penman-Montieth	1.48	1.50	1.54
Jensen-Haise	1.60	1.71	1.28
FAO-24 Pan Evaporation	1.43	1.47	1.70
Penman 1948	1.33	1.39	1.36
Penman A.M. Michael	1.23	1.30	1.25
Penmen Doorenbos and Pruitt	1.20	1.28	1.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-4 ค่าอัตราการระเหยของพืชอ้างอิงเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 - พ.ศ. 2538 ของสถานีตรวจวัดอากาศ จ. สุพรรณบุรี

หน่วย : มม.

ความสัมพันธ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
Hargreaves 1985	131.0	147.3	166.6	182.9	172.3	159.3	156.2	152.2	143.4	121.8	116.5	119.7	147.4
Penman-Montieth	132.1	155.7	174.2	177.7	146.8	110.7	113.2	92.5	105.5	122.7	134.2	127.9	132.8
Jensen-Haise	143.3	170.4	196.5	209.9	156.4	104.0	104.2	79.1	91.2	103.6	127.2	132.2	134.8
FAO-24 Pan Evaporation	113.0	120.2	155.1	168.2	164.7	142.3	141.2	130.4	124.6	116.7	114.1	115.0	133.8
Penman 1948	136.3	160.8	184.2	193.3	158.6	126.9	126.7	107.5	109.1	120.8	136.1	134.1	141.2
Penman A.M. Michael	140.3	167.8	194.4	204.8	167.2	136.4	135.2	115.4	112.8	124.2	141.6	140.4	148.4
Penmen Doorenbos and Pruitt	143.3	171.1	197.6	207.8	169.6	138.3	137.2	116.9	114.6	126.6	144.6	143.5	150.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-5 ค่าอัตราการระเหยของพืชอ้างอิงเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - พ.ศ. 2537 ของสถานีฯ สามชุก จ. สุพรรณบุรี

หน่วย : มม.

ความสัมพันธ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
Hargreaves 1985	132.2	140.6	170.4	177.1	170.4	159.2	160.3	147.6	138.9	125.1	122.5	120.8	147.2
Penman-Montieth	125.3	135.8	170.3	175.9	160.4	112.1	111.6	136.4	120.0	112.8	133.2	119.6	142.2
Jensen-Haise	193.6	231.6	277.2	284.3	260.3	237.4	245.5	203.2	212.4	178.8	201.1	189.4	226.2
FAO-24 Pan Evaporation	139.8	159.4	198.0	211.5	176.9	140.3	132.9	142.0	116.6	104.1	154.9	146.0	159.5
Penman 1948	198.0	225.0	277.0	283.4	236.4	180.6	176.2	194.8	155.4	141.2	187.5	186.7	215.7
Penman A.M. Michael	127.9	142.3	176.7	179.8	157.6	115.5	113.4	132.7	112.0	103.7	130.4	125.2	142.6
Penmen Doorenbos and Pruitt	131.7	146.6	181.4	184.7	161.9	118.4	117.0	136.2	115.8	106.7	133.6	128.8	146.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 6 ข้อมูลภูมิอากาศเบื้องต้นของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใช้กับความสัมพันธ์ต่าง ๆ

ข้อมูลภูมิอากาศ \ ความสัมพันธ์	Hargreaves 1985	Penman - Montieth	Jensen - Haise	FAO-24 Pan Evaporation	Penman 1948	Penman A.M.Michael	Penman Doorenbos and Pruitt
ความดันบรรยากาศ (Pressure)	×	/	×	×	/	×	×
อุณหภูมิ (Temperature)	/	/	/	×	/	/	×
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	×	×	×	/	×	/	/
ความครึ้มเมฆ (Cloudiness)	×	×	×	×	×	/	×
รังสีแสงอาทิตย์ (Solar Radiation)	/	/	/	×	/	/	/
ความเร็วลม (Wind Speed)	×	/	×	/	/	/	/
อัตราการระเหย (Evaporation)	×	×	×	/	×	×	×
ระดับความสูงของพื้นที่ (Elevation)	×	/	/	×	×	×	×
แรงดันไอน้ำ (Vapour pressure)	×	×	/	×	/	/	/

หมายเหตุ เครื่องหมาย / แสดงว่าต้องการข้อมูล

× แสดงว่าไม่ต้องการข้อมูล

ตาราง 4 - 7 ข้อมูลภูมิอากาศเบื้องต้นของกรมชลประทานที่ใช้กับความสัมพันธ์ต่าง ๆ

ข้อมูลภูมิอากาศ \ ความสัมพันธ์	Hargreaves 1985	Penman - Montieth	Jensen - Haise	FAO-24 Pan Evaporation	Penman 1948	Penman A.M.Michael	Penman Doorenbos and Prui
ความดันบรรยากาศ (Pressure)	×	/	×	×	/	×	×
อุณหภูมิ (Temperature)	/	/	/	×	/	/	×
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	×	×	×	/	×	/	/
ชั่วโมงแสงแดด (Bright Sunshine)	×	×	×	×	×	/	×
รังสีแสงอาทิตย์ (Solar Radiation)	/	/	/	×	/	/	/
ลมผิวดิน (Surface Wind)	×	/	×	/	/	/	/
อัตราการระเหย (Evaporation)	×	×	×	/	×	×	×
ระดับความสูงของพื้นที่ (Elevation)	×	/	/	×	×	×	×
จำนวนฝน (Rain fall)	×	×	×	×	×	×	×

หมายเหตุ เครื่องหมาย / แสดงว่าต้องการข้อมูล

× แสดงว่าไม่ต้องการข้อมูล

ตาราง 4-8 ค่าอัตราการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงเฉลี่ย (ปี พ.ศ.2522-พ.ศ.2538) โดยความสัมพันธ์ Penman Doorenbos and Pruitt

หน่วย : มม.

ความสัมพันธ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
สุพรรณบุรี	143.3	171.0	197.6	207.8	169.6	138.3	137.2	116.9	114.6	126.6	144.6	143.5	150.9
นครราชสีมา	153.9	181.7	210.2	214.2	176.9	152.5	157.0	137.7	124.3	139.8	150.4	150.2	162.4
กรุงเทพฯ	142.3	151.8	189.7	144.1	149.7	121.3	127.7	110.0	89.5	107.9	122.5	133.9	132.5
ปราจีนบุรี	149.2	158.7	182.9	177.5	149.4	106.5	113.7	96.6	107.1	135.5	147.3	145.5	139.2
นครนายก *	132.0	148.0	165.0	160.0	152.0	142.0	136.0	136.0	130.0	130.0	132.0	128.0	140.9

* ดิเรก ทองอร่าม , ความต้องการน้ำของพืชและค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ (กองฝึกอบรม กรมชลประทาน ,2526) หน้า 36-47.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย