บทที่ 2

แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประเมินปริมาณน้ำท่า

การประเมินปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ ในอดีตมีการพัฒนาแนวทางอย่างมากมายและหลากหลาย ซึ่งการประเมินน้ำไหลบ่าดังกล่าวอาศัยการประเมินโอกาสของฝนที่ตก ตลอดจนอุณหภูมิและแสงแดด ควบคู่กับการพิจารณาคุณลักษณะของพื้นที่ในลุ่มน้ำ ที่ประกอบด้วยสภาพภูมิประเทศ ลักษณะดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น วิธีการ Rational วิธีการ Cook's และวิธีการ United States Soil Conservation Service (US-SCS) เป็นต้น ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ระบบเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาช่วยในการประเมิน เพื่อระบุพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำไหลบ่าและมีโอกาสที่จะเกิดน้ำท่วมได้ (Woo Sung *et al*., 1995; Nyarko, 2002) อย่างไรก็ตามแนวทางดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงการการประเมินถึงความเชื่อมโยงของลักษณะการไหลของน้ำ โดยอาศัยข้อมูลลักษณะภูมิสัณฐานซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำ การเคลื่อนย้ายของตะกอน และการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการอาศัยสมรรถนะของระบบภูมิสารสนเทศเข้ามาช่วย

Cheng *et al*. (2006) ได้ประเมินอัตราการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน โดยใช้แบบจำลอง IHACRES (Identification of Unit Hydrographs and Component Flow from Rainfall, Evaporation, Stream flow data) (Jakeman, 1990) ร่วมกับการประเมินค่า Curve Number (CN) โดยวิธี US-SCS เพื่อประโยชน์ในการทำนายการไหลบ่าของน้ำในพื้นที่ The Oak Ridges Moraine ซึ่งเป็นการรวม แบบจำลองในลักษณะของ Conceptual model ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณฝนและปริมาณน้ำไหลบ่า โดยใช้วิธีการคำนวณแบบไม่เป็นเส้นตรงของปริมาณฝนที่เป็นประโยชน์ (Effective rainfall) จากปริมาณฝนกับอุณหภูมิ และการคำนวณแบบเส้นตรงของปริมาณฝนที่เป็นประโยชน์ กับปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ ในการคำนวณของแบบจำลองนี้มีลักษณะเป็นแบบจำลอง Black box มีสมการที่ซับซ้อนอยู่ข้างใน และไม่ได้คำนึงสภาพภูมิประเทศจริงของพื้นที่ รวมไปถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดการที่มีผลต่อการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 แบบจำลอง SWAT

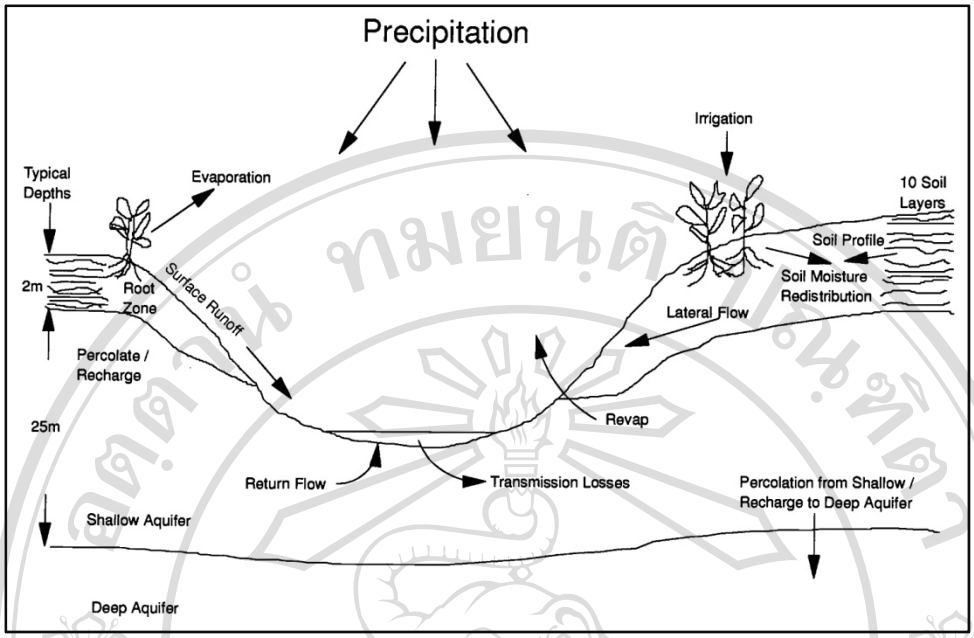
Arnold *et al*. (1998) ได้พัฒนาเครื่องมือ Soil and Water Assessment Tool (SWAT) สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ โดยสามารถคำนวณเป็นรายวันต่อเนื่องตามระยะเวลาที่ยาวนานได้ แบบจำลอง SWAT อาศัยข้อมูลเชิงกายภาพ โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ ข้อมูลด้านภูมิอากาศ ด้านอุทกวิทยา ด้านอุณหภูมิ คุณสมบัติดิน ด้านการเจริญเติบโตของพืช ด้านธาตุอาหารพืช ด้านสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ด้านแบคทีเรียและโรคพืช และด้านการจัดการที่ดิน ในการประมาณค่าดัชนีที่บ่งชี้ความสมบูรณ์ของลุ่มน้ำ โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และภายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยก็จะถูกแบ่งเป็น หน่วยจัดการอุทกวิยา (Hydrologic Response Units, HRUs) ซึ่งเป็นการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการที่ดิน และคุณสมบัติดิน ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน (Gassman, 2007)

การประมาณค่าทางอุทกวิยาจะใช้หลักการทางด้านสมดุลของน้ำ แสดงดังภาพที่ 2.1 โดยปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดิน จะเท่ากับปริมาณน้ำที่ดินได้รับมา ลบกับปริมาณน้ำที่ดินสูญเสียไป ปริมาณน้ำที่ดินได้รับมาประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำชลประทาน ส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสียไปประกอบด้วย ปริมาณน้ำไหลบ่า ปริมาณการคายระเหยของน้ำ ปริมาณการซึมลึกลงไปใต้ดินของน้ำ และปริมาณการไหลลงแม่น้ำ ดังสมการ (1)

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^{t}(R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \qquad \textbf{(1)}$$

เมื่อ SW คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ (Available water capacity, AWC) (มิลลิเมตร), t คือ ช่วงระยะเวลา i คือ เวลา (วัน), R คือ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร), Q คือ ปริมาณน้ำไหลบ่า (มิลลิเมตร), ET คือ ปริมาณการคายระเหย (มิลลิเมตร), P คือ ปริมาณน้ำที่ซึมลึกลงไปใต้ดิน (มิลลิเมตร), และ QR คือ ปริมาณน้ำที่ไหลลงแม่น้ำ (มิลลิเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

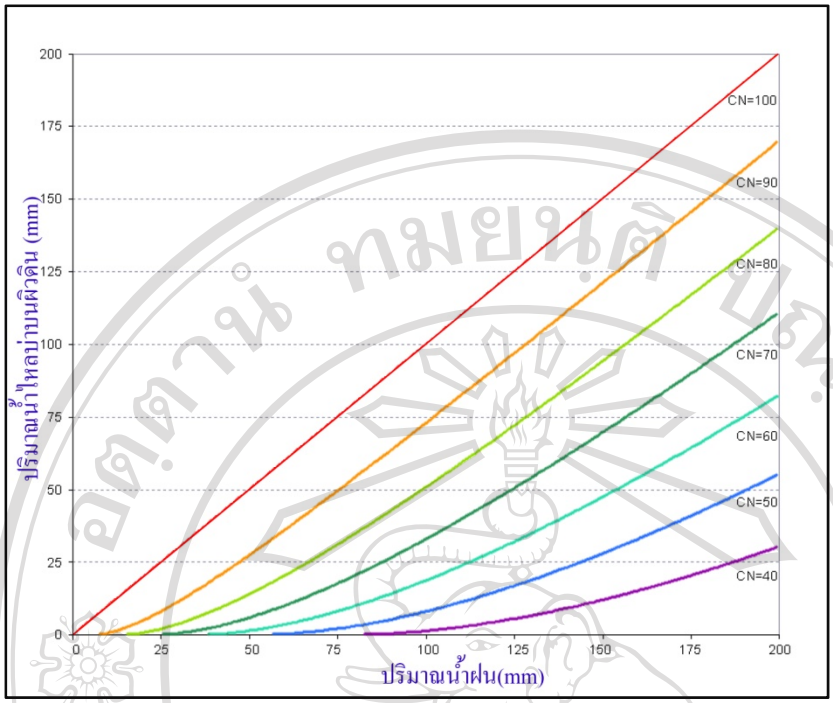


ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำ (Arnold *et al.*, 1998)

ข้อมูลที่ต้องการสำหรับสมการสมดุลของน้ำ ได้แก่ (1) ข้อมูลภูมิอากาศประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดรายวัน ข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รายวัน ข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์รายวัน และข้อมูลความเร็วลม (2) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินประกอบด้วย ข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช วันปลูก และวันเก็บเกี่ยวผลผลิต และ (3) ข้อมูลดินประกอบด้วยคุณสมบัติของดินในแต่ละชั้นดิน

ปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินรายวัน ในแบบจำลอง SWAT คำนวณจากปริมาณน้ำฝนรายวันโดยใช้วิธีการ Soil Conservation Service (SCS) curve number (CN) (USDA-SCS, 1972) ดังสมการ (2) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินกับปริมาณน้ำฝนรายวัน ที่ระดับค่า CN เท่ากับ 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดิน (มิลลิเมตร) กับปริมาณน้ำฝนรายวัน (มิลลิเมตร) ที่ระดับค่า CN ต่าง ๆ (Nietsch, 2005)

$$Q = \begin{cases} \dfrac{(R - 0.2s)^2}{(R + 0.8)}, & R > 0.2s \\ 0.0, & R \leq 0.2s \end{cases} \quad \textbf{(2)}$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดิน (มิลลิเมตร.), R คือ ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มิลลิเมตร.) และ s คือ ปัจจัยด้านการกักเก็บน้ำไว้ในดิน (Retention parameter) โดยจะแปรผันตาม (1) คุณสมบัติของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการที่ดิน และความลาดชัน ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำ และ (2) ระยะเวลาที่น้ำขังบนผิวดิน จะมีผลต่อปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน โดย s จะสัมพันธ์กับค่า CN ตามสมการของ SCS (USDA-SCS, 1972) (สมการ (3))

$$s = 254\left(\frac{100}{CN} - 1\right) \quad \textbf{(3)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ s คือ ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดิน (มิลลิเมตร) ค่าคงที่ 254 มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร และ CN คือ ค่า Curve Number ที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง ความยากง่ายของน้ำในการซึมผ่านชั้นดิน (Soil's permeability) การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาวะของน้ำในดินที่มีอยู่เดิม (Antecedent soil water conditions) ตามตารางที่ 2.1 CN จะมีค่าเท่ากับ $0 \leq CN \leq 100$

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่า CN สำหรับพื้นที่ทำการเกษตร (SCS Engineering Division, 1986)

Cover		**Hydrologic Soil Group**			
Cover Type	**Hydrologic condition**	**A**	**B**	**C**	**D**
Pasture, grassland, or range - continuous forage for grazing	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow - continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay	----	30	58	71	78
Brush - brush - weed - grass mixture with brush the major element	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30	48	65	73
Woods - grass combination (orchard or tree farm)	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	33	55	70	77
Farmsteads - buildings, lanes, driveways, and surrounding lots	----	59	74	82	86

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

The U.S. Natural Resource Conservation Service (NRCS) Soil Survey Staff (1996) ได้แบ่ง กลุ่มดินทางอุทกวิทยา (Hydrologic Soil Group) ตามคุณลักษณะการซึมน้ำ (Infiltration) ของดิน ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่ม A: ดินมีศักยภาพของการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินต่ำ ดินมีอัตราการซึมน้ำสูงเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ ดินมีความลึกมาก เนื้อดินเป็นดินทรายหรือกรวด และดินมีการระบายน้ำดีถึงดีมาก มีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินสูง

กลุ่ม B: ดินมีอัตราการซึมน้ำปานกลางเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ ดินมีความลึกปานกลางถึงลึกมาก ดินมีการระบายน้ำปานกลางถึงระบายน้ำดี เนื้อดินค่อนข้างละเอียดถึงค่อนข้างหยาบ มีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินปานกลาง

กลุ่ม C: ดินมีอัตราการซึมน้ำช้าเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ มีชั้นดินที่ชะลอการไหลของน้ำลงไปในดิน เนื้อดินค่อนข้างละเอียดถึงละเอียด มีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินช้า

กลุ่ม D: ดินมีศักยภาพการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินสูง ดินมีอัตราการซึมน้ำช้ามากเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ เนื้อดินเป็นดินเหนียวที่มีศักยภาพในการขยายตัวสูงเมื่อดินชื้น ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านลงไปได้ ระดับน้ำในดินคงที่ มีชั้นดินตื้นอยู่บนชั้นดินเหนียวที่น้ำซึมผ่านได้ยาก และอยู่ใกล้กับผิวดิน มีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องช้ามาก

กระบวนการคายระเหย เป็นการรวมกระบวนการที่ทำให้น้ำจากพื้นผิวของโลก เปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำประกอบด้วย กระบวนการระเหยของน้ำจากทรงพุ่มต้นไม้ กระบวนการคายน้ำของพืช และกระบวนการระเหยจากผิวน้ำอิสระ (Sublimation) และจากพื้นดิน (Neitsch, 2005) ในพื้นที่ลุ่มน้ำการสูญเสียน้ำออกจากพื้นที่ โดยกระบวนการคายระเหยนับว่าเป็นอันดับแรก และมีปริมาณอย่างคราวๆ ถึงร้อยละ 62 ของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งมากกว่าปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินในลุ่มน้ำส่วนมาก (Dingman, 1994)

ศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration, PET) คือ เป็นค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงสูงสุด ที่มีการจัดการที่ดีที่สุด ปราศจากโรคแมลงรบกวน ให้ปุ๋ยและน้ำอย่างเต็มที่ (Allen *et al*., 1998) วิธีการคำนวณในแบบจำลอง SWAT ได้เลือกใช้ คือ วิธีการของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Penman-Monteith ซึ่งเป็นวิธีการที่คำนวณร่วมกันระหว่าง พลังงานที่ต้องการใช้ในการทำให้น้ำระเหย และแรงที่ต้องการใช้ในกระบวนการเคลื่อนย้ายไอน้ำและกลศาสตร์การเคลื่อนที่ของอากาศและแรงต้านที่เกิดจากพื้นผิว ดังสมาการ (4)

$$\lambda E = \frac{\Delta(H_{net} - G) + \rho_{air} c_p \left(\frac{e_z^0 - e_z}{r_a}\right)}{\Delta + \gamma\left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \qquad \textbf{(4)}$$

เมื่อ λ คือ ความหนาแน่นของ Latent heat flux (MJ m^{-2} d^{-1}), E คือ อัตราการระเหย (Evaporation) (mm d^{-1}), Δ คือ ความชันของกราฟระหว่างแรงดันไออิ่มตัว (Saturation vapor pressure) กับอุณหภูมิ หรือ $\frac{de}{dt}$ (kPa $°C^{-1}$), H_{net} คือ รังสีดวงอาทิตย์ (MJ m^{-2} d^{-1}), G คือ ความหนาแน่นของ Latent heat flux บริเวณพื้นดิน (MJ m^{-2} d^{-1}), ρ_{air} คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg m^{-3}), c_p คือ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (MJ kg^{-1} $°C^{-1}$), e_z^0 คือ แรงดันไออิ่มตัวของอากาศที่ความสูง z (kPa), e_z คือ แรงดันไอน้ำของอากาศที่ความสูง z (kPa), γ คือ ค่าคงที่ Phychrometric (kPa $°C^{-1}$), r_c คือ แรงต้านที่เกิดจากทรงพุ่มของพืช (Plant canopy resistance) (s m^{-1}) และ r_a คือ การแพร่กระจายแรงต้านของชั้นอากาศ (Aerodynamic resistance) (s m^{-1})

Arnold and Allen (1996) ใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำ จาก 3 พื้นที่ลุ่มน้ำในรัฐ Illinois, USA มีขนาดพื้นที่ 12,200 ถึง 24,600 เฮกตาร์ เพื่อทำการปรับแบบจำลองให้เข้ากับพื้นที่ศึกษา โดยทำการเทียบ ปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดิน ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน ระดับน้ำใต้ดิน และการไหลของน้ำในแม่น้ำ ผลที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด แบบจำลอง SWAT ไม่ได้มีค่าคงที่ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับพื้นที่ใด พื้นที่หนึ่งในการคำนวณจึงจำเป็นต้องมีการปรับมาตรฐานแบบจำลอง (Calibration) โดยเฉพาะตัวแปร Curve number ในสมการของการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดิน และปัจจัยด้านการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อให้ค่าใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงของลุ่มน้ำมากที่สุด (Santhi *et al*, 2006)

การรายงานผลการประเมินแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยา โดยทั่วไปก็จะมีการเปรียบผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง กับผลการวัดที่ได้จากสถานีอุทกวิทยา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำ จากแบบจำลองกับสถานีอุทกวิทยา บริเวณจุดรวมน้ำของลุ่มน้ำ (Watershed outlet) ลักษณะของการเปรียบเทียบเป็นการเปรียบเทียบความใกล้เคียง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัด โดยใช้หลักเกณฑ์ด้านประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบ ได้แก่ Coefficient of determination (r^2) และ Nash-Sutcliffe efficiency (E) (Coffey, 2004; Krause *et al*, 2005)

Coefficient of determination (r^2) เป็นกระบวนการสถิติที่ใช้อธิบายความผันแปรของปัจจัยหนึ่งที่เกิดจากความสัมพันธ์กับอีกปัจจัยหนึ่งเชิงเส้นตรง r^2 จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง ปัจจัยทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมากขึ้น สามารถคำนวณได้จากสมการ (5)

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad \textbf{(5)}$$

เมื่อ r^2 คือ Coefficient of determination i คือ ลำดับที่ n คือ จำนวนที่เก็บข้อมูลทั้งหมด, O_i คือ ค่าที่ได้จากการวัดลำดับที่ i, $\bar{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการวัดทั้งหมด, P_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองลำดับที่ i และ $\bar{P}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากแบบจำลองทั้งหมด

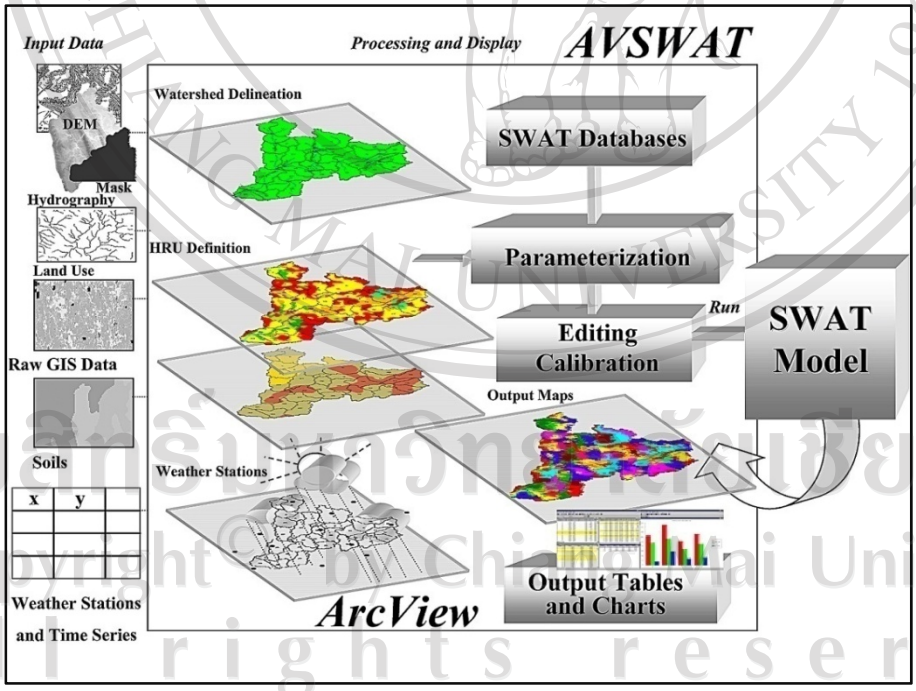
Nash and Sutcliffe (1970) ได้พัฒนาวิธีการหาประสิทธิภาพของแบบจำลองทางอุทกวิทยา คือ Nash-Sutcliffe efficiency (E) ซึ่งคำนวณได้จาก หนึ่งลบด้วยค่าผลรวมของผลต่างกำลังสองของค่าที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง หารด้วยค่าความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากวัด ดังสมการ (6) E จะมีค่าระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 โดย $E = 1$ คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองตรงกับค่าที่ได้จากการวัด E = 0 คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัด และ E < 0 คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัดดีกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad \textbf{(6)}$$

เมื่อ E คือ Nash-Sutcliffe efficiency i คือ ลำดับที่ n คือ จำนวนที่เก็บข้อมูลทั้งหมด O_i คือ ค่าที่ได้จากการวัดลำดับที่ i $\bar{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการวัดทั้งหมด และ P_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองลำดับที่ i

ArcSWAT 2.3.4 (SWAT, 2009) เป็นโปรแกรมเสริมของโปรแกรม ArcGIS 9.3 ที่มีลักษณะเป็นหน้าต่างติดต่อผู้ใช้ (Graphical user interface) สำหรับแบบจำลอง SWAT เพื่อใช้ในการรวบรวมและจัดการ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลน้ำใต้ดิน ข้อมูลการใช้น้ำ ข้อมูลการจัดการ ข้อมูลเคมีดิน และข้อมูลสระน้ำและคุณภาพน้ำในแม่น้ำ ให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง SWAT และกำหนดช่วงเวลาในการจำลองและคำนวณผล พร้อมทั้งสามารถแสดงผลการคำนวณในรูปแบบแผนที่ ตารางที่ และกราฟได้ (Winchell, 2008) ArcSWAT 2.3.4 พัฒนามาจากโปรแกรม AVSWAT2000 เป็นโปรแกรมเสริมของโปรแกรม ArcView 3 ที่รวมเอาความสามารถทางด้าน GIS และด้านหน้าต่างติดต่อผู้ใช้แบบทั่วไป สร้างเป็นระบบที่มีชุดคำสั่งในการทำงานร่วมกับแบบจำลอง SWAT (ภาพที่ 2.3) ประกอบด้วย การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ การสร้าง HRUs การกำหนดตำแหน่งสถานีอุตุนิยมวิทยา การเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลของแบบจำลอง SWAT การนำเข้าและแก้ไขข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและกำหนดการจำลองสถานการณ์ การคำนวณแบบจำลอง และการปรับมาตรฐานแบบจำลอง (Di Luzio, 2002)



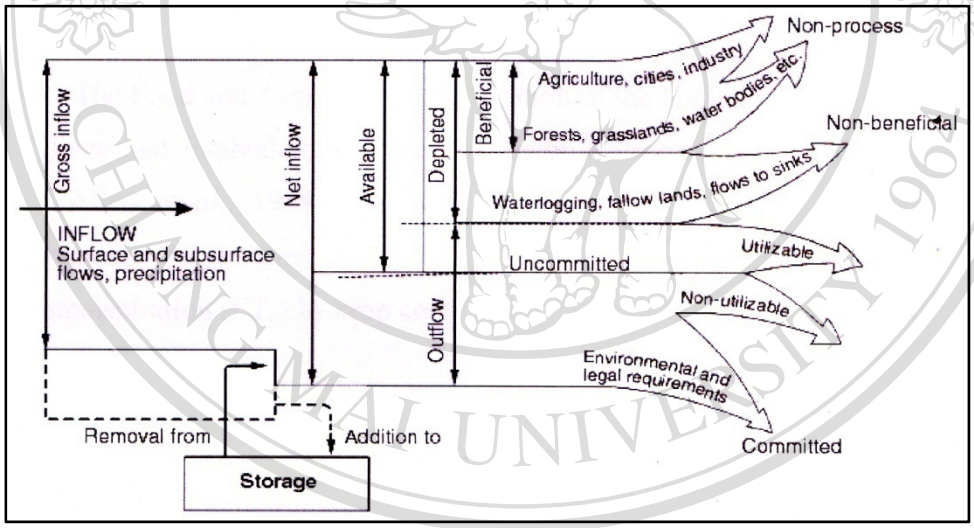
ภาพที่ 2.3 กระบวนการทำงานและการแสดงผลของโปรแกรม AVSWAT2000 (Di Luzio, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร

2.3.1 บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ (Water accounting)

International Water Management Institute (IWMI) ได้แนะนำระบบบัญชีน้ำร่วมกับการจัดการทรัพยากรน้ำ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำในส่วนต่างๆ ภายในลุ่มน้ำ (Molden, 1997) โดยระบบดังกล่าวสามารถแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของทรัพยากรน้ำ ปริมาณน้ำที่ถูกในไปใช้ ปริมาณน้ำที่เหลือ และปริมาณน้ำที่ใช้การได้ในอนาคต นอกจากนี้ระบบบัญชีน้ำสามารถประเมินปริมาณน้ำที่เข้าและออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำได้ (ภาพที่ 2.4) โดยปริมาณน้ำภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดมาจากปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำชลประทาน และมาจากพื้นที่ข้างเคียง ส่วนน้ำชลประทานอาจจะมาจากหลาย ๆ ที่เช่น คลองชลประทาน หรือแม่น้ำ (Pattanathaworn, 2008)



ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบต่าง ของระบบบัญชีน้ำภายในพื้นที่ลุ่มน้ำ (Molden, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 การประเมินความต้องการน้ำของพืช

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) ได้ให้แนวทางและวิธีการคำนวณความต้องการน้ำของพืช (Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 1998) โดยความต้องการน้ำของพืชจะเท่ากับ ผลคูณระหว่าง ศักยภาพการคายระเหย (Potential evapotranspiration) กับสัมประสิทธิ์ของพืช (Crop coefficient) นั้นๆ ดังสมการ (7)

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad \textbf{(7)}$$

เมื่อ ET_c คือ ความต้องการน้ำของพืช (Crop water requirement), ET_0 คือ ศักยภาพการคายระเหย (Potential evapotranspiration) และ K_c คือ สัมประสิทธิ์พืช (Crop coefficient)

ในการคำนวณค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration) หรือศักยภาพการคายระเหย มีการทดลองเพื่อสร้างเป็นสมการ สำหรับการคำนวณโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศ เช่น วิธีการ Thornthwaite วิธีการ Blaney Criddle วิธีการ Hargreaves วิธีการ Priestley-Taylor และ วิธีการ Penman (Jensen *et al*., 1989; van Lier *et al*., 1999) สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาโดยใช้วิธีการของ Penman ซึ่งเป็นที่ยอมรับและมีประสิทธิภาพ

Allen *et al*. (1998) อธิบายสมการ FAO Penman-Monteith (สมการ (8)) ที่ใช้คำนวณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง เป็นค่าการคายระเหยของหญ้าที่มีระบบการจัดการดีเยี่ยม ปราศจากโรคแมลงรบกวน ให้น้ำและปุ๋ยอย่างเต็มที่ โดยมีเพียงปัจจัยด้านภูมิอากาศเท่านั้นที่มีไม่ได้ควบคุม ดังนั้นค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง สามารถคำนวณได้จากตัวแปรทางด้านภูมิอากาศ

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \textbf{(8)}$$

เมื่อ ET_0 คือ การคายระเหยพืชอ้างอิง (mm d^{-1}), R_n คือ รังสีดวงอาทิตย์ (MJ m^{-2} d^{-1}), G คือ Soil heat flux (MJ m^{-2} d^{-1}), T คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (°C), U_2 คือ ความเร็วลมวัดที่ระดับสูงจากพื้นดิน 2 m (m s^{-1}), $(e_s - e_a)$ คือ Vapor pressure deficit (kPa), Δ คือ ความชันของเส้นกราฟความดันไอ (kPa $°C^{-1}$) และ γ คือ ค่าคงที่ Psychometric (kPa $°C^{-1}$)

สัมประสิทธิ์พืช (K_c) คือ ปัจจัยด้านความต้องการของพืช ที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดพืช พันธุ์พืช และช่วงการเจริญเติบโต สามารถวัดได้จากแปลงทดลอง ซึ่ง K_c ก็คือ อัตราส่วนระหว่าง ET_c กับ ET_0 จากปัจจัยด้านภูมิอากาศที่ใช้ในการคำนวณค่า ET_c จึงทำให้ค่า K_c สามารถใช้ค่าเดียวกันได้ทุกพื้นที่และทุกสภาพภูมิอากาศ ตามแนวทางของ FAO จะแบ่งค่า K_c ตามช่วงการเจริญเติบโตออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงเริ่มปลูก (Initial) ช่วงพัฒนาการ (Crop development) ช่วงกลางอายุ (Mid-season) และ ช่วงหลังเก็บเกี่ยว (Late-season) (Allen *et al.*, 1998)

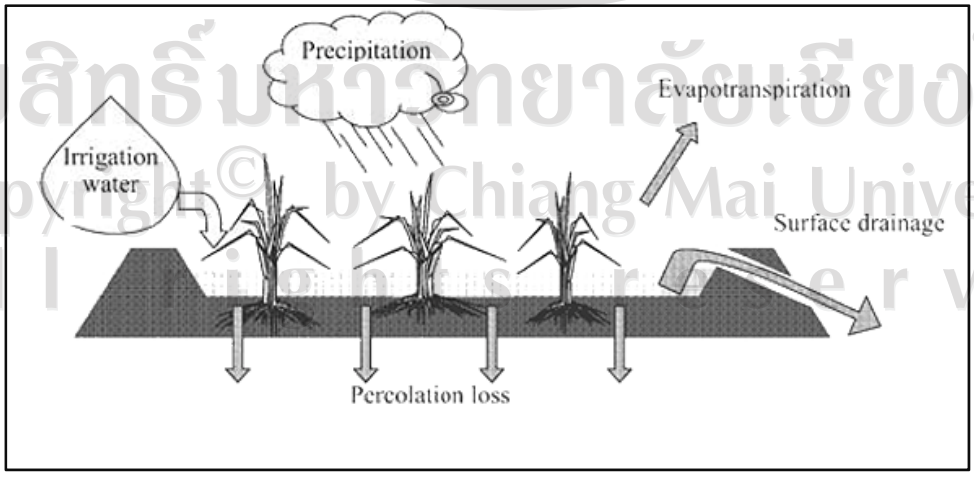
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตามการประเมินความต้องการน้ำของพืชจากสมการ (7) ยังเป็นเพียงความต้องการน้ำบริเวณต้นพืชเท่านั้น ยังไม่ได้รวมเป็นความต้องการน้ำในระดับไร่นา ซึ่งต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการชลประทาน ความชื้นในดิน และปริมาณน้ำฝน โดยสามารถคำนวณความต้องการน้ำชลประทานจากสมการ (9)

$$IWR = \frac{ET_c - R_{eff}}{I_{eff}} \quad \textbf{(9)}$$

เมื่อ IWR คือ ความต้องการน้ำชลประทาน (มิลลิเมตร), ET_c คือ ความต้องการน้ำของพืช (มิลลิเมตร), R_{eff} คือ ปริมาณน้ำฝนที่เป็นประโยชน์ (Effective rainfall) (มิลลิเมตร), และ I_{eff} คือ ประสิทธิภาพการชลประทาน

ความต้องการน้ำชลประทานในนาข้าวในระบบการขังน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ (10) ซึ่งเป็นสมการสมดุลของน้ำในนาข้าวรายวัน (สมการ (11)) โดยพิจารณาจาก ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำชลประทาน การซึมลึกลงไปในดิน และการคายระเหย (ภาพที่ 2.5) ถ้าผลการคำนวณระดับความลึกของน้ำที่ขังในนาข้าวสูงกว่าคันนา (ระดับความสูงของคันนา คือ ระดับความสูงของน้ำที่ต้องการขังในนาข้าว) ระดับความลึกของน้ำจะเท่ากับระดับความสูงของคันนา เนื่องจากน้ำจะถูกระบายออกไป แต่ถ้าระดับความลึกของน้ำต่ำกว่าความสูงของคันนา ระดับความลึกที่แตกต่างคือปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องการ (Yoshinaga, 2004)



ภาพที่ 2.5 สมดุลน้ำในนาข้าว (Yoshinaga, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$IWR = \frac{H - PD_i}{I_{eff}} \quad \textbf{(10)}$$

เมื่อ IWR คือ ความต้องการน้ำชลประทาน (มิลลิเมตร), H คือ ระดับความสูงของคันนา (มิลลิเมตร), PD_i คือ ระดับความสูงของน้ำในนาข้าว (มิลลิเมตร), และ I_{eff} คือ ประสิทธิภาพการชลประทาน

$$PD_i = PD_{i-1} + Reff_i - P_i - ET_i \quad \textbf{(11)}$$

เมื่อ PD_i คือ ระดับความสูงของน้ำในนาข้าววันที่ i (มิลลิเมตร) PD_{i-1} คือ ระดับความสูงของน้ำในนาข้าววันที่ $i-1$ (วันก่อนหน้า) (มิลลิเมตร) $Reff_i$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่ใช้การได้วันที่ i (มิลลิเมตร) P_i คือ ปริมาณน้ำที่ซึมลึกลงไปใต้ดินวันที่ i (มิลลิเมตร) และ ET_{i} คือ การคายระเหยของข้าว (มิลลิเมตร)

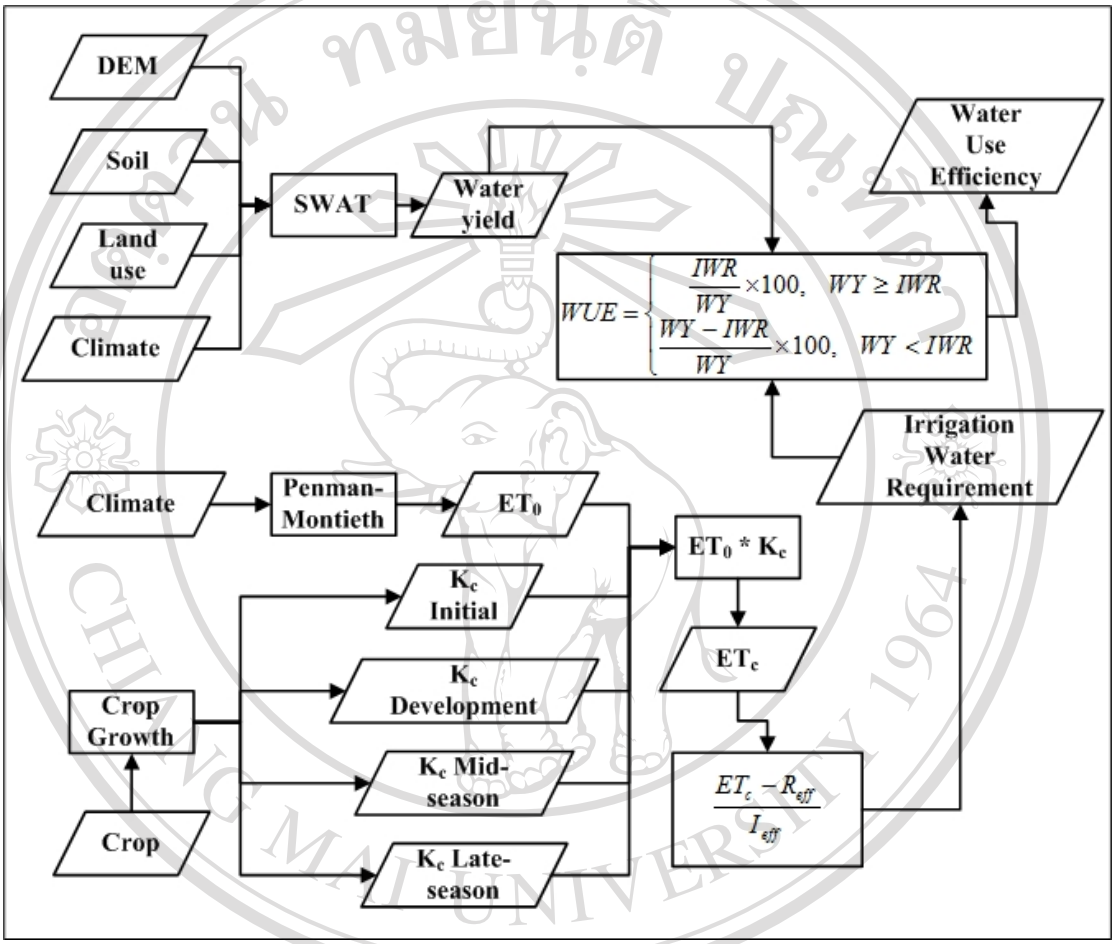
2.3.3 การประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร

ประสิทธิภาพการใช้น้ำทางด้านอุทกวิยา เป็นอัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำเพื่อชลประทานกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ทั้งหมด (Marlow, 1999) หากพิจารณาในด้านของการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำเพื่อการชลประทาน หมายถึงความต้องการน้ำชลประทานของพืชต่อพื้นที่ทำการเพาะปลูก และปริมาณน้ำที่มีอยู่ทั้งหมด เป็นปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่มีในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยสามารถสามารถคำนวณได้จากสมการ (12) ถ้าปริมาณน้ำท่ามากกว่าหรือเท่ากับปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืช ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรจะเท่ากับอัตราส่วนระหว่างปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืช กับปริมาณน้ำท่า แต่ถ้าปริมาณน้ำท่าน้อยกว่า ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืช ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรจะเท่ากับอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณน้ำท่าลบด้วยปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืช กับปริมาณน้ำท่า โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 2.6

$$WUE = \begin{cases} \dfrac{IWR}{WY} \times 100, & WY \geq IWR \\ \dfrac{WY - IWR}{WY} \times 100, & WY < IWR \end{cases} \quad \textbf{(12)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ WUE คือ ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร IWR คือ ความต้องการน้ำชลประทานของพืช (ลูกบาศก์เมตร) และ WY คือ ปริมาณน้ำท่าสูงสุดของลุ่มน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.4 ระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System, GIS)

ระบบภูมิสารสนเทศ เป็นระบบจัดการข้อมูลทางภูมิศาสตร์และข้อมูลอรรถาธิบาย ที่มีการทำงานร่วมกันระหว่าง บุคลากร ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และข้อมูล โดยการประมวลผล จัดเก็บ เรียกใช้ แสดงผล และสร้างข้อมูลใหม่ (Burrough and McDonnell, 1998) ระบบ GIS จัดเก็บข้อมูล ตำแหน่ง เส้นทาง ขอบเขต และข้อมูลอรรถาธิบายของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ด้วยหลักการจำลองข้อมูลเชิงวัตถุ (Object-Oriented Data Modeling) ในรูปแบบดิจิตอลไฟล์ ประเภท Shapefile ใน ArcView (ESRI, 1996) หรือ Feature class ใน Geodatabase (ESRI, 2002) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ GIS ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรได้

2.4 การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร เพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน นับว่ามีผลกระทบต่อกระบวนการทางอุทกวิทยาในระดับลุ่มน้ำอย่างมีนัยสำคัญ (Xiaobo *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2009) เนื่องการใช้ประโยชน์ที่ดินมีอิทธิพลต่อปริมาณฝนตก ในด้านการคายระเหย และด้านการซึมน้ำของดิน (Infiltration) ที่ทำให้เกิดการไหลบ่าบนผิวดิน ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ (Marcos *et al.*, 2003) ซึ่งการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรตามความเหมาะเชิงกายภาพ ที่ได้จากระบบประเมินความเหมาะสมเชิงคุณภาพของที่ดินแบบค่าต่อเนื่อง (เมธี และคณะ, 2548) โดยสร้างสถานการณ์ที่มีการปลูกพืชเหมาะสมกับที่ดินมากที่สุด และสถานการณ์ปัจจุบัน สามารถนำมาเปรียบเทียบการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร ของสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางเกษตรแต่ละสถานการณ์ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved