หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

## หลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้ในการศึกษา

เนื่องจากงานพัฒนาแหล่งน้ำมีลักษณะแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศ สภาพของแหล่งน้ำ สภาพทางอุตุ-อุทกวิทยา อุทกธรณีวิทยา ปริมาณน้ำฝน น้ำท่าและที่สำคัญที่สุดคือ ความต้องการใช้น้ำของเกษตรกรซึ่งขึ้นอยู่กับสถานการณ์และเงื่อนไขต่าง ๆ ตามความผันแปร ของสภาพธรรมชาติ

ในบทนี้จึงเป็นการกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้ในการศึกษาวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำ ซึ่งประกอบด้วยวิชาความรู้ทางด้านอุทกวิทยา เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำฝน แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน อันจะนำมาซึ่งปริมาณน้ำต้นทุน และทฤษฎีการใช้น้ำของพืชรวมถึงปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค สำหรับใช้ในการประเมินหาปริมาณความต้องการใช้น้ำ ตลอดจนวิชาความรู้ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาตัดสินใจเลือกแนวทางเพื่อเลือกในการพัฒนาแหล่งน้ำที่ถูกต้องและเหมาะสม

### 3.1 การประเมินปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับการพัฒนาแหล่งน้ำฝน

หลักการด้านอุทกวิทยาสามารถนำมาใช้ในการประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำฝน โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านอุตุ-อุทกวิทยา ตลอดจนข้อมูลภาคสนาม แล้วนำมาวิเคราะห์วิจัยผลที่ได้คาดว่าจะได้รับตามหลักทฤษฎี อย่างสมเหตุสมผล โดยในการประเมินหาปริมาณน้ำฝนต้นทุนจะคำนวณได้จากสถิติฝนเฉลี่ยรายเดือน, พื้นที่รับน้ำฝน (Drainage Area) และค่าสัมประสิทธิ์ของการเกิดน้ำท่า (Runoff Coefficient, C) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นที่รับน้ำฝน โดยคำนวณจากสูตร Rational Formula ดังนี้ ( วีระชัย ชูพิศาลย์โรจน์ : 2527 )

$$Q = CIA/1000 \qquad \text{.....(3-1)}$$

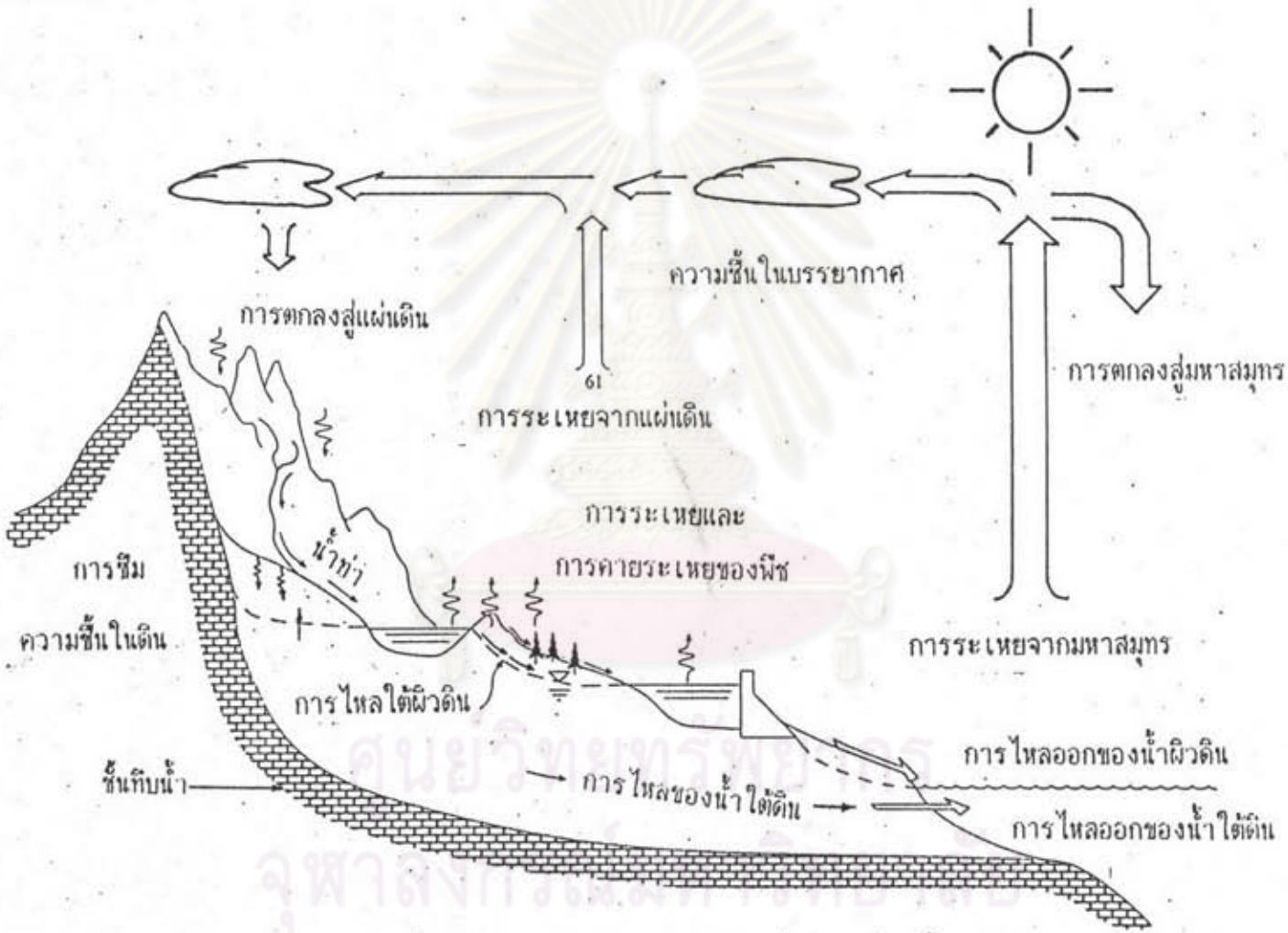
โดยที่ Q = ปริมาณน้ำฝนต้นทุนเฉลี่ยรายเดือนมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

C = สัมประสิทธิ์ของการเกิดน้ำท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุรองรับน้ำฝน สภาพภูมิประเทศและปริมาณน้ำฝนที่ตกในเดือนนั้น ๆ ดังรูปที่ 3-3

I = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

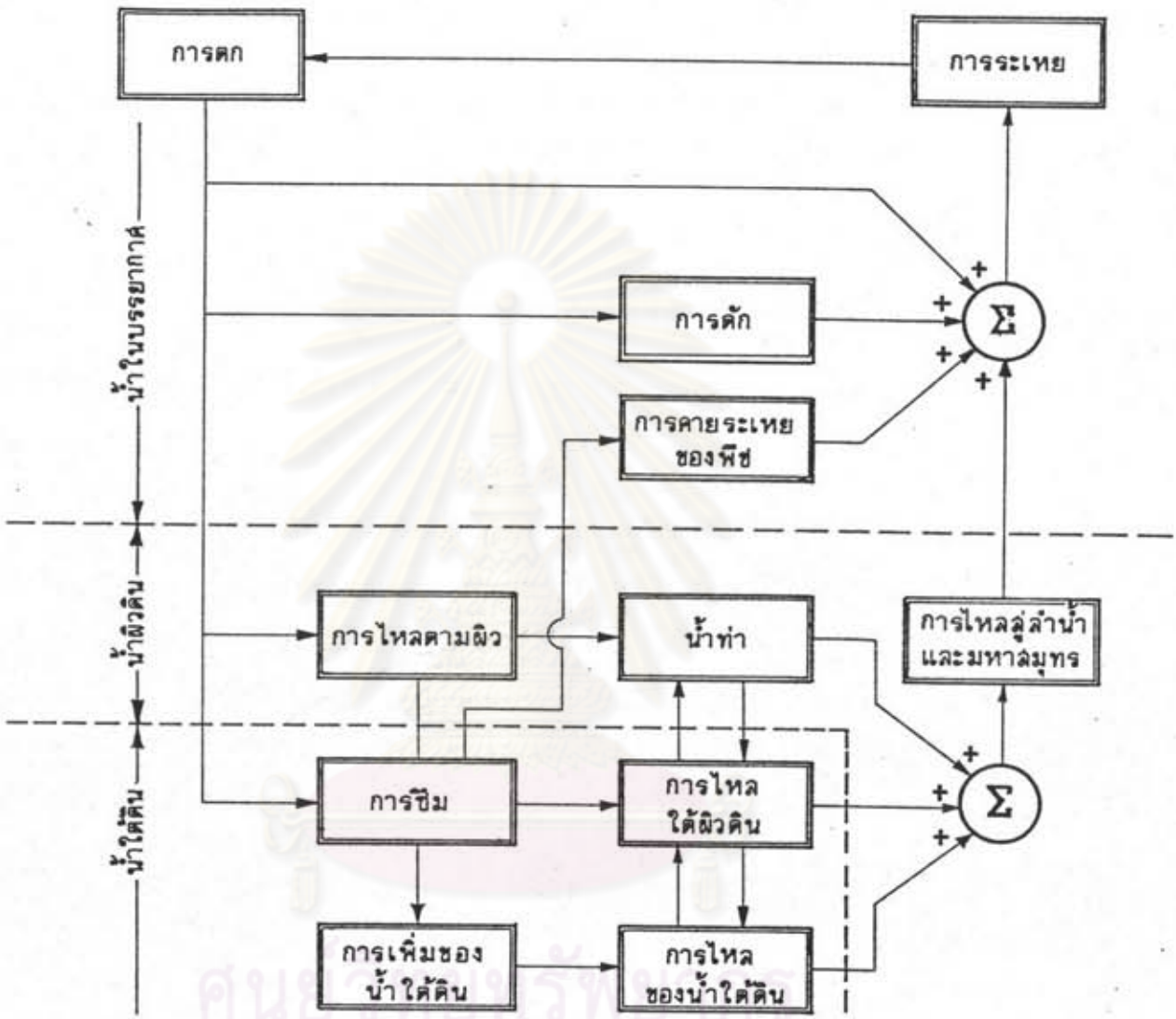
A = พื้นที่รับน้ำฝน มีหน่วยเป็นตารางเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 3-1 วงจรอุทกวิทยาแสดงค่าเฉลี่ยสมดุลย์ของน้ำ

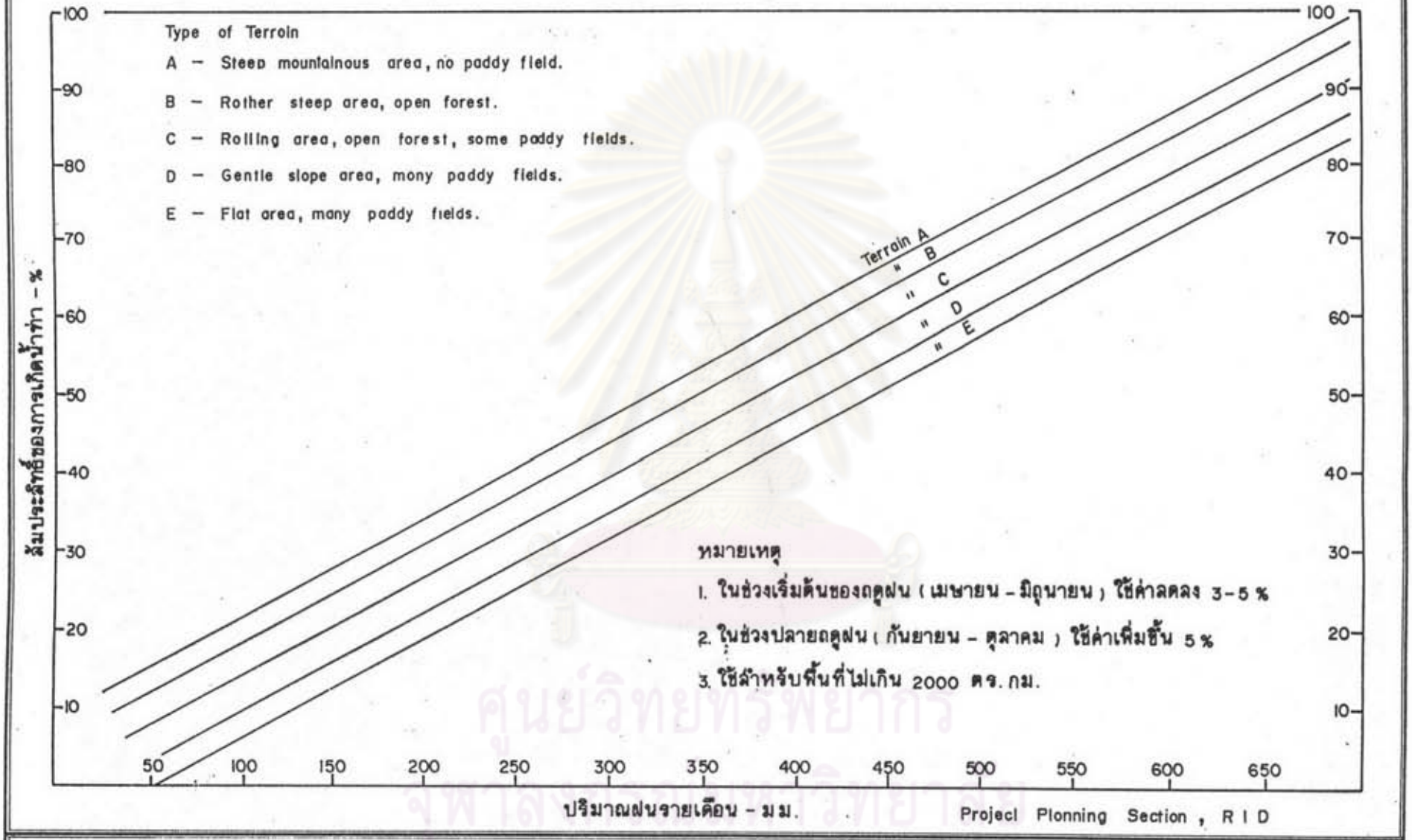
ที่มา: Applied Hydrology




ที่มา: Applied Hydrology

รูปที่ 3-2 แผนผังแสดงวงจรอุทกวิทยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 3-3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิของการเกิดน้ำท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.2 การประเมินหาปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน

การประเมินหาปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินนั้น คำนวณโดยการหาปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยเป็นรายปีเพื่อเป็นเกณฑ์ในการกำหนดวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน โดยจะต้องพิจารณาปริมาณความต้องการใช้น้ำของเกษตรกรเป็นแนวทางในการกำหนดขนาดของการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน ทั้งนี้จะต้องไม่เกินค่าปริมาณน้ำท่ารายปี ซึ่งคำนวณหาได้จากสมการ
(วีระชัย ชูพิศาลย์โรจน์ : 2527)

$$Q = 31536\ Y*A \qquad \text{.....(3-2)}$$

หรือ $$Y = \frac{Q}{31536A}$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

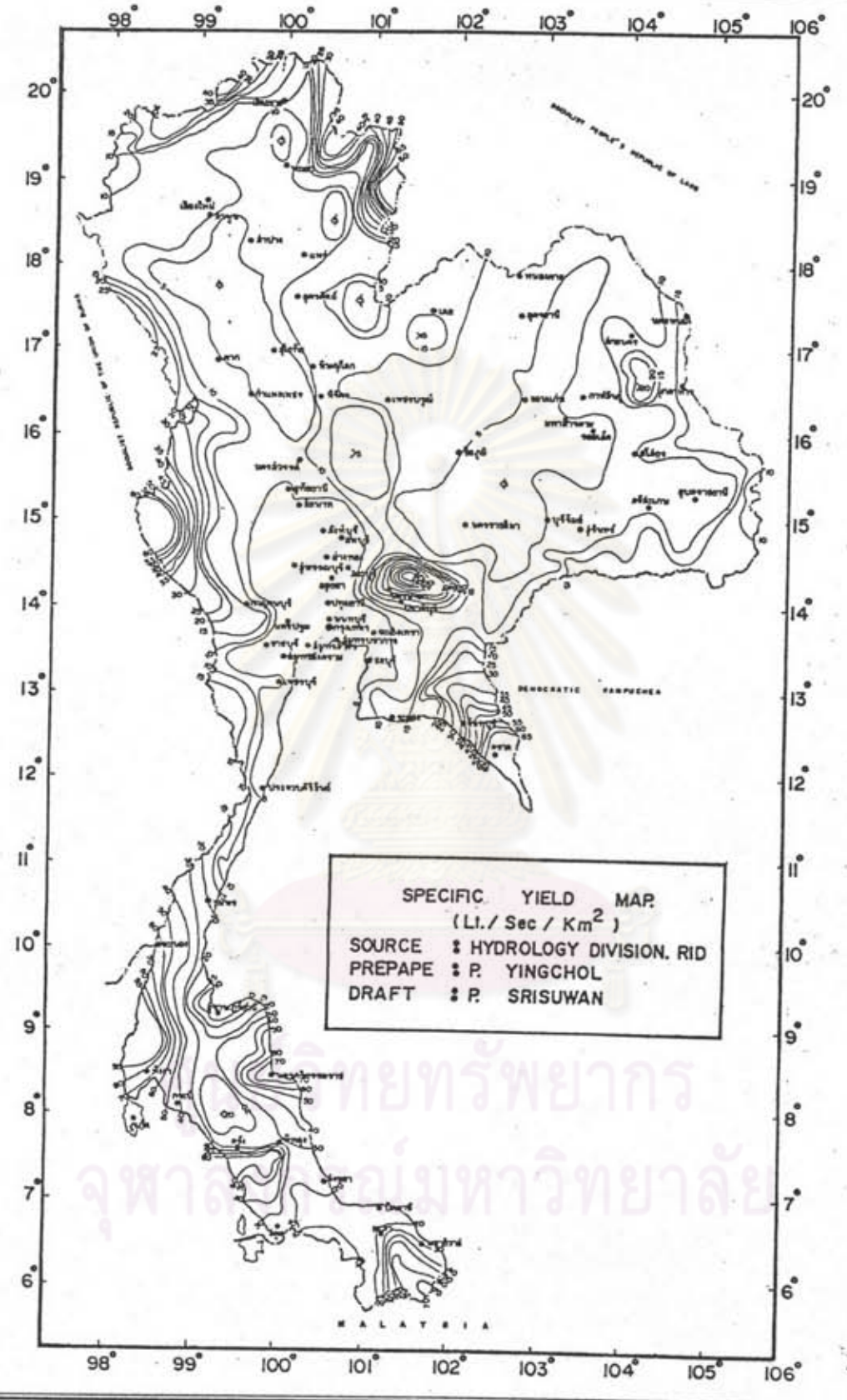
Y = ค่าความเข้มเฉลี่ยของน้ำท่ารายปี (Specific Yield) มีหน่วยเป็น ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร ดังรูปที่ 3-4

A = พื้นที่รับน้ำฝน มีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

จากค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีที่ได้นี้ สามารถตรวจสอบกับค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนดังรายละเอียดในข้อ 3.1 และการตรวจวัดข้อมูลจริงในสนาม เพื่อเปรียบเทียบปรับค่าต่าง ๆ ให้ถูกต้อง เพื่อที่จะสามารถนำค่าเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

## 3.3 การประเมินหาปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดิน

การพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ประโยชน์นั้น จะต้องพิจารณาถึงสภาวะสมดุลย์ทางอุทกวิทยาของธรรมชาติ หากมีการนำน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ในปริมาณที่มากเกินกว่าปริมาณที่อาจนำขึ้นมาใช้ได้ (Safe yield) แล้ว ก็อาจเกิดผลกระทบต่อบริเวณดังกล่าวเช่น ระดับน้ำใต้ดินลดต่ำลง ทำให้ต้องใช้พลังงานในการสูบน้ำขึ้นมาใช้มากขึ้น การสะสมของแร่ธาตุในดินเพิ่มขึ้นจนอาจเป็นอุปสรรคต่อการปลูกพืชซึ่งมีผลทำให้คุณภาพของน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในการประเมินหาปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินนั้น สามารถคำนวณได้จากหลักทฤษฎีต่าง ๆ ดังกล่าวต่อไปนี้
( David Kieth Todd : 1980 )




รูปที่ 3-4 แผนที่แสดงความเข้มเฉลี่ย ของน้ำท่ารายปี (SPECIFIC YIELD MAP)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17330444

### 3.3.1 อัตราการให้น้ำจำเพาะ (Specific yield)

การสูบน้ำใต้ดินจากแหล่งน้ำเก็บกักซึ่งสะสมอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินนั้น ไม่สามารถสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้หมด ทั้งนี้มีน้ำบางส่วนที่เหลือติดค้างอยู่ในช่องว่างของเม็ดดินเนื่องจากอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก และแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเม็ดดินของชั้นดินอุ้มน้ำ คุณสมบัติของชั้นดินอุ้มน้ำที่จะยอมให้น้ำไหลออกมาได้เรียกว่า อัตราการให้น้ำจำเพาะ (Specific yield, $S_y$) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$S_y = 100(W_y/V) \quad \text{.....(3-3)}$$

และ

$$S_r = 100(W_r/V) \quad \text{.....(3-4)}$$

เมื่อ $S_y$ = อัตราการให้น้ำจำเพาะ (Specific yield)

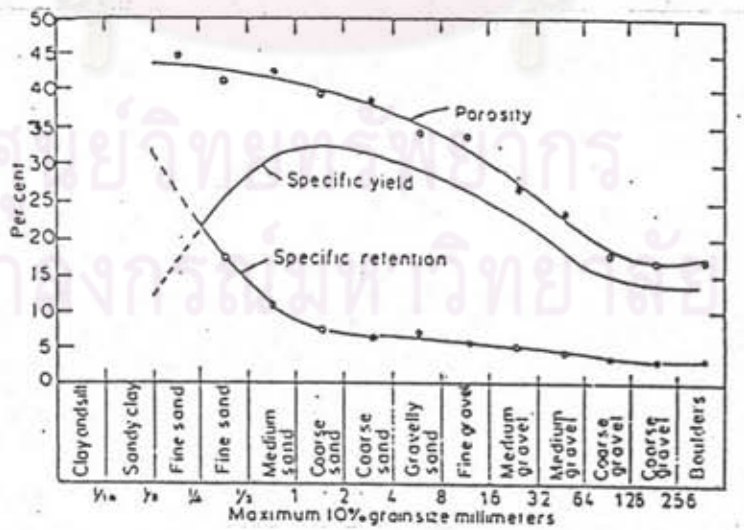
$S_r$ = อัตราคงค้างจำเพาะ (Specific Retention)

$W_y$ = ปริมาณน้ำที่ไหลจากมวลดิน

$W_r$ = ปริมาณน้ำที่คงค้างอยู่ในมวลดิน

$V$ = ปริมาตรรวมของมวลดิน

โดยที่ผลรวมของอัตราการให้น้ำจำเพาะ ($S_y$) และอัตราคงค้างจำเพาะ ($S_r$) ก็คือค่าความพรุน (Porosity) ของมวลดิน




รูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ของค่าความพรุน อัตราการให้น้ำจำเพาะ และอัตราคงค้างจำเพาะ ตามขนาดของเม็ดดิน

### 3.3.2 การไหลของน้ำใต้ดินเข้าบ่อที่เจาะในชั้นน้ำใต้ดินภายใต้สภาวะสมดุลย์ (Equillibrium Equation/Thiem's Equation)

ในการสูบน้ำจากบ่อบาดาลเป็นระยะเวลานาน ๆ อิทธิพลของการสูบน้ำจะแผ่ขยายกว้างออกไปในแนวรัศมี จนกระทั่งเกิดสภาวะสมดุลย์หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณน้ำที่สูบขึ้นมาเท่ากับปริมาณที่ไหลเข้าบ่อ โดยสมมุติฐานของ Dupuit ที่กำหนดให้ชั้นดินอุ้มน้ำมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันตลอดในทุกทิศทาง (Homogeneous & Isotropic) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่าน (Coefficient of Tranmissibility) คงที่ตลอดพื้นที่และตลอดเวลา ซึ่งการไหลอยู่ในสภาวะสมดุลย์ และมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบตามแนวรัศมี (Radial & Larminar Flow) ก็จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ จากกฎของ Darcy's Law จะความสัมพันธ์ของสมการ

$$Q = Av = -2\pi rbK\frac{dh}{dr} \qquad \text{.....(3-5)}$$

เมื่อ K = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity)

r = ระยะระหว่างบ่อ

b = ความหนาของชั้นดินอุ้มน้ำ

dh/dr = ความลาดเชิงชลศาสตร์ของการไหล

โดยการจัดสมการ (3-5) และอินทิเกรทจาก $h = h_w$, $r = r_w$ และ $h = h_o$, $r = r_o$ จะได้

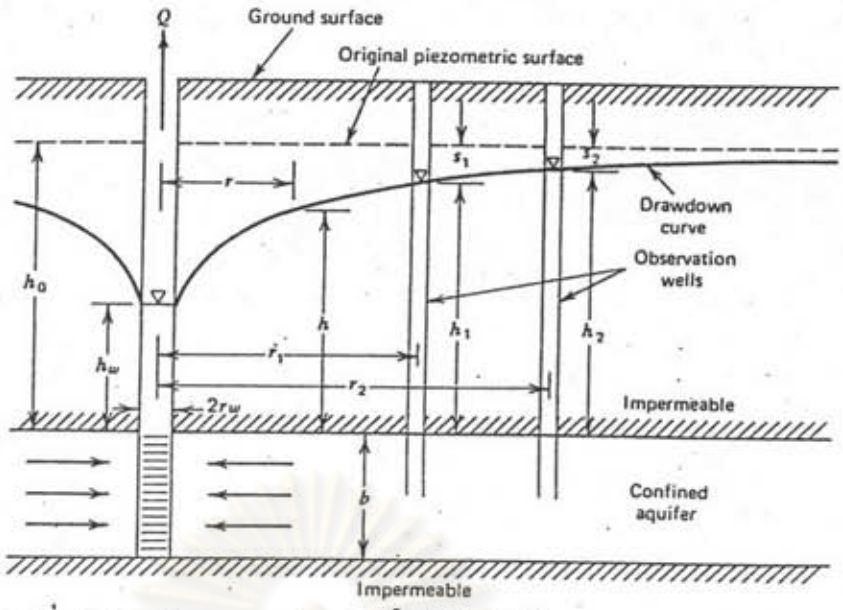
$$Q = 2\pi Kb\frac{h_o - h_w}{\ln(r_o/r_w)} \qquad \text{.....(3-6)}$$

ในกรณีที่ขอบเขตของชั้นน้ำใต้ดินแผ่กระจายออกไปอย่างกว้างขวาง (Infinite Extent) จะได้

$$Q = 2\pi Kb\frac{h - h_w}{\ln(r/r_w)} \qquad \text{.....(3-7)}$$

ในการสูบน้ำบาดาล เราสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านของชั้นดินอุ้มน้ำโดยการวัดระดับน้ำในบ่อสังเกตุการณ์ (Observation Wells) 2 บ่อ ที่มีระยะห่างจากบ่อสูบแตกต่างกันเมื่อทำการสูบน้ำด้วยอัตราคงที่ ตามหลักทฤษฎีแล้วเราอาจใช้ค่าระดับน้ำที่บ่อสูบเป็นบ่อสังเกตุการณ์ได้บ่อหนึ่ง แต่เนื่องจากภายในบ่อสูบจะเกิดการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากการไหลผ่านวัสดุกรอง จึงอาจทำให้ค่าที่ได้เกิดความผิดพลาด ดังนั้น จึงไม่ควรใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านจากสมการ

$$T = Kb = \frac{Q}{2\pi(h_2 - h_1)}\ln\frac{r_2}{r_1} \qquad \text{.....(3-8)}$$



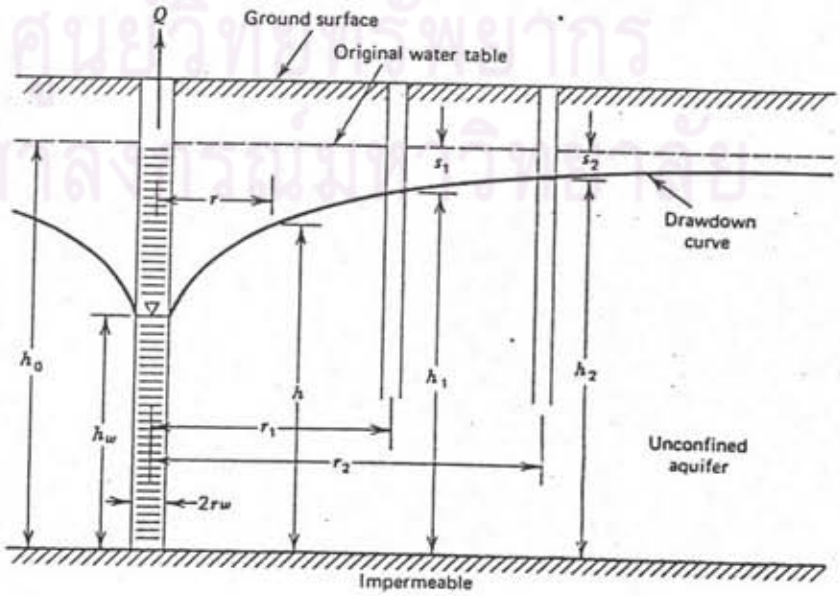

รูปที่ 3-6 ลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในชั้น Confine Aquifer

ในกรณีที่ทำการวัดค่าระดับน้ำโดยอ้างอิงจากระดับมาตรฐานเดียวกัน สมการ (3-8) อาจเขียนได้เป็น

$$T = \frac{Q}{2\pi(s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \qquad \text{.....(3-9)}$$

สำหรับการประยุกต์ใช้สมการ (3-8) และ (3-9) จะต้องทำการสูบน้ำด้วยอัตราคงที่ในช่วงเวลาที่นานจนกระทั่งเกิดการไหลแบบคงที่ ซึ่งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในบ่อเมื่อเวลาผ่านไป ($S_1$ และ $S_2$ คงที่) แต่ในทางปฏิบัติแล้วค่าทั้งสองยังคงเพิ่มขึ้นแต่ยังคงรักษาสภาพความแตกต่างของความลาดเชิงชลศาสตร์ไว้อย่างคงที่ ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลที่ดีแล้วจึงควรทำการวัดระดับน้ำที่บ่อสังเกตุการณ์ภายหลังจากการสูบน้ำผ่านไปเป็นระยะเวลา 2-3 วัน

### 3.3.3 บ่อที่เจาะในชั้นน้ำใต้ดินอิสระ (Unconfined Aquifer)




รูปที่ 3-7 ลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในชั้น Unconfine Aquifer

สมการการไหลแบบคงที่ในชั้นน้ำใต้ดินอิสระ ของบ่อซึ่งเจาะทะลุถึงชั้นทึบน้ำภายใต้ขอบเขตของค่าความลาดเชิงชลศาสตร์คงที่ยังคงใช้สมมุติฐานของ Dupuit ในการคำนวณหาดังนี้

$$Q = -2\pi rKh\frac{dh}{dr} \qquad \text{.....(3-10)}$$

อินทิเกรท สมการ (3-9) จาก $h = h_w$, $r = r_w$ และ $h = h_o$, $r = r_o$ จะได้สมการ

$$Q = \pi K\frac{h_o^2 - h_w^2}{\ln (r_o/r_w)} \qquad \text{.....(3-11)}$$

ในกรณีของการเปรียบเทียบระหว่างบ่อสังเกตุการณ์

$$Q = \pi K\frac{h_2^2 - h_1^2}{\ln (r_2/r_1)} \qquad \text{.....(3-12)}$$

หรือ

$$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)}\ln\frac{r_2}{r_1} \qquad \text{.....(3-13)}$$

เนื่องจากสมการนี้ไม่สามารถอธิบายค่าความถูกต้องของความลาดเชิงชลศาสตร์บริเวณใกล้ ๆ บ่อเพราะว่าเกิดการไหลในแนวดิ่ง ซึ่งขัดกับสมมุติฐานของ Dupuit แต่อย่างไรก็ตามการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านยังคงใช้ได้ดี ซึ่งในเชิงปฏิบัติแล้วความลาดเชิงชลศาสตร์มีความสัมพันธ์น้อยต่อความหนาของชั้นอุ้มน้ำในชั้นน้ำใต้ดินอิสระ ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่าน (T) จึงประมาณได้ดังสมการ

$$T \cong K\frac{h_1 + h_2}{2} \qquad \text{.....(3-14)}$$

โดยการแทนค่า $h_1 = h_o - S_1$ และ $h_2 = h_o - S_2$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านคือ

$$T = Kh_o = \frac{Q}{2\pi\left[\left(s_1 - \frac{s_1^2}{2h_o}\right) - \left(s_2 - \frac{s_2^2}{2h_o}\right)\right]}\ln\frac{r_2}{r_1} \qquad \text{.....(3-15)}$$

3.3.4 การไหลของน้ำใต้ดินเข้าบ่อภายใต้สภาวะไม่สมดุลย์

(Non-Equillibrium Equation/Theis's Equation)

สมมุติฐานที่ใช้สำหรับการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่บ่อภายใต้สภาวะไม่สมดุลย์นั้นเหมือนกับการไหลในสภาวะสมดุลย์ทุกประการ ยกเว้นแต่สภาพการไหลยังไม่คงที่ (Unsteady Flow) เท่า

นั้น สมการที่นำมาประยุกต์ใช้ในรูปของ Polar Coordinate คือ

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t} \qquad \text{.....(3-16)}$$

เมื่อ T = สัมประสิทธิ์การไหลผ่าน (Transmissibility)

S = สัมประสิทธิ์การเก็บกัก (Storage Coefficient)

r = ระยะระหว่างบ่อ

t = เวลาตั้งแต่เริ่มต้นทำการสูบน้ำ

โดยใช้หลักการของความคล้ายคลึงระหว่างการไหลของน้ำใต้ดินและการนำความร้อน (Heat Conduction) Theis ได้เสนอการแก้สมการ (3-16) โดยกำหนดขอบเขต (Boundary Condition) ที่ $h = h_o$ เมื่อ $t = 0$ และ $h \to h_o$ ในขณะที่ $r \to \infty$ เมื่อ $t > 0$ จะได้

$$s = \frac{Q}{4\pi T}\int_u^\infty \frac{e^{-u}\,du}{u} \qquad \text{.....(3-17)}$$

และ

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \qquad \text{.....(3-18)}$$

เมื่อ s = ระดับที่ลดลง (Drawdown)

Q = อัตราการสูบน้ำจากบ่อบาดาล ซึ่งมีค่าคงที่ตลอด

สมการ (3-18) เรียกกันว่า สมการการไหลในสภาวะไม่สมดุลย์ (Nonequillibrium Equation) หรือ Theis Equation สำหรับเทอมที่อยู่ในรูปของเอกซ์โพเนนเชียลฟังก์ชันนั้น เรียกกันว่า ฟังก์ชันบ่อน้ำ (Well Function) ซึ่งสามารถกระจายในรูปของอนุกรม ดังนั้นสมการ (3-18) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$s = \frac{Q}{4\pi T}\left[-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2\cdot 2!} + \frac{u^3}{3\cdot 3!} - \frac{u^4}{4\cdot 4!} + \cdots\right] \qquad \text{...(3-19)}$$

สมการการไหลในสภาวะไม่สมดุลย์ สามารถใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักและค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านโดยการสูบทดสอบ ซึ่งในทางปฏิบัตินิยมนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางมากกว่าสมการการไหลในสภาวะสมดุลย์ ทั้งนี้เนื่องจาก สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักได้ โดยใช้บ่อสังเกตุเพียงบ่อเดียว และใช้ระยะเวลาการสูบทดสอบไม่นานนัก นอกจากนี้ยังไม่ต้องใช้สมมุติฐานภายใต้สภาพเงื่อนไขการไหลแบบคงที่

อย่างไรก็ตาม ในสมการการไหลในสภาวะไม่สมดุลย์ (3-17) ที่นำมาประยุกต์ใช้นั้น หากมองข้ามสมมุติฐานที่สำคัญของสมการก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เกิดความผิดพลาด ซึ่งสมมุติฐานดังกล่าว ประกอบด้วย

(1) ชั้นให้น้ำมีเนื้อเดียวกันตลอดทุกทิศทาง และมีความหนาเท่ากันตลอด ซึ่งแผ่กระจายอย่างกว้างขวางทั่วพื้นที่

(2) ก่อนทำการสูบทดสอบระดับน้ำอยู่ในแนวระดับ

(3) สูบทดสอบด้วยอัตราคงที่

(4) บ่อสูบเจาะทะลุถึงชั้นให้น้ำ และการไหลจากชั้นให้น้ำสู่บ่อมีทิศทางในแนวราบ

(5) เส้นผ่าศูนย์กลางของบ่อมีขนาดเล็กมาก จึงไม่นำขนาดความจุในบ่อมาพิจารณา

(6) น้ำไหลออกจากแหล่งเก็บกักทันทีที่เกิดความลาดเชิงชลศาสตร์

เนื่องจากสมมุติฐานของสมการ (3-17) เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก ดังนั้นการนำสมการการไหลในสภาวะไม่สมดุลย์มาไว้ในการหาค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การเก็บกัก และสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน โดยการสูบทดสอบและวัดการเปลี่ยนแปลงของระยะน้ำลด จากบ่อสังเกตุหนึ่งบ่อหรือมากกว่า ภายในระยะเวลาที่กำหนดด้วยอัตราการสูบคงที่จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ โดยทั่วไป ซึ่งได้มีผู้พัฒนาวิธีการประมาณหาค่าให้ง่ายขึ้น 3 วิธี คือ

3.3.4.1 วิธีการของ Theis

Theis ได้จัดรูปสมการ (3-17) และ (3-18) ใหม่ จะได้

$$s = \left(\frac{Q}{4\pi T}\right) W(u) \qquad \text{.....(3-20)}$$

และ $$\frac{r^2}{t} = \left(\frac{4T}{S}\right) u \qquad \text{.....(3-21)}$$

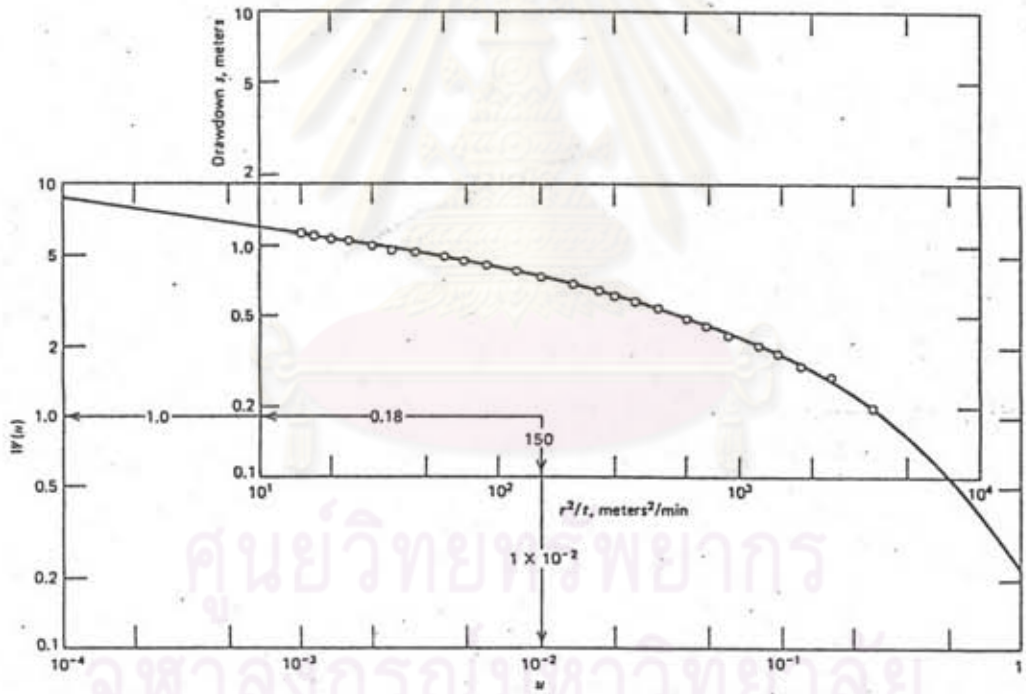
เมื่อ W(u) = ฟังก์ชันบ่อน้ำ (Well Function)

จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง W(u) และ u คล้ายคลึงกับความสัมพันธ์ระหว่าง S และ $r^2/t$ เนื่องจากส่วนที่เหลือในสมการทั้งสองเป็นค่าคงที่ ดังนั้น Theis จึงได้เสนอแนะให้ประมาณค่าของสัมประสิทธิ์การเก็บกัก (S) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (T) โดยอาศัย วิธีนำกราฟมาซ้อนทับกัน (Method of Superposition) โดยทำการเขียนค่าต่าง ๆ ของ W(u) และ u จากข้อมูลในตารางที่ 3-1 ในกระดาษกราฟเลขยกกำลัง ซึ่งโค้งที่เขียนได้จะเรียกว่า Type Curve และจากการทดสอบในภาคสนาม จะได้ค่าการลดลงของระดับน้ำ (Drawdown) ที่ระยะเวลา

ตารางที่ 3-1 แสดงค่า W (u) สำหรับช่วงค่า u ต่าง ๆ

| u | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\times 1$ | 0.219 | 0.049 | 0.013 | 0.0038 | 0.0011 | 0.00036 | 0.00012 | 0.000038 | 0.000012 |
| $\times 10^{-1}$ | 1.82 | 1.22 | 0.91 | 0.70 | 0.56 | 0.45 | 0.37 | 0.31 | 0.26 |
| $\times 10^{-2}$ | 4.04 | 3.35 | 2.96 | 2.68 | 2.47 | 2.30 | 2.15 | 2.03 | 1.92 |
| $\times 10^{-3}$ | 6.33 | 5.64 | 5.23 | 4.95 | 4.73 | 4.54 | 4.39 | 4.26 | 4.14 |
| $\times 10^{-4}$ | 8.63 | 7.94 | 7.53 | 7.25 | 7.02 | 6.84 | 6.69 | 6.55 | 6.44 |
| $\times 10^{-5}$ | 10.94 | 10.24 | 9.84 | 9.55 | 9.33 | 9.14 | 8.99 | 8.86 | 8.74 |
| $\times 10^{-6}$ | 13.24 | 12.55 | 12.14 | 11.85 | 11.63 | 11.45 | 11.29 | 11.16 | 11.04 |
| $\times 10^{-7}$ | 15.54 | 14.85 | 14.44 | 14.15 | 13.93 | 13.75 | 13.60 | 13.46 | 13.34 |
| $\times 10^{-8}$ | 17.84 | 17.15 | 16.74 | 16.46 | 16.23 | 16.05 | 15.90 | 15.76 | 15.65 |
| $\times 10^{-9}$ | 20.15 | 19.45 | 19.05 | 18.76 | 18.54 | 18.35 | 18.20 | 18.07 | 17.95 |
| $\times 10^{-10}$ | 22.45 | 21.76 | 21.35 | 21.06 | 20.84 | 20.66 | 20.50 | 20.37 | 20.25 |
| $\times 10^{-11}$ | 24.75 | 24.06 | 23.65 | 23.36 | 23.14 | 22.96 | 22.81 | 22.67 | 22.55 |
| $\times 10^{-12}$ | 27.05 | 26.36 | 25.96 | 25.67 | 25.44 | 25.26 | 25.11 | 24.97 | 24.86 |
| $\times 10^{-13}$ | 29.36 | 28.66 | 28.26 | 27.97 | 27.75 | 27.56 | 27.41 | 27.28 | 27.16 |
| $\times 10^{-14}$ | 31.66 | 30.97 | 30.56 | 30.27 | 30.05 | 29.87 | 29.71 | 29.58 | 29.46 |
| $\times 10^{-15}$ | 33.96 | 33.27 | 32.86 | 32.58 | 32.35 | 32.17 | 32.02 | 31.88 | 31.76 |

(Groundwater hydrology : 1980)




รูปที่ 3-8 วิธีการซ้อนทับของ Theis สำหรับหาคำตอบในสมการการไหลในสภาวะไม่สมดุลย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่าง ๆ นำค่าระดับน้ำลดและ $r^2/t$ เขียนในกระดาษกราฟเลขยกกำลัง นำกราฟที่ได้มาทำการซ้อนทับกันโดยให้แกนทั้งสองขนานกันตลอด ขยับกระดาษกราฟทั้งสองจนกระทั่งส่วนโค้งของเส้นกราฟทั้งสองทับกันมากที่สุด (ดังรูปที่ 3-8) อ่านค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่จุดดังกล่าว เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก (Storage Coefficient, S) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissibility,T) จากสมการ (3-20) และสมการ (3-21) ตามลำดับ

3.3.4.2 วิธีการของ Cooper-Jacob

Cooper-Jacob ได้เสนอว่าในกรณีที่ข้อสังเกตุที่อยู่ใกล้ ๆ (r มีค่าน้อย) และที่ระยะเวลามาก ๆ จะทำให้ u มีค่าน้อยมาก ทำให้สามารถตัดบางเทอมของสมการ (3-19) ซึ่งจะได้

$$s = \frac{Q}{4\pi T}\left(-0.5772 - \ln\frac{r^2S}{4Tt}\right) \qquad \text{.....(3-22)}$$

จัดสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของ Log จะได้

$$s = \frac{2.30Q}{4\pi T}\log\frac{2.25Tt}{r^2S} \qquad \text{.....(3-23)}$$

ดังนั้นเมื่อทำการเขียนกราฟระหว่างระยะน้ำลด (Drawdown) กับค่าเลขยกกำลังของระยะเวลา (t) ที่เวลาใด ๆ ที่ได้จากการสูบทดสอบในสนาม จะได้กราฟเส้นตรงและเมื่อต่อเส้นกราฟที่ระยะน้ำลด (s) = 0, ที่เวลา (t) = to ดังแสดงในรูปที่ 3-9 จากสมการ (3-23) จะได้

$$0 = \frac{2.30Q}{4\pi T}\log\frac{2.25Tt_0}{r^2S} \qquad \text{.....(3-24)}$$

จะได้ $$\frac{2.25Tt_0}{r^2S} = 1 \qquad \text{.....(3-25)}$$

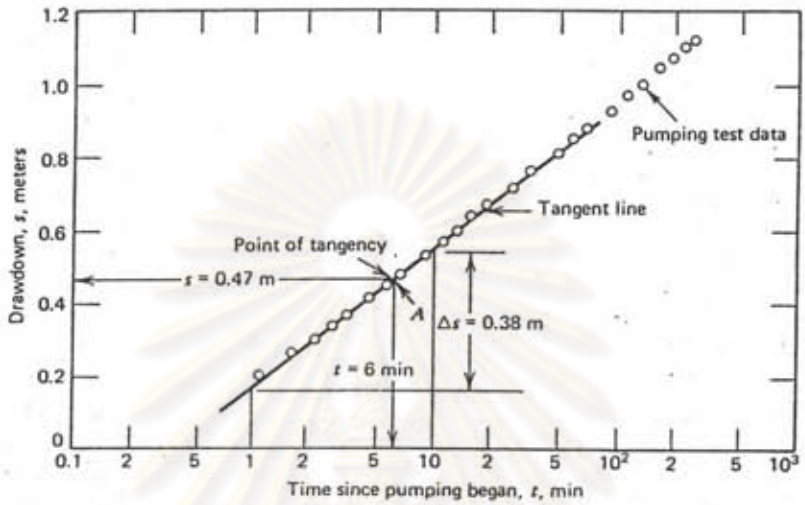
หรือ $$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \qquad \text{.....(3-26)}$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissibility, T) สามารถหาได้จากกรณีที่ t/to = 10 ซึ่งค่า log t/to = 1 ดังนั้นโดยการแทนค่า s โดย s (ผลต่างของระยะน้ำลด) ต่อหนึ่งช่วงเวลา (t) ของกราฟเลขยกกำลัง จากสมการ (3-23) จะได้

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi\Delta s} \qquad \text{.....(3-27)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยวิธีการของ Cooper-Jacob ก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissibility, T) จากสมการ (3-27) และค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก (Storage Coefficient, S) จากสมการ (3-26) การหาค่าโดยประมาณจากกราฟเส้นตรงที่ได้จากวิธีการนี้จะลดความผิดพลาดได้มากสำหรับกรณีที่ u มีค่าน้อย (u<0.01)



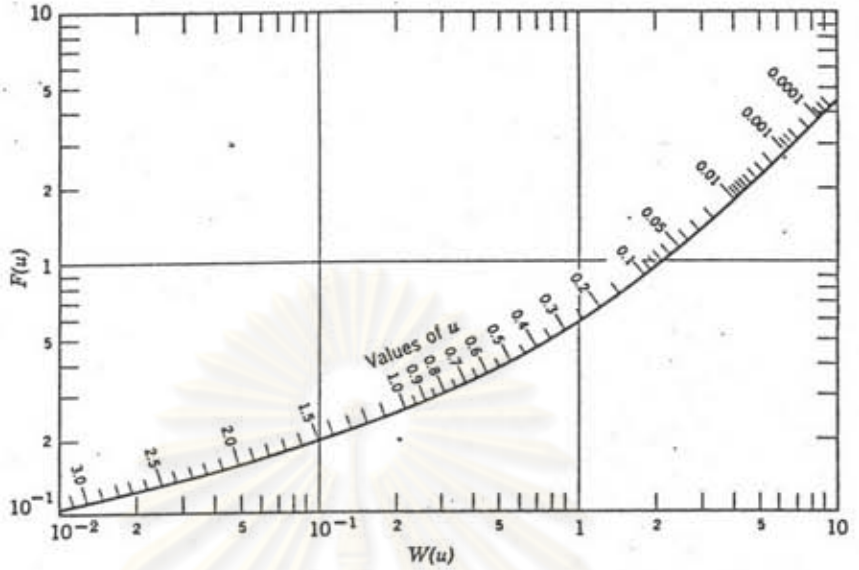

รูปที่ 3-9 วิธีการของ Cooper Jacob สำหรับหาคำตอบในสมการการไหลในสภาวะไม่สมดุลย์ (Groundwater hydrology : 1980)

3.3.4.3 วิธีการของ Chow

Chow ได้นำเสนาวิธีการหาค่าโดยอาศัยข้อได้เปรียบของการหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจเกิดจากการปรับเส้นกราฟและข้อจำกัดของการนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งโดยวิธีการนี้จะทำการวัดค่าระยะน้ำลด (Drawdown) จากบ่อสังเกตุซึ่งอยู่ใกล้กับบ่อสูบทดสอบ แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อตในกระดาษกึ่งเลขยกกำลังเหมือนกับวิธีของ Cooper-Jacob เลือกจุดใดจุดหนึ่งจากกราฟที่ได้เพื่ออ่านค่าระยะน้ำลด (s) และเวลา (t) ลากเส้นสัมผัสที่จุดดังกล่าว และอ่านค่าผลต่างของระยะน้ำลดต่อระยะเวลาหนึ่งรอบของกระดาษกราฟเลขยกกำลัง คำนวณค่า F(u) จากสมการ

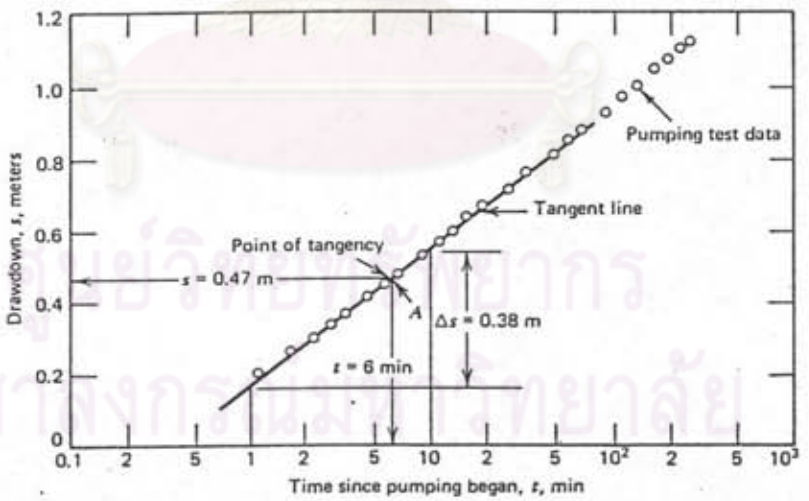
$$F(u) = s/\Delta s \qquad \text{.....(3-28)}$$

นำค่า F(u) ที่ได้มาหาค่า W(u) และ u จากความสัมพันธ์ในกราฟ รูปที่ 3-10 สำหรับค่า F(u) ที่มากกว่า 2.0 ค่า W(u) จะมีค่าเป็น 2.30 เท่าของ F(u) และ u จะอ่านได้จากตารางที่ 3-1 หลังจากนั้นก็จะสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก (Storage Coefficient, S) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissibility, T) จากสมการ (3-20) และสมการ (3-21) ตามลำดับ




รูปที่ 3-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง F(u) , W(u) และ u

(Groundwater hydrology : 1980)




รูปที่ 3-11 วิธีการของ Chow สำหรับหาคำตอบในสมการการไหลในสภาวะไม่สมดุลย์

(Groundwater hydrology : 1980)

3.3.4.4 การทดสอบระดับน้ำคืนตัว (Recovery Test)

ภายหลังจากการสูบทดสอบและเมื่อทำการปิดเครื่องสูบน้ำ ระดับน้ำในบ่อสูบและบ่อสังเกตุจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นช่วงการคืนตัวของระดับน้ำใต้ดิน จากรูปที่3-12 แสดงให้เห็นปรากฏการณ์ในขณะที่ทำการวัดค่าระดับน้ำลด (Drawdown) จากระดับน้ำปรกติก่อนการสูบทดสอบและระหว่างช่วงเวลาที่ระดับน้ำลดคืนตัวสู่สภาวะปรกติ

ในทางปฏิบัติเป็นการดีสำหรับการวัดค่าระดับน้ำคืนตัวเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissibility, T) ซึ่งเป็นการตรวจสอบค่าที่ได้กับค่าที่ได้จากการสูบทดสอบ และไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มจากการสูบทดสอบแต่อย่างใด นอกจากนี้ยังสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissibility, T) จากการวัดค่าระดับน้ำคืนตัวจากบ่อสูบทดสอบโดยตรง ถึงแม้จะไม่มีบ่อสังเกตุ โดยสมมุติให้อัตราการจ่ายน้ำระหว่างนี้มีค่าคงที่และมีค่าเท่ากับอัตราการสูบทดสอบ ซึ่งในการปฏิบัติการจริงในสนามนั้นจะผันแปรมากและเป็นการยากที่จะควบคุมให้อยู่ในช่วงพิสัยที่ยอมรับได้

จากหลักการของ Theis เมื่อทราบช่วงเวลาที่ทำการสูบทดสอบและการคืนตัวของระยะน้ำลด โดยอัตราการสูบให้น้ำคงที่อย่างต่อเนื่อง ภายหลังจากเปิด/ปิดเครื่องสูบน้ำจะได้สมการระดับน้ำคืนตัว (S')

$$s' = \frac{Q}{4\pi T}[W(u) - W(u')] \qquad \text{.....(3-29)}$$

$$\text{โดยที่} \qquad u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad \text{และ} \quad u' = \frac{r^2 S}{4Tt'} \qquad \text{.....(3-30)}$$

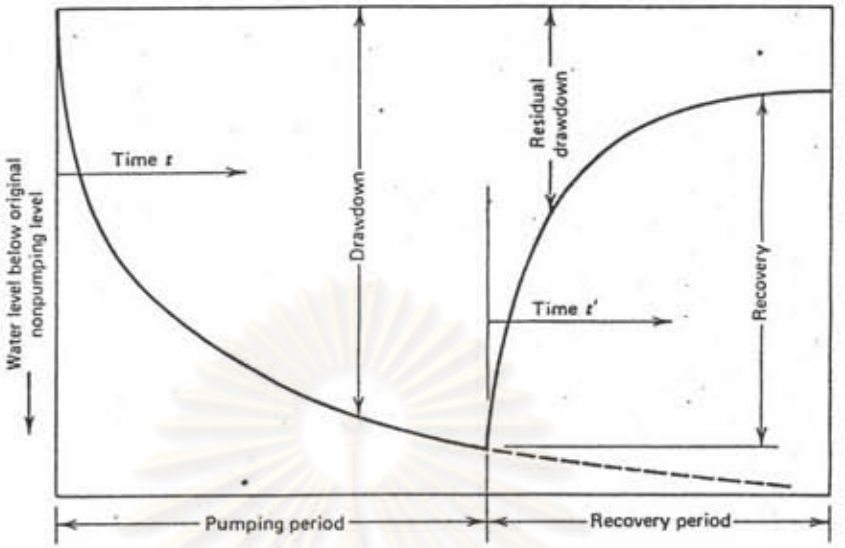
เมื่อ t และ t' เป็นเวลาที่นิยามโดยรูปที่ 3-11 สำหรับกรณีที่บ่อสังเกตุใกล้ ๆ และ t' มีค่ามาก ๆ ค่า W(u) สามารถประมาณได้จาก 2 เทอมแรกของสมการ (3-29) ดังนั้นสมการ (3-29) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$s' = \frac{2.30Q}{4\pi T}\log\frac{t}{t'} \qquad \text{.....(3-31)}$$

โดยวิธีนี้ เมื่อทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำคืนตัว ( $\Delta s'$ )กับค่าของ log(t/t') จะให้กราฟเส้นตรงซึ่งมีความลาดชัน เท่ากับ $2.30Q/4\pi T$ ดังนั้นสำหรับระยะแตกต่างของระดับน้ำลด ( S') ที่ช่วงเวลาน้ำลดต่อหนึ่งช่วงเวลาของ t/t' จะสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissibility, T) จากสมการ

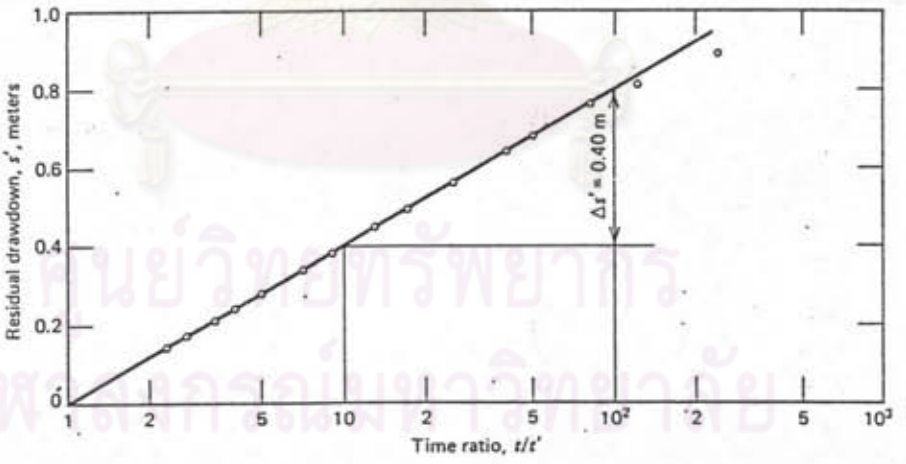
$$T = \frac{2.30Q}{4\pi\Delta s'} \qquad \text{.....(3-32)}$$

สำหรับการทดสอบระดับน้ำคืนตัว ไม่สามารถคำนวณเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก (Storage Coefficient, S)




รูปที่ 3-12 โค้งแสดงระดับน้ำลดและระดับน้ำคืนตัวในบ่อสังเกตุใกล้กับบ่อสูบทดสอบ

(Groundwater hydrology : 1980)




รูปที่ 3-13 วิธีการทดสอบระดับน้ำคืนตัวสำหรับหาคำตอบในสมการการไหลในสภาวะไม่สมดุลย์

(Groundwater hydrology : 1980)

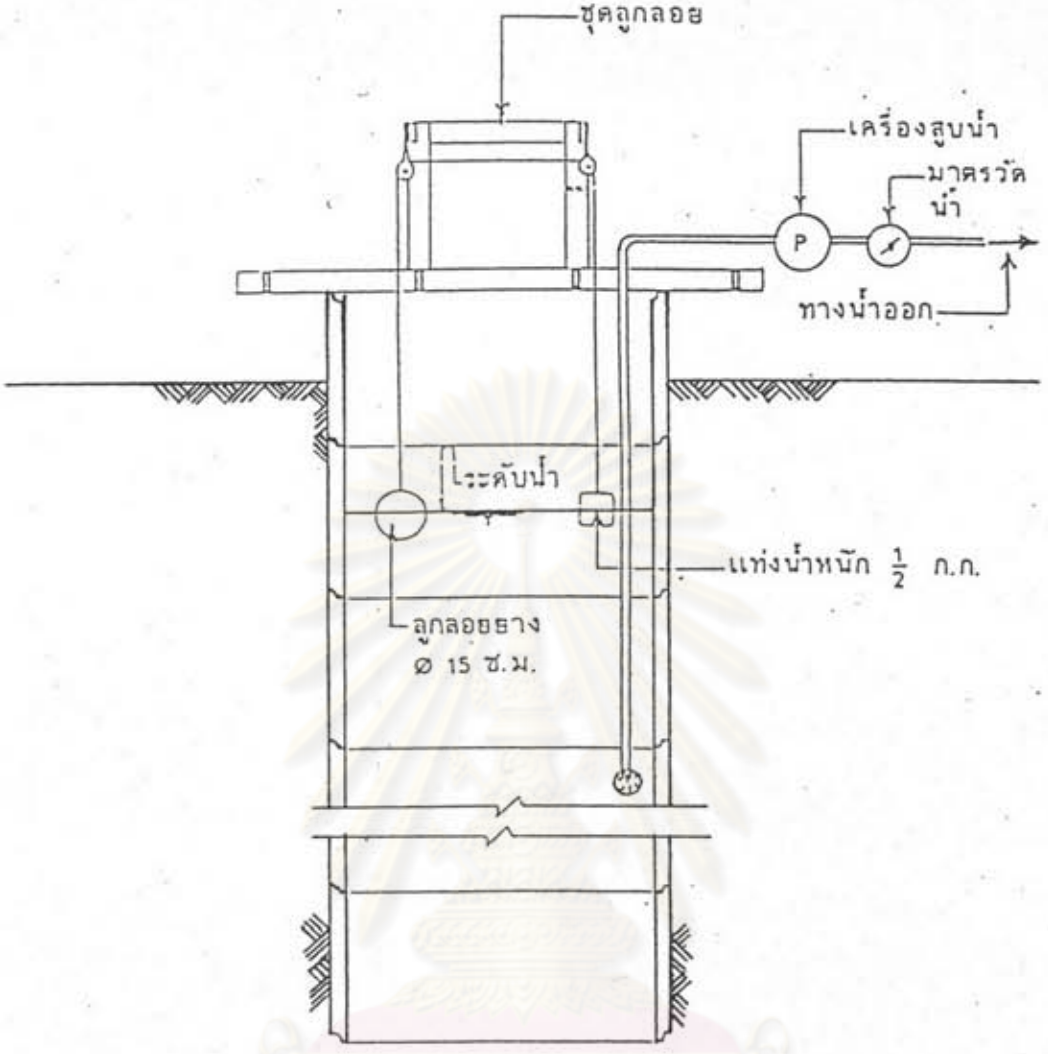
### 3.3.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสูบน้ำ

ชัยพันธุ์ รักวิจัย และสมหวัง จันทร์ทอง(2530) ได้ทำการศึกษาวิจัยหาแนวทางในการประเมินปริมาณน้ำและการออกแบบบ่อน้ำตื้น สรุปได้ว่า การวิเคราะห์ผลการทดสอบสูบน้ำจากบ่อน้ำตื้นไม่สามารถจะอาศัยทฤษฎีเกี่ยวกับชลศาสตร์บ่อบาดาลได้ (Well Hydraulics) ทั้งนี้ เพราะในทฤษฎีที่ปรากฏในตำรามักจะกล่าวถึงการไหลเข้าบ่อด้านข้างในลักษณะของเส้นการไหลแบบรัศมี (radial flow) ซึ่งไม่ตรงกับลักษณะการไหลเข้าบ่อน้ำตื้นที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าบ่อบาดาล การไหลเข้าบ่อน้ำตื้นจะมีทั้งแบบไหลเข้าด้านก้นบ่อ หรือแบบไหลเข้าทั้งก้นบ่อและด้านข้างของบ่อ ดังแสดงในรูปที่ 3-14 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสูบน้ำมักจะอาศัยข้อมูลในช่วงที่ระดับน้ำคืนตัว (recovery) ซึ่งสามารถทราบอัตราการไหลเข้าบ่อน้ำตื้นจากปริมาตรของน้ำที่เพิ่มขึ้นในบ่อที่ระดับน้ำต่าง ๆ สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่อาจนำไปใช้ได้มี 3 วิธี คือ อัตราการให้น้ำคงที่ (Steady State Yield), อัตราการให้น้ำเฉลี่ย และอัตราการให้น้ำต่อหน่วยระดับน้ำลด ซึ่งในที่นี้จะนำมากล่าวเฉพาะวิธีอัตราการให้น้ำคงที่

อัตราการให้น้ำคงที่ของบ่อน้ำตื้นที่ระดับน้ำลดค่าหนึ่ง หมายถึงอัตราการสูบน้ำออกจากบ่อ เท่ากับอัตราการไหลของน้ำเข้าบ่อโดยระดับน้ำในบ่อไม่เปลี่ยนแปลง และมีระดับน้ำลดค่าที่กำหนดนั้น อัตราการให้น้ำคงที่จึงสามารถหาได้จากอัตราการไหลของน้ำเข้าบ่อ ที่ระดับน้ำในบ่อหรือระดับลดค่าต่าง ๆ ในช่วงระดับน้ำคืนตัวหลังจากหยุดสูบน้ำ ซึ่งจะพิสูจน์หาได้ดังนี้

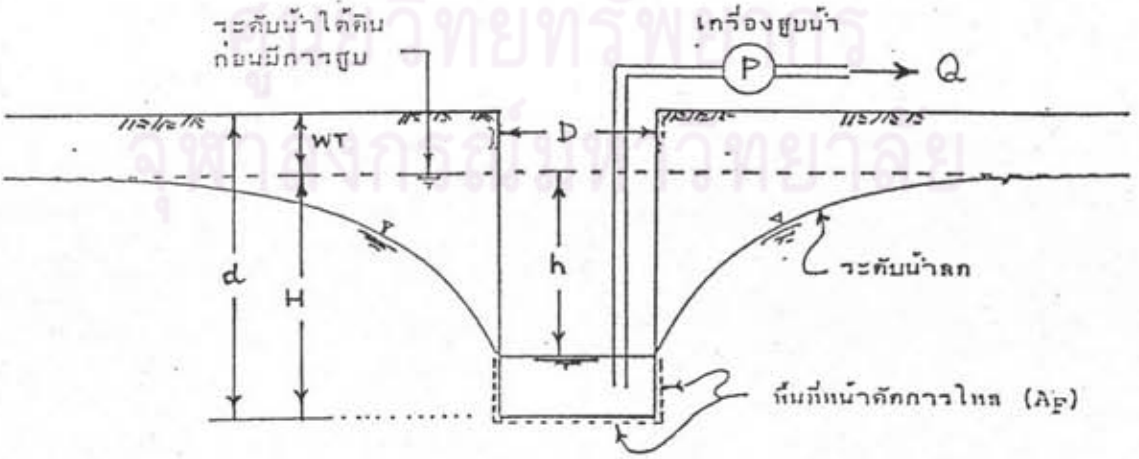
- ภายในช่วงเวลา $\Delta t$ ระดับน้ำเพิ่มขึ้น $\Delta h$
- หากพื้นที่หน้าตัดของบ่อ = A จะได้ว่าปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น $A \Delta h$
- ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำเข้าบ่อ $(Q) = A \Delta h/\Delta t$
- หาก $t \rightarrow 0$ , $Q(h) = A\, dh/dt \mid_h$
- $dh/dt \mid_h$ เป็นค่าอัตราคืนตัวของระดับน้ำหรือความลาดของเส้นกราฟ $h(t)$ ในช่วงระดับน้ำคืนตัวถึงระดับ h (ดังแสดงในรูปที่ 3-15)

รูปที่ 3-16 แสดงตัวอย่างกราฟอัตราการให้น้ำคงที่สัมพันธ์กับระดับน้ำลดที่ได้ จากผลการทดสอบสูบน้ำของบ่อน้ำตื้นในเขต อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี ซึ่งจะพบว่าอัตราการให้น้ำของบ่อน้ำจะผันแปรตามค่าระดับน้ำลด ( $Q = Q(h)$ ) โดยมีค่ามากขึ้นตามค่าระดับน้ำลดอันเป็นคุณสมบัติของชลศาสตร์ของบ่อน้ำตื้นนั้น ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อการประเมินปริมาณน้ำที่จะได้รับจากบ่อน้ำตื้น ภายในสภาวะการณ์ต่าง ๆ



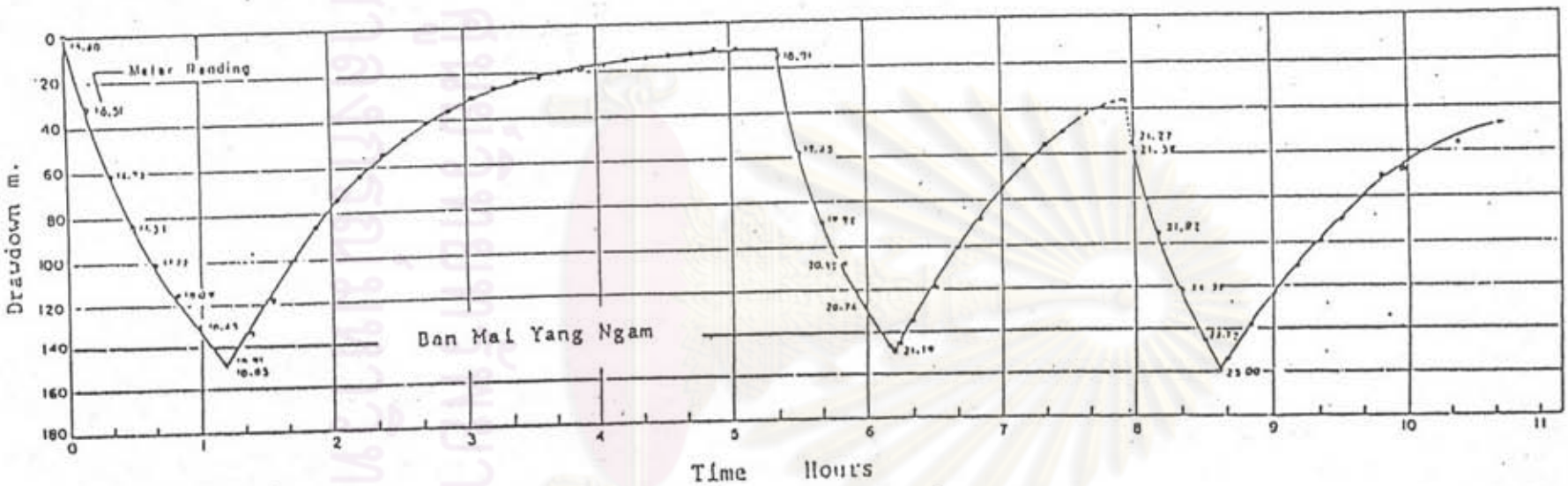

(ก) เครื่องมือในการทดสอบสูบน้ำ (Pump Test)

ที่มา: บ่อน้ำตื้น แนวทางในการประเมินปริมาณน้ำและการออกแบบ




(ข) ลักษณะชลศาสตร์ของการไหลน้ำใต้ดินระหว่างการสูบ

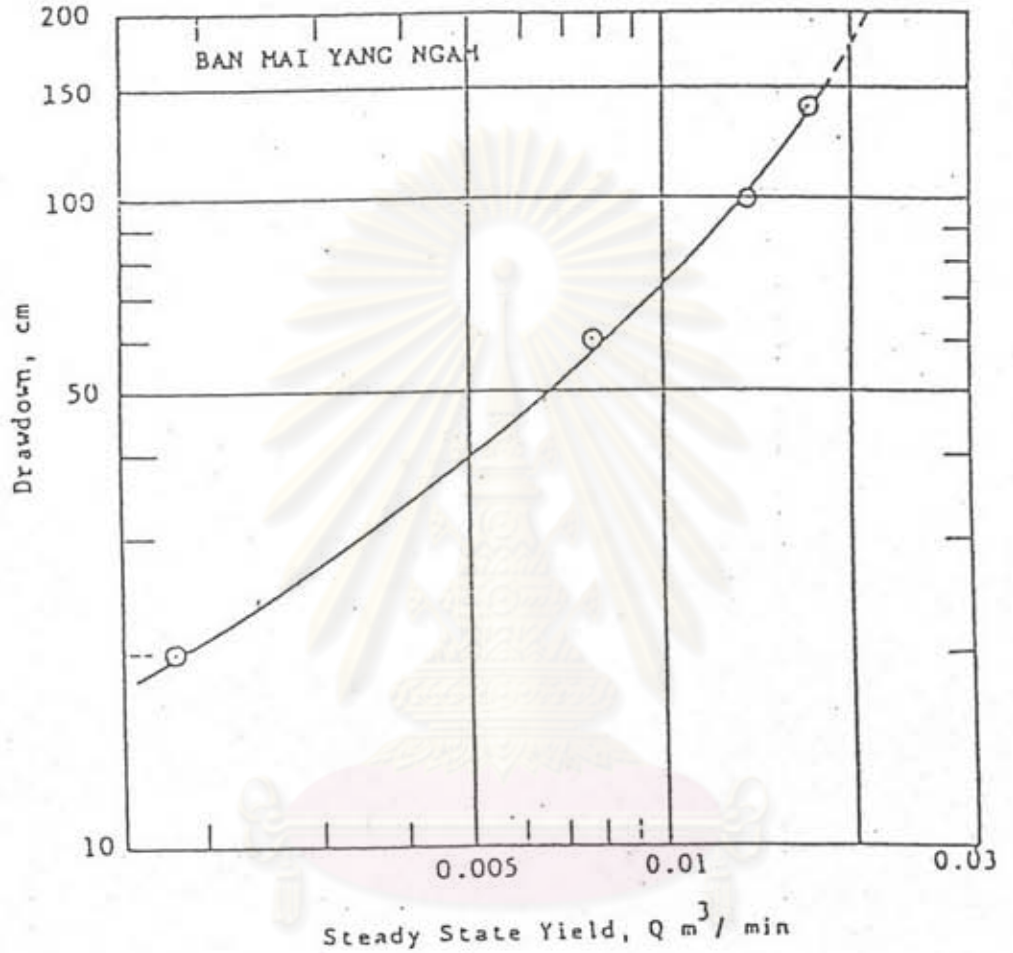
รูปที่ 3-14 เครื่องมือและวิธีการทดสอบสูบน้ำ (Pump Test)




Pumping Test of Shallow Wells : Observed Drawdown, Time, and Volume of Pumped Water

รูปที่ 3-15 ตัวอย่างผลการทดสอบสูบน้ำที่ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี

ที่มา : บ่อน้ำตื้น แนวทางในทางการประเมินปริมาณน้ำและการออกแบบ




รูปที่ 3-16 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการให้น้ำคงที่กับระยะน้ำลดของบ่อสูบทดสอบ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มา: บ่อน้ำตื้น แนวทางในการประเมินปริมาณน้ำและการออกแบบ

## 3.4 <u>ทฤษฎีการใช้น้ำของพืชและปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคของเกษตรกร</u>

สำหรับทฤษฎีการใช้น้ำของพืชและปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคของเกษตรกรจะนำมาใช้ในการประเมินปริมาณความต้องการใช้น้ำ (Water Demand) ในสภาพปัจจุบันและอนาคต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำให้สอดคล้องกับศักยภาพของแหล่งน้ำที่มีอยู่

### 3.4.1 น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

เนื่องจากน้ำสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภคนับเป็นปัจจัยในการยังชีพขั้นพื้นฐานของเกษตรกรที่อาศัยอยู่ในเขตปฏิรูปที่ดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง ในการประเมินปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคนั้น มีหลักเกณฑ์ดังนี้

- น้ำเพื่อการบริโภคของเกษตรกรประมาณ 5 ลิตร/คน/วัน
- น้ำเพื่อการอุปโภคของเกษตรกรประมาณ 50 ลิตร/คน/วัน
- น้ำเพื่อการเลี้ยงวัว-ควาย 50 ลิตร/ตัว/วัน
- น้ำเพื่อการเลี้ยงหมู 20 ลิตร/ตัว/วัน
- น้ำเพื่อการเลี้ยงเป็ด-ไก่ 0.15 ลิตร/ตัว/วัน

### 3.4.2 น้ำเพื่อการเกษตรกรรม

สำหรับน้ำเพื่อการเกษตรกรรมนั้น เป็นน้ำส่วนที่เหลือจากการอุปโภคและบริโภคของเกษตรกร ปริมาณน้ำที่เหลือจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับศักยภาพของแหล่งน้ำที่มีอยู่ ในกรณีที่มีไม่มากนักก็อาจจะเพียงพอสำหรับการเกษตรกรรมในครัวเรือนเท่านั้น แต่ถ้ามีปริมาณมากจึงนำมาใช้เพื่อการเกษตรกรรมโดยจะต้องเพียงพอตลอดฤดูกาลของพืช ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ จำนวนพื้นที่เกษตรกรรม ตลอดจนชนิดและระยะเวลาของการปลูกพืช (Cropping Pattern) โดยคำนึงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่เป็นหลักสำคัญ สำหรับการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชนั้นใช้วิธีการต่าง ๆ ดังนี้ ( Doorenbos,J.,and Pruitt,W.O. : 1977 )

#### 3.4.2.1 การคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี BLANEY-CRIDDLE

การคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี BLENEY-CRIDDLE ได้เริ่มพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2493 โดย BLENEY และ CRIDDLE ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลภูมิอากาศ 2 อย่าง คือ อุณหภูมิ และจำนวนชั่วโมงในช่วง ตามสมการ

$$ET_o = c[p(0.46T+8)] \qquad .....(3-33)$$

เมื่อ $ET_o$ = ปริมาณการใช้น้ำของพืชมีหน่วยเป็น มม./วัน

C = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด, ชั่วโมงกลางวัน และความเร็วลม

P = ค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ชั่วโมงกลางวัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

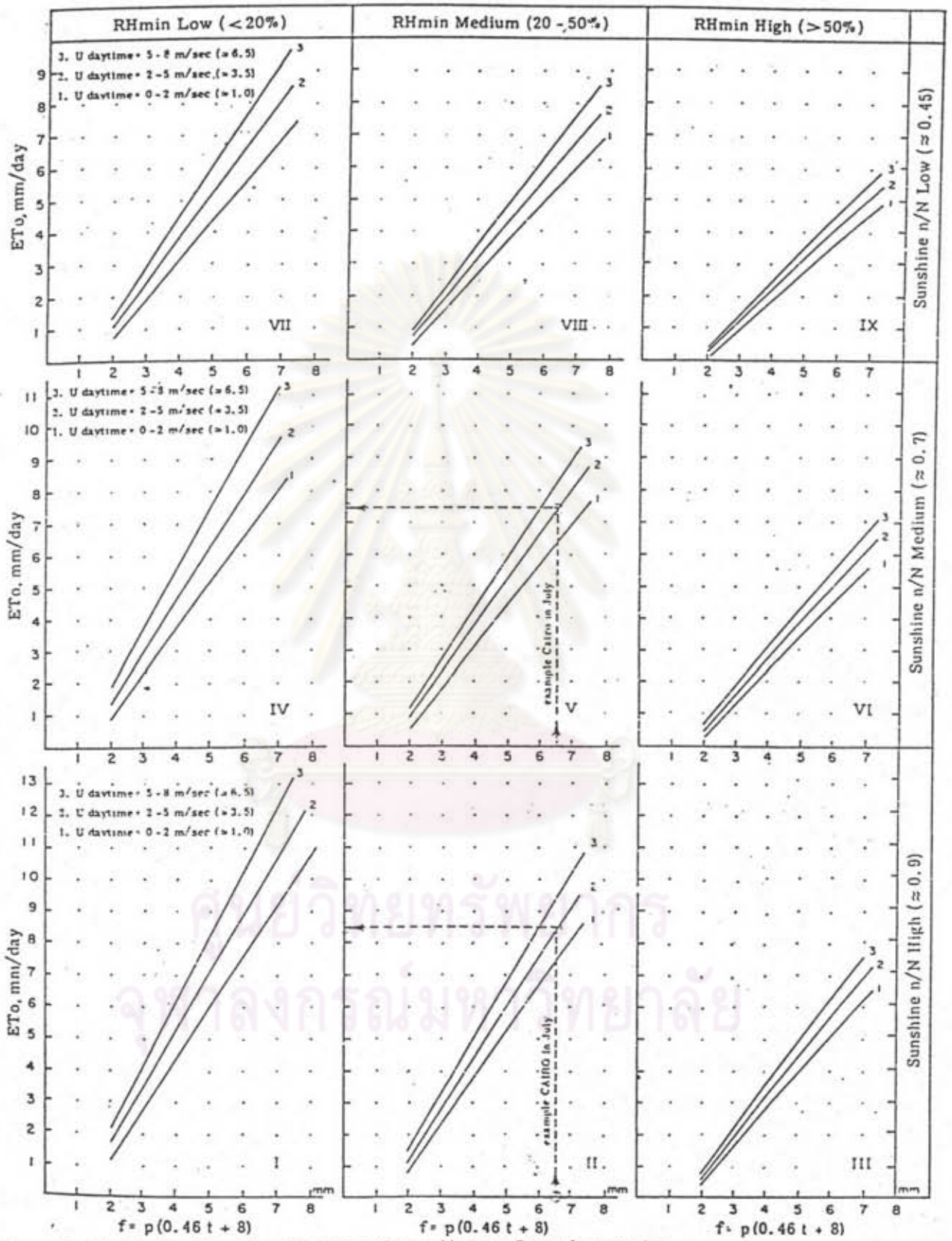
T = อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน มีหน่วยเป็น °C สำหรับเดือนต่าง ๆ

ตารางที่ 3.2 เปอร์เซนต์ชั่วโมงกลางวันในเดือนต่าง ๆ ของปี (p)

| ละติจูด | เหนือ | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ใต้ 1/ | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. |
| | 60° | .15 | .20 | .26 | .32 | .38 | .41 | .40 | .34 | .28 | .22 | .17 | .13 |
| | 58 | .16 | .21 | .26 | .32 | .37 | .40 | .39 | .34 | .28 | .23 | .18 | .15 |
| | 56 | .17 | .21 | .26 | .32 | .36 | .39 | .38 | .33 | .28 | .23 | .18 | .16 |
| | 54 | .18 | .22 | .26 | .31 | .36 | .38 | .37 | .33 | .28 | .23 | .19 | .17 |
| | 52 | .19 | .22 | .27 | .31 | .35 | .37 | .36 | .33 | .28 | .24 | .20 | .17 |
| | 50 | .19 | .23 | .27 | .31 | .34 | .36 | .35 | .32 | .28 | .24 | .20 | .18 |
| | 48 | .20 | .23 | .27 | .31 | .34 | .36 | .35 | .32 | .28 | .24 | .21 | .19 |
| | 46 | .20 | .23 | .27 | .30 | .34 | .35 | .34 | .32 | .28 | .24 | .21 | .20 |
| | 44 | .21 | .24 | .27 | .30 | .33 | .35 | .34 | .31 | .28 | .25 | .22 | .20 |
| | 42 | .21 | .24 | .27 | .30 | .33 | .34 | .33 | .31 | .28 | .25 | .22 | .21 |
| | 40 | .22 | .24 | .27 | .30 | .32 | .34 | .33 | .31 | .28 | .25 | .22 | .21 |
| | 35 | .23 | .25 | .27 | .29 | .31 | .32 | .32 | .30 | .28 | .25 | .23 | .22 |
| | 30 | .24 | .25 | .27 | .29 | .31 | .32 | .31 | .30 | .28 | .26 | .24 | .23 |
| | 25 | .24 | .26 | .27 | .29 | .30 | .31 | .31 | .29 | .28 | .26 | .25 | .24 |
| | 20 | .25 | .26 | .27 | .28 | .29 | .30 | .30 | .29 | .28 | .26 | .25 | .25 |
| | 15 | .26 | .26 | .27 | .28 | .29 | .29 | .29 | .28 | .28 | .27 | .26 | .25 |
| | 10 | .26 | .27 | .27 | .28 | .28 | .29 | .29 | .28 | .28 | .27 | .26 | .26 |
| | 5 | .27 | .27 | .27 | .28 | .28 | .28 | .28 | .28 | .28 | .27 | .27 | .27 |
| | 0 | .27 | .27 | .27 | .27 | .27 | .27 | .27 | .27 | .27 | .27 | .27 | .27 |

1/ ละติจูดใต้แตกต่างจากละติจูดเหนือ 6เดือนดังแสดงในตาราง

ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.




ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

**รูปที่ 3-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์( c ) และปริมาณการใช้น้ำของพืช**

3.4.2.2 การคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี RADIATION

การคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี RADIATION ปรับปรุงมาจากสูตรของ MAKKINK ซึ่งใช้สำหรับพื้นที่ที่มีข้อมูลภูมิอากาศ อุณหภูมิ รังสีดวงอาทิตย์ ต่างจากวิธีของ BLENEY-CRIDDLE ตรงที่ว่าได้นำค่ารังสีอาทิตย์ (SOLAR RADIATION) มาใช้ในการคำนวณดังสมการ

$$ETo = C(W.R_s) \qquad .....(3-34)$$

เมื่อ ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชมีหน่วยเป็น มม./วัน

C = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด, ชั่วโมงกลางวัน และความเร็วลม

W = สัมประสิทธิ์ของรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช ดังตารางที่ 3-3

Rs = รังสีอาทิตย์ ซึ่งเทียบเท่ากับการระเหยมีหน่วยเป็น มม./วัน

ในกรณีที่ไม่มีการวัดรังสีอาทิตย์ (Rs) ก็อาจคำนวณหาได้จากสูตร

$$Rs = (0.25+0.5n/N)Ra \qquad .....(3-35)$$

เมื่อ n/N = อัตราส่วนระหว่างชั่วโมงที่ได้รับแสงอาทิตย์จริง และจำนวนชั่วโมงสูงสุดที่มีแสดงอาทิตย์ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลานั้น ดังตารางที่ 3-4

Ra = ปริมาณรังสีอาทิตย์ ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุม ดังตารางที่ 3-5

3.4.2.3 การคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี PENMAN

การคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี PENMAN ค่อนข้างยุ่งยากกว่าวิธีอื่น ทั้งนี้เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศหลายอย่าง ซึ่งข้อมูลบางอย่างไม่สามารถวัดได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาจากความสัมพันธ์ของข้อมูลภูมิอากาศอื่น ๆ ดังสมการ

$$ETo = C[W.Rn+(1-W).f(u).(ea-ed)] \qquad .....(3-36)$$

เมื่อ ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชมีหน่วยเป็น มม./วัน

W = แฟคเตอร์สำหรับผลของรังสีที่อุณหภูมิและระดับความสูงต่าง ๆ ดังตารางที่ 3-3

Rn=Ra = ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุม ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-3 ค่าสัมประสิทธิ์ของรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืชที่อุณหภูมิ และความสูงต่าง ๆ

| อุณหภูมิ °C | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W ที่ความสูง-เมตร | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0.43 | .46 | .49 | .52 | .55 | .58 | .61 | .64 | .66 | .68 | .71 | .73 | .75 | .77 | .78 | .80 | .82 | .83 | .84 | .85 |
| 500 | .45 | .48 | .51 | .54 | .57 | .60 | .62 | .65 | .67 | .70 | .72 | .74 | .76 | .78 | .79 | .81 | .82 | .84 | .85 | .86 |
| 1 000 | .46 | .49 | .52 | .55 | .58 | .61 | .64 | .66 | .69 | .71 | .73 | .75 | .77 | .79 | .80 | .82 | .83 | .85 | .86 | .87 |
| 2 000 | .49 | .52 | .55 | .58 | .61 | .64 | .66 | .69 | .71 | .73 | .75 | .77 | .79 | .81 | .82 | .84 | .85 | .86 | .87 | .88 |
| 3 000 | .52 | .55 | .58 | .61 | .64 | .66 | .69 | .71 | .73 | .75 | .77 | .79 | .81 | .82 | .84 | .85 | .86 | .88 | .88 | .89 |
| 4 000 | .55 | .58 | .61 | .64 | .66 | .69 | .71 | .73 | .76 | .78 | .79 | .81 | .83 | .84 | .85 | .86 | .88 | .89 | .90 | .90 |

ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

ตารางที่ 3-4 จำนวนชั่วโมงสูงสุดที่มีแสงซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นสำหรับช่วงเดือนและละติจูดต่าง ๆ

| ละติจูด เหนือ / ใต้ | ม.ค. / ก.ค. | ก.พ. / ส.ค. | มี.ค. / ก.ย. | เม.ย. / ต.ค. | พ.ค. / พ.ย. | มิ.ย. / ธ.ค. | ก.ค. / ม.ค. | ส.ค. / ก.พ. | ก.ย. / มี.ค. | ต.ค. / เม.ย. | พ.ย. / พ.ค. | ธ.ค. / มิ.ย. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 8.5 | 10.1 | 11.8 | 13.8 | 15.4 | 16.3 | 15.9 | 14.5 | 12.7 | 10.8 | 9.1 | 8.1 |
| 48 | 8.8 | 10.2 | 11.8 | 13.6 | 15.2 | 16.0 | 15.6 | 14.3 | 12.6 | 10.9 | 9.3 | 8.3 |
| 46 | 9.1 | 10.4 | 11.9 | 13.5 | 14.9 | 15.7 | 15.4 | 14.2 | 12.6 | 10.9 | 9.5 | 8.7 |
| 44 | 9.3 | 10.5 | 11.9 | 13.4 | 14.7 | 15.4 | 15.2 | 14.0 | 12.6 | 11.0 | 9.7 | 8.9 |
| 42 | 9.4 | 10.6 | 11.9 | 13.4 | 14.6 | 15.2 | 14.9 | 13.9 | 12.6 | 11.1 | 9.8 | 9.1 |
| 40 | 9.6 | 10.7 | 11.9 | 13.3 | 14.4 | 15.0 | 14.7 | 13.7 | 12.5 | 11.2 | 10.0 | 9.3 |
| 35 | 10.1 | 11.0 | 11.9 | 13.1 | 14.0 | 14.5 | 14.3 | 13.5 | 12.4 | 11.3 | 10.3 | 9.8 |
| 30 | 10.4 | 11.1 | 12.0 | 12.9 | 13.6 | 14.0 | 13.9 | 13.2 | 12.4 | 11.5 | 10.6 | 10.2 |
| 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 |
| 0 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 |

ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

ตารางที่ 3-5 ปริมาณรังสีอาทิตย์ (Ra) เทียบเท่าการระเหยของน้ำ มีหน่วยเป็น มม./วัน

| ซีกโลกเหนือ | | | | | | | | | | | | | ละติจูด | ซีกโลกใต้ | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | | | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
| 3.8 | 6.1 | 9.4 | 12.7 | 15.8 | 17.1 | 16.4 | 14.1 | 10.9 | 7.4 | 4.5 | 3.2 | | 50° | 17.5 | 14.7 | 10.9 | 7.0 | 4.2 | 3.1 | 3.5 | 5.5 | 8.9 | 12.9 | 16.5 | 18.2 |
| 4.3 | 6.6 | 9.8 | 13.0 | 15.9 | 17.2 | 16.5 | 14.3 | 11.2 | 7.8 | 5.0 | 3.7 | | 48 | 17.6 | 14.9 | 11.2 | 7.5 | 4.7 | 3.5 | 4.0 | 6.0 | 9.3 | 13.2 | 16.6 | 18.2 |
| 4.9 | 7.1 | 10.2 | 13.3 | 16.0 | 17.2 | 16.6 | 14.5 | 11.5 | 8.3 | 5.5 | 4.3 | | 46 | 17.7 | 15.1 | 11.5 | 7.9 | 5.2 | 4.0 | 4.4 | 6.5 | 9.7 | 13.4 | 16.7 | 18.3 |
| 5.3 | 7.6 | 10.6 | 13.7 | 16.1 | 17.2 | 16.6 | 14.7 | 11.9 | 8.7 | 6.0 | 4.7 | | 44 | 17.8 | 15.3 | 11.9 | 8.4 | 5.7 | 4.4 | 4.9 | 6.9 | 10.2 | 13.7 | 16.7 | 18.3 |
| 5.9 | 8.1 | 11.0 | 14.0 | 16.2 | 17.3 | 16.7 | 15.0 | 12.2 | 9.1 | 6.5 | 5.2 | | 42 | 17.8 | 15.5 | 12.2 | 8.8 | 6.1 | 4.9 | 5.4 | 7.4 | 10.6 | 14.0 | 16.8 | 18.3 |
| 6.4 | 8.6 | 11.4 | 14.3 | 16.4 | 17.3 | 16.7 | 15.2 | 12.5 | 9.6 | 7.0 | 5.7 | | 40 | 17.9 | 15.7 | 12.5 | 9.2 | 6.6 | 5.3 | 5.9 | 7.9 | 11.0 | 14.2 | 16.9 | 18.3 |
| 6.9 | 9.0 | 11.8 | 14.5 | 16.4 | 17.2 | 16.7 | 15.3 | 12.8 | 10.0 | 7.5 | 6.1 | | 38 | 17.9 | 15.8 | 12.8 | 9.6 | 7.1 | 5.8 | 6.3 | 8.3 | 11.4 | 14.4 | 17.0 | 18.3 |
| 7.4 | 9.4 | 12.1 | 14.7 | 16.4 | 17.2 | 16.7 | 15.4 | 13.1 | 10.6 | 8.0 | 6.6 | | 36 | 17.9 | 16.0 | 13.2 | 10.1 | 7.5 | 6.3 | 6.8 | 8.8 | 11.7 | 14.6 | 17.0 | 18.2 |
| 7.9 | 9.8 | 12.4 | 14.8 | 16.5 | 17.1 | 16.8 | 15.5 | 13.4 | 10.8 | 8.5 | 7.2 | | 34 | 17.8 | 16.1 | 13.5 | 10.5 | 8.0 | 6.8 | 7.2 | 9.2 | 12.0 | 14.9 | 17.1 | 18.2 |
| 8.3 | 10.2 | 12.8 | 15.0 | 16.5 | 17.0 | 16.8 | 15.6 | 13.6 | 11.2 | 9.0 | 7.8 | | 32 | 17.8 | 16.2 | 13.8 | 10.9 | 8.5 | 7.3 | 7.7 | 9.6 | 12.4 | 15.1 | 17.2 | 18.1 |
| 8.8 | 10.7 | 13.1 | 15.2 | 16.5 | 17.0 | 16.8 | 15.7 | 13.9 | 11.6 | 9.5 | 8.3 | | 30 | 17.8 | 16.4 | 14.0 | 11.3 | 8.9 | 7.8 | 8.1 | 10.1 | 12.7 | 15.3 | 17.3 | 18.1 |
| 9.3 | 11.1 | 13.4 | 15.3 | 16.5 | 16.8 | 16.7 | 15.7 | 14.1 | 12.0 | 9.9 | 8.8 | | 28 | 17.7 | 16.4 | 14.3 | 11.6 | 9.3 | 8.2 | 8.6 | 10.4 | 13.0 | 15.4 | 17.2 | 17.9 |
| 9.8 | 11.5 | 13.7 | 15.3 | 16.4 | 16.7 | 16.6 | 15.7 | 14.3 | 12.3 | 10.3 | 9.3 | | 26 | 17.6 | 16.4 | 14.4 | 12.0 | 9.7 | 8.7 | 9.1 | 10.9 | 13.2 | 15.5 | 17.2 | 17.8 |
| 10.2 | 11.9 | 13.9 | 15.4 | 16.4 | 16.6 | 16.5 | 15.8 | 14.5 | 12.6 | 10.7 | 9.7 | | 24 | 17.5 | 16.5 | 14.6 | 12.3 | 10.2 | 9.1 | 9.5 | 11.2 | 13.4 | 15.6 | 17.1 | 17.7 |
| 10.7 | 12.3 | 14.2 | 15.5 | 16.3 | 16.4 | 16.4 | 15.8 | 14.6 | 13.0 | 11.1 | 10.2 | | 22 | 17.4 | 16.5 | 14.8 | 12.6 | 10.6 | 9.6 | 10.0 | 11.6 | 13.7 | 15.7 | 17.0 | 17.5 |
| 11.2 | 12.7 | 14.4 | 15.6 | 16.3 | 16.4 | 16.3 | 15.9 | 14.8 | 13.3 | 11.6 | 10.7 | | 20 | 17.3 | 16.5 | 15.0 | 13.0 | 11.0 | 10.0 | 10.4 | 12.0 | 13.9 | 15.8 | 17.0 | 17.4 |
| 11.6 | 13.0 | 14.6 | 15.6 | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 15.8 | 14.9 | 13.6 | 12.0 | 11.1 | | 18 | 17.1 | 16.5 | 15.1 | 13.2 | 11.4 | 10.4 | 10.8 | 12.3 | 14.1 | 15.8 | 16.8 | 17.1 |
| 12.0 | 13.3 | 14.7 | 15.6 | 16.0 | 15.9 | 15.9 | 15.7 | 15.0 | 13.9 | 12.4 | 11.6 | | 16 | 16.9 | 16.4 | 15.2 | 13.5 | 11.7 | 10.8 | 11.2 | 12.6 | 14.3 | 15.8 | 16.7 | 16.8 |
| 12.4 | 13.6 | 14.9 | 15.7 | 15.8 | 15.7 | 15.7 | 15.7 | 15.1 | 14.1 | 12.8 | 12.0 | | 14 | 16.7 | 16.4 | 15.3 | 13.7 | 12.1 | 11.2 | 11.6 | 12.9 | 14.5 | 15.8 | 16.5 | 16.6 |
| 12.8 | 13.9 | 15.1 | 15.7 | 15.7 | 15.5 | 15.5 | 15.6 | 15.2 | 14.4 | 13.3 | 12.5 | | 12 | 16.6 | 16.3 | 15.4 | 14.0 | 12.5 | 11.6 | 12.0 | 13.2 | 14.7 | 15.8 | 16.4 | 16.5 |
| 13.2 | 14.2 | 15.3 | 15.7 | 15.5 | 15.3 | 15.3 | 15.5 | 15.3 | 14.7 | 13.6 | 12.9 | | 10 | 16.4 | 16.3 | 15.5 | 14.2 | 12.8 | 12.0 | 12.4 | 13.5 | 14.8 | 15.9 | 16.2 | 16.2 |
| 13.6 | 14.5 | 15.3 | 15.6 | 15.3 | 15.0 | 15.1 | 15.4 | 15.3 | 14.8 | 13.9 | 13.3 | | 8 | 16.1 | 16.1 | 15.5 | 14.4 | 13.1 | 12.4 | 12.7 | 13.7 | 14.9 | 15.8 | 16.0 | 16.0 |
| 13.9 | 14.8 | 15.4 | 15.4 | 15.1 | 14.7 | 14.9 | 15.2 | 15.3 | 15.0 | 14.2 | 13.7 | | 6 | 15.8 | 16.0 | 15.6 | 14.7 | 13.4 | 12.8 | 13.1 | 14.0 | 15.0 | 15.7 | 15.8 | 15.7 |
| 14.3 | 15.0 | 15.5 | 15.5 | 14.9 | 14.4 | 14.6 | 15.1 | 15.3 | 15.1 | 14.5 | 14.1 | | 4 | 15.5 | 15.8 | 15.6 | 14.9 | 13.8 | 13.2 | 13.4 | 14.3 | 15.1 | 15.6 | 15.5 | 15.4 |
| 14.7 | 15.3 | 15.6 | 15.3 | 14.6 | 14.2 | 14.3 | 14.9 | 15.3 | 15.3 | 14.8 | 14.4 | | 2 | 15.3 | 15.7 | 15.7 | 15.1 | 14.1 | 13.5 | 13.7 | 14.5 | 15.2 | 15.5 | 15.3 | 15.1 |
| 15.0 | 15.5 | 15.7 | 15.3 | 14.4 | 13.9 | 14.1 | 14.8 | 15.3 | 15.4 | 15.1 | 14.8 | | 0 | 15.0 | 15.5 | 15.7 | 15.3 | 14.4 | 13.9 | 14.1 | 14.8 | 15.3 | 15.4 | 15.1 | 14.8 |

ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

f(u) = ค่าสัมประสิทธิ์เนื่องจากผลของลมต่อปริมาณการใช้น้ำของพืช

= 0.27(1+U/100) โดยที่ U คือ ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร มีหน่วยเป็น กม./วัน ดังตารางที่ 3-6

(ea-ed) = ผลต่างระหว่าง ความดันไอน้ำอิ่มตัวของบรรยากาศ และความดันไอน้ำในบรรยากาศ มีหน่วยเป็น mbar ดังตารางที่ 3-7 และ 3-8

C = ค่าปรับแก้สำหรับวิธีของ PENMAN ดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-6 ค่าสัมประสิทธิ์เนื่องจากผลของลม (วัดที่ความสูง 2 เมตร) ต่อปริมาณการใช้น้ำของพืช

f(u) = 0.27 (1 + U/100 )

| ลม กม./วัน (u) | วัดที่ระดับความสูง ( เมตร ) 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | - | .30 | .32 | .35 | .38 | .41 | .43 | .46 | .49 | .51 |
| 100 | .54 | .57 | .59 | .62 | .65 | .67 | .70 | .73 | .76 | .78 |
| 200 | .81 | .84 | .86 | .89* | .92 | .94 | .97 | 1.00 | 1.03 | 1.05 |
| 300 | 1.08 | 1.11 | 1.13 | 1.16 | 1.19 | 1.21 | 1.24 | 1.27 | 1.30 | 1.32 |
| 400 | 1.35 | 1.38 | 1.40 | 1.43 | 1.46 | 1.49 | 1.51 | 1.54 | 1.57 | 1.59 |
| 500 | 1.62 | 1.65 | 1.67 | 1.70 | 1.73 | 1.76 | 1.78 | 1.81 | 1.84 | 1.90 |
| 600 | 1.89 | 1.92 | 1.94 | 1.97 | 2.00 | 2.02 | 2.05 | 2.08 | 2.11 | 2.15 |
| 700 | 2.16 | 2.19 | 2.21 | 2.24 | 2.27 | 2.29 | 2.32 | 2.35 | 2.38 | 2.40 |
| 800 | 2.43 | 2.46 | 2.48 | 2.51 | 2.54 | 2.56 | 2.59 | 2.62 | 2.64 | 2.65 |
| 900 | 2.70 | | | | | | | | | |

ที่มา : Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

ตารางที่ 3-7 ความดันไออิ่มตัว(ea)ที่อุณหภูมิ T C มีหน่วยเป็น mbar

| อุณหภูมิ( °C) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ea(mbar) | 6.1 | 6.6 | 7.1 | 7.6 | 8.1 | 8.7 | 9.3 | 10.0 | 10.7 | 11.5 |

| อุณหภูมิ( °C) | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ea(mbar) | 12.3 | 13.1 | 14.0 | 15.0 | 16.1 | 17.0 | 18.2 | 19.4 | 20.6 | 22.0 |

| อุณหภูมิ( °C) | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ea(mbar) | 23.4 | 24.9 | 26.4 | 28.1 | 29.8 | 31.7 | 33.6 | 35.7 | 37.8 | 40.1 |

| อุณหภูมิ( °C) | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ea(mbar) | 42.4 | 44.9 | 47.6 | 50.3 | 53.2 | 56.2 | 59.4 | 62.8 | 66.3 | 69.9 |

ที่มา : Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-8ก ความดันไอ (ea) จากอุณหภูมิกระเปาะเปียก/กระเปาะแห้ง ( °C)
มีหน่วยเป็น mbar (Aspirated Psychrometer)

| อุณหภูมิกระเปาะเปียก(T°C)ที่ความสูง 0-1000 เมตร | | | | | | | | | | | | | กระเปาะแห้ง | อุณหภูมิกระเปาะเปียก(T°C)ที่ความสูง 1000-2000 เมตร | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | | T°C | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 73.8 | 64.9 | 56.8 | 49.2 | 42.2 | 35.8 | 29.8 | 24.3 | 19.2 | 14.4 | 10.1 | 6.0 | | 40 | 73.8 | 65.2 | 57.1 | 49.8 | 43.0 | 41.8 | 31.0 | 25.6 | 20.7 | 16.2 | 12.0 | 8.1 |
| 66.3 | 58.1 | 50.5 | 43.6 | 37.1 | 31.1 | 25.6 | 20.5 | 15.8 | 11.4 | 7.3 | | | 38 | 66.3 | 58.2 | 50.9 | 44.1 | 37.9 | 36.7 | 26.8 | 21.8 | 17.3 | 13.2 | 9.2 | 5.7 |
| 59.4 | 51.9 | 44.9 | 38.4 | 32.5 | 26.9 | 21.8 | 17.1 | 12.7 | 8.6 | 4.9 | | | 36 | 59.4 | 52.1 | 45.2 | 39.0 | 33.3 | 32.1 | 23.0 | 18.4 | 14.3 | 10.4 | 6.8 | 3.5 |
| 53.2 | 46.2 | 39.8 | 33.8 | 28.3 | 23.2 | 18.4 | 14.0 | 10.0 | 6.2 | | | | 34 | 53.2 | 46.4 | 40.1 | 34.4 | 29.1 | 24.1 | 19.6 | 15.4 | 11.5 | 8.0 | 4.6 | 1.5 |
| 47.5 | 41.1 | 35.1 | 29.6 | 24.5 | 19.8 | 15.4 | 11.3 | 7.5 | 4.0 | | | | 32 | 47.5 | 41.3 | 35.5 | 30.2 | 25.3 | 20.7 | 16.6 | 12.6 | 9.1 | 5.8 | 2.6 | |
| 42.4 | 36.5 | 30.9 | 25.8 | 21.1 | 16.7 | 12.6 | 8.8 | 5.3 | | | | | 30 | 42.4 | 36.7 | 31.3 | 26.4 | 21.9 | 17.7 | 13.8 | 10.2 | 6.9 | 3.8 | 0.9 | |
| 37.8 | 32.3 | 27.2 | 22.4 | 18.0 | 14.0 | 10.2 | 6.7 | 3.4 | | | | | 28 | 37.8 | 32.5 | 27.5 | 23.0 | 18.9 | 14.9 | 11.4 | 8.0 | 4.9 | 2.1 | | |
| 33.6 | 28.5 | 23.8 | 19.4 | 15.3 | 11.5 | 8.0 | 4.7 | 1.6 | | | | | 26 | 33.6 | 28.7 | 24.1 | 20.0 | 16.1 | 12.5 | 9.2 | 6.0 | 3.2 | 0.5 | | |
| 29.8 | 25.1 | 20.7 | 16.6 | 12.8 | 9.3 | 6.0 | 2.9 | | | | | | 24 | 29.8 | 25.3 | 21.1 | 17.2 | 13.9 | 10.3 | 7.2 | 4.3 | 1.6 | | | |
| 26.4 | 22.0 | 18.0 | 14.2 | 10.6 | 7.4 | 4.3 | 1.4 | | | | | | 22 | 26.4 | 22.3 | 18.3 | 14.3 | 11.5 | 8.3 | 5.5 | 2.7 | 0.2 | | | |
| 23.4 | 19.3 | 15.5 | 12.0 | 8.7 | 5.6 | 2.7 | | | | | | | 20 | 23.4 | 19.5 | 15.9 | 12.6 | 9.5 | 6.6 | 3.9 | 1.3 | | | | |
| 20.6 | 16.8 | 13.3 | 10.0 | 6.9 | 4.1 | 1.4 | | | | | | | 18 | 20.6 | 17.1 | 13.7 | 10.6 | 7.8 | 5.0 | 2.5 | 0.1 | | | | |
| 18.2 | 14.6 | 11.4 | 8.3 | 5.4 | 2.7 | | | | | | | | 16 | 18.2 | 14.9 | 11.7 | 8.9 | 6.2 | 3.6 | 1.3 | | | | | |
| 16.0 | 12.7 | 9.6 | 6.7 | 4.0 | 1.5 | | | | | | | | 14 | 16.0 | 12.9 | 10.0 | 7.3 | 4.8 | 2.4 | 0.3 | | | | | |
| 14.0 | 10.9 | 8.1 | 5.3 | 2.8 | | | | | | | | | 12 | 14.0 | 11.2 | 8.4 | 5.9 | 3.6 | 1.4 | | | | | | |
| 12.3 | 9.4 | 6.7 | 4.1 | 1.7 | | | | | | | | | 10 | 12.3 | 9.6 | 7.0 | 4.7 | 2.6 | 0.4 | | | | | | |
| 10.7 | 8.0 | 5.5 | 3.1 | 0.8 | | | | | | | | | 8 | 10.7 | 8.2 | 5.8 | 3.7 | 1.6 | | | | | | | |
| 9.3 | 6.8 | 4.4 | 2.1 | | | | | | | | | | 6 | 9.3 | 7.0 | 4.8 | 2.7 | 0.7 | | | | | | | |
| 8.1 | 5.7 | 3.4 | 1.6 | | | | | | | | | | 4 | 8.1 | 6.0 | 3.8 | 1.8 | | | | | | | | |
| 7.1 | 4.8 | 2.8 | 0.8 | | | | | | | | | | 2 | 7.1 | 5.0 | 2.9 | 1.0 | | | | | | | | |
| 6.1 | 4.0 | 2.0 | | | | | | | | | | | 0 | 6.1 | 4.1 | 2.1 | | | | | | | | | |

ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-8ข ความดันไอ (ed) จากอุณหภูมิกระเปาะเปียก/กระเปาะแห้ง ( °C)
มีหน่วยเป็น mbar (Non-Ventilated Psychrometer)

| อุณหภูมิกระเปาะเปียก(T°C)ที่ความสูง 0-1000 เมตร | | | | | | | | | | | | กระเปาะแห้ง T °C | อุณหภูมิกระเปาะเปียก(T°C)ที่ความสูง 1000-2000 เมตร | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 73.8 | 64.7 | 56.2 | 48.4 | 41.2 | 34.4 | 28.2 | 22.4 | 17.0 | 12.0 | 7.4 | 3.0 | 40 | 73.8 | 64.9 | 56.7 | 49.1 | 42.0 | 35.6 | 29.6 | 34.1 | 18.9 | 14.1 | 9.8 | 5.6 |
| 66.3 | 57.8 | 50.0 | 42.8 | 36.0 | 29.8 | 24.0 | 18.6 | 13.6 | 9.0 | 4.6 | 0.6 | 38 | 66.3 | 58.0 | 50.5 | 43.4 | 36.9 | 31.0 | 25.4 | 20.3 | 15.5 | 11.1 | 7.0 | 3.2 |
| 59.4 | 51.6 | 44.4 | 37.6 | 31.4 | 25.6 | 20.2 | 15.2 | 10.6 | 6.2 | 2.2 | | 36 | 59.4 | 51.8 | 44.8 | 38.3 | 32.3 | 26.8 | 21.2 | 16.9 | 12.5 | 8.3 | 4.6 | 1.0 |
| 53.2 | 45.9 | 39.2 | 33.0 | 27.2 | 21.8 | 16.8 | 12.2 | 7.8 | 3.8 | | | 34 | 53.2 | 46.1 | 39.7 | 33.7 | 28.1 | 23.0 | 18.2 | 13.9 | 9.7 | 5.9 | 2.4 | |
| 47.5 | 40.8 | 34.6 | 28.8 | 23.4 | 18.4 | 13.8 | 9.4 | 5.4 | 1.6 | | | 32 | 47.5 | 41.0 | 35.1 | 29.5 | 24.3 | 19.6 | 15.2 | 11.1 | 7.3 | 3.7 | 0.4 | |
| 42.4 | 36.2 | 30.4 | 25.0 | 20.0 | 15.4 | 11.0 | 7.0 | 3.2 | | | | 30 | 42.4 | 36.4 | 30.9 | 25.7 | 20.9 | 16.6 | 12.4 | 8.7 | 5.1 | 1.7 | | |
| 37.8 | 32.0 | 26.6 | 21.6 | 17.0 | 12.6 | 8.6 | 4.8 | 1.2 | | | | 28 | 37.8 | 32.2 | 27.1 | 22.3 | 17.9 | 13.8 | 10.0 | 6.5 | 3.1 | | | |
| 33.6 | 28.2 | 23.2 | 18.6 | 14.2 | 10.2 | 6.4 | 2.8 | | | | | 26 | 33.6 | 28.4 | 23.7 | 19.3 | 15.1 | 11.4 | 7.8 | 4.5 | 1.4 | | | |
| 29.8 | 24.8 | 20.2 | 15.8 | 11.8 | 8.0 | 4.4 | 1.1 | | | | | 24 | 29.8 | 25.0 | 20.7 | 16.5 | 12.7 | 9.2 | 5.8 | 2.8 | | | | |
| 26.4 | 21.8 | 17.4 | 13.4 | 9.6 | 6.0 | 2.7 | | | | | | 22 | 26.4 | 22.0 | 17.9 | 14.1 | 10.5 | 7.2 | 4.1 | 1.2 | | | | |
| 23.4 | 19.0 | 15.0 | 11.2 | 7.6 | 4.3 | 1.1 | | | | | | 20 | 23.4 | 19.2 | 15.5 | 11.9 | 8.5 | 5.5 | 2.5 | | | | | |
| 20.6 | 16.6 | 12.8 | 9.2 | 5.9 | 2.7 | | | | | | | 18 | 20.6 | 16.8 | 13.3 | 9.9 | 6.8 | 3.9 | 1.1 | | | | | |
| 18.2 | 14.4 | 10.8 | 7.5 | 4.3 | 1.4 | | | | | | | 16 | 18.2 | 14.6 | 11.3 | 8.2 | 5.2 | 2.5 | | | | | | |
| 16.0 | 12.4 | 9.1 | 5.9 | 3.0 | 0.1 | | | | | | | 14 | 16.0 | 12.6 | 9.6 | 6.6 | 3.8 | 1.3 | | | | | | |
| 14.0 | 10.7 | 7.5 | 4.6 | 1.7 | | | | | | | | 12 | 14.0 | 10.9 | 8.0 | 5.2 | 2.6 | 0.3 | | | | | | |
| 12.3 | 9.1 | 6.1 | 3.3 | 0.7 | | | | | | | | 10 | 12.3 | 9.3 | 6.7 | 4.0 | 1.6 | | | | | | | |
| 10.7 | 7.7 | 4.9 | 2.3 | | | | | | | | | 8 | 10.7 | 7.9 | 5.4 | 3.0 | 0.6 | | | | | | | |
| 9.3 | 6.5 | 3.9 | 1.5 | | | | | | | | | 6 | 9.3 | 6.7 | 4.4 | 2.0 | | | | | | | | |
| 8.1 | 5.5 | 2.9 | 0.9 | | | | | | | | | 4 | 8.1 | 5.7 | 3.4 | 1.1 | | | | | | | | |
| 7.1 | 4.5 | 2.3 | | | | | | | | | | 2 | 7.1 | 4.7 | 2.5 | 0.3 | | | | | | | | |
| 6.1 | 3.7 | 1.5 | | | | | | | | | | 0 | 6.1 | 3.8 | 1.7 | | | | | | | | | |

ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-9 ค่าปรับแก้ (C) สำหรับวิธีของ PENMAN

| | RHmax = 30% | | | | RHmax = 60% | | | | RHmax = 90% | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rs มม./วัน | 3 | 6 | 9 | 12 | 3 | 6 | 9 | 12 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| Uday ม./วินาที | Uday/Unight = 4.0 | | | | | | | | | | | |
| 0 | .89 | .90 | 1.00 | 1.00 | .96 | .98 | 1.05 | 1.05 | 1.02 | 1.06 | 1.10 | 1.10 |
| 3 | .79 | .84 | .92 | .97 | .92 | 1.00 | 1.11 | 1.19 | .99 | 1.10 | 1.27 | 1.32 |
| 6 | .68 | .77 | .87 | .93 | .85 | .96 | 1.11 | 1.19 | .94 | 1.10 | 1.26 | 1.33 |
| 9 | .55 | .65 | .78 | .90 | .76 | .88 | 1.02 | 1.14 | .88 | 1.01 | 1.16 | 1.27 |
| Uday/Unight = 3.0 | | | | | | | | | | | | |
| 0 | .86 | .90 | 1.00 | 1.00 | .96 | .98 | 1.05 | 1.05 | 1.02 | 1.06 | 1.10 | 1.10 |
| 3 | .76 | .81 | .88 | .94 | .87 | .96 | 1.06 | 1.12 | .94 | 1.04 | 1.18 | 1.28 |
| 6 | .61 | .68 | .81 | .88 | .77 | .88 | 1.02 | 1.10 | .86 | 1.01 | 1.15 | 1.22 |
| 9 | .79 | .56 | .72 | .82 | .67 | .79 | .88 | 1.05 | .78 | .92 | 1.06 | 1.18 |
| Uday/Unight = 2.0 | | | | | | | | | | | | |
| 0 | .86 | .90 | 1.00 | 1.00 | .96 | .98 | 1.05 | 1.05 | 1.02 | 1.06 | 1.10 | 1.10 |
| 3 | .69 | .76 | .85 | .92 | .83 | .91 | .99 | 1.05 | .89 | .98 | 1.10 | 1.14 |
| 6 | .53 | .61 | .74 | .84 | .70 | .80 | .94 | 1.02 | .79 | .92 | 1.05 | 1.12 |
| 9 | .37 | .78 | .65 | .76 | .59 | .70 | .84 | .95 | .71 | .81 | .96 | 1.06 |
| Uday/Unight = 1.0 | | | | | | | | | | | | |
| 0 | .89 | .90 | 1.00 | 1.00 | .96 | .98 | 1.05 | 1.05 | 1.02 | 1.06 | 1.10 | 1.10 |
| 3 | .64 | .71 | .82 | .89 | .78 | .86 | .94 | .99 | .85 | .92 | 1.01 | 1.05 |
| 6 | .43 | .53 | .68 | .79 | .62 | .70 | .84 | .93 | .72 | .82 | .95 | 1.00 |
| 9 | .27 | .41 | .59 | .70 | .50 | .60 | .75 | .87 | .62 | .72 | .87 | .96 |

ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

3.4.2.4 การคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี PAN EVAPORATION

การคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี PAN EVAPORATION จำเป็นต้องทราบอัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำของพืชกับอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหย อัตราส่วนดังกล่าวนี้บางครั้งเรียกว่า สัมประสิทธิ์รวมของถาด (ABSOLUTE PAN COEFFICIENT) ซึ่งเขียนเป็นสมการ

$$ET_o = K_p . E_{pan} \quad .....(3-37)$$

เมื่อ $ET_o$ = ปริมาณการใช้น้ำของพืชมีหน่วยเป็น มม./วัน

$K_p$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย ดังตารางที่ 3-10

$E_{pan}$ = ค่าการระเหยจากถาด มีหน่วยเป็น มม./วัน

## 3.5 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางเลือกในการพิจารณาวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำในเขตพื้นที่โครงการปฏิรูปที่ดินฯ นั้น จะวิเคราะห์โดยวิธีเงินลงทุนโครงการต่ำสุด (Minimize Project Cost) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นโครงการพัฒนาปัจจัยพื้นฐานในการยังชีพของเกษตรกร โดยรัฐบาลจัดสรรเงินงบประมาณแผ่นดินมาดำเนินการ ซึ่งไม่คำนึงถึงรายได้ที่จะได้รับจากโครงการ การวิเคราะห์จะเป็นการเปลี่ยนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ของโครงการเป็นค่าเงินปัจจุบัน ดังสมการ ( สมบูรณ์ ลุวีระ : 2530 )

$$Min.CC = I + R(P/F,i\%,n) + Ac/i \quad .....(3-38)$$

เมื่อ CC = เงินลงทุนโครงการ

I = ค่าใช้จ่ายลงทุนโครงการเมื่อเริ่มโครงการ

R = ค่าใช้จ่ายสำหรับการซ่อมแซม

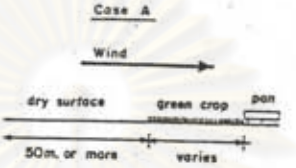
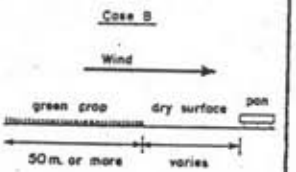
P/F = การเปลี่ยนค่าเงินในอนาคตเป็นค่าเงินในปัจจุบัน

n = ปีที่ทำการซ่อมแซม

Ac = ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อปี

i = อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราผลตอบแทน

ตารางที่ 3-10 ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย (Kp) สำหรับ Class A Pan

| Class A pan | Case A: กรณีถาดวางอยู่ในพื้นที่ซึ่งมีการปลูกพืชสั้น ๆ | | | | Case B1/ กรณีถาดวางอยู่ในพื้นที่โล่งผิวดินแห้ง | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย | | ต่ำ <40 | ปานกลาง 40-70 | สูง >70 | | ต่ำ <40 | ปานกลาง 40-70 | สูง >70 |
| ลม กม./วัน | ระยะการปลูกพืชทางด้านที่ลมพัดเข้า ( เมตร ) |  | | | ระยะที่เป็นที่โล่งผิวดินแห้ง ( เมตร ) |  | | |
| ลมอ่อน | 1 | .55 | .65 | .75 | 1 | .7 | .8 | .85 |
| <175 | 10 | .65 | .75 | .85 | 10 | .6 | .7 | .8 |
| | 100 | .7 | .8 | .85 | 100 | .55 | .65 | .75 |
| | 1000 | .75 | .85 | .85 | 1000 | .5 | .6 | .7 |
| ลมปานกลาง | 1 | .5 | .6 | .65 | 1 | .65 | .75 | .8 |
| 175-425 | 10 | .6 | .7 | .75 | 10 | .55 | .65 | .7 |
| | 100 | .65 | .75 | .8 | 100 | .5 | .6 | .65 |
| | 1000 | .7 | .8 | .8 | 1000 | .45 | .55 | .6 |
| ลมแรง | 1 | .45 | .5 | .6 | 1 | .6 | .65 | .7 |
| 425-700 | 10 | .55 | .6 | .65 | 10 | .5 | .55 | .65 |
| | 100 | .6 | .65 | .7 | 100 | .45 | .5 | .6 |
| | 1000 | .65 | .7 | .75 | 1000 | .4 | .45 | .55 |
| ลมแรงจัด | 1 | .4 | .45 | .5 | 1 | .5 | .6 | .65 |
| >700 | 10 | .45 | .55 | .6 | 10 | .45 | .5 | .55 |
| | 100 | .5 | .6 | .65 | 100 | .4 | .45 | .5 |
| | 1000 | .55 | .6 | .65 | 1000 | .35 | .4 | .45 |

ที่มา: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย