

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

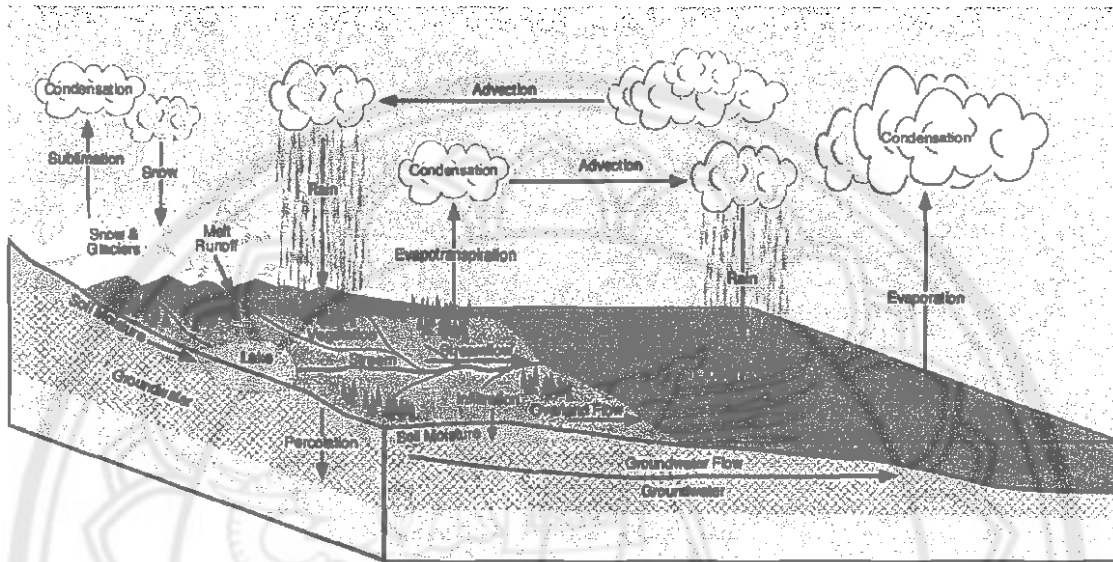
#### 1. วัฏจักรน้ำ และปัจจัยน้ำในดิน

##### 1.1 วัฏจักรน้ำ

วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic Cycle) คือ การเกิดและการหมุนเวียนของน้ำที่อยู่ในโลก ซึ่งเคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่เป็นภาคตอนต่าง ๆ น้ำในโลกไม่สูญหายไปไหน แต่จะเปลี่ยนรูปอยู่ในสภาพต่าง ๆ วนเวียนอยู่ในวัฏจักรของน้ำอันไม่มีจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด (ภาพ 2-1) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ความชื้นในบรรยากาศเรียกว่า (Atmospheric Moisture) ในรูปของไอน้ำมีอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งอาจมองเห็นได้ในรูปของ เมฆ หมอก และมองเห็นไม่ได้ในรูปของไอน้ำ ไอน้ำนี้เกิดจากการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ บนผิวโลก ไอน้ำในบรรยากาศนี้ถ้าหากมีมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวความแปรปรวนทางอุณหภูมิจากของบรรยากาศรอบผิวโลก จะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นละอองน้ำ และรวมตัวเป็นหยดน้ำตกลงมาสู่ผิวโลกในรูปแบบเรียกว่าน้ำฟ้าหรือน้ำจากอากาศ (Precipitation) ซึ่งถ้าเป็นของเหลวก็คือ ฝน (Rain) ถ้าเป็นรูปผลึกก็คือ หิมะ (Snow) ถ้าเป็นรูปของแข็งก็คือ ลูกเห็บ (Hail, Sleet) และน้ำแข็ง (Ice) นอกจากนั้นก็ยังมีรูปอื่น คือ น้ำค้าง (Dew) หรือน้ำค้างแข็งตัว (Frost) ในเมฆหนาวน้ำฝนที่ตกลงมาสู่ผิวโลกนั้นอาจตกปรอย ๆ บางส่วนอาจไม่ตกถึงผิวโลก แต่ระเหยบางส่วนตามใบหรือลำต้นเรียกว่า Interception (กรมชลประทาน, 2541. เว็บไซต์)

น้ำดังกล่าวบางส่วนจะระเหยกลับสู่อากาศและบางส่วนจะหยดต่อลงสู่พื้นที่และอาคาร น้ำฝนส่วนที่ตกถึงพื้นดินจะเริ่มซึมลงดินด้วยแรงดึงดูดของเม็ดดินในลักษณะที่เรียกว่า การซึมสู่ผิวดินหรือการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) และกลายเป็นน้ำที่ไหลในดิน (Subsurface Runoff) ในกรณีที่มีเม็ดดินมีความชื้นเดิมน้อยมากเช่น ดินแห้ง อัตราการซึมลงดินในลักษณะนี้จะสูงมาก แต่เมื่อดินอิ่มตัวก็จะลดลงทันที น้ำส่วนที่ซึมลงไปอิ่มตัวอยู่ในดินจะถูกแรงดึงดูดโลกดูดให้ซึมลึกลงไปอีกเรียกว่า น้ำใต้ดิน (Ground Water) ซึ่งน้ำใต้ดินนี้มีหลายระดับชั้น ซึ่งค่อย ๆ ไหลตามความลาดเทของชั้นดินไปสู่ที่ต่ำ อาจเป็นแหล่งขังน้ำใต้ดินหรืออาจจะไหลออกสู่อ่างน้ำลำธารที่อยู่ระดับต่ำกว่า หรือออกสู่ทะเลโดยตรงแต่หากบางส่วนที่ซึมลงดินไปแล้วเกิดมีชั้นดินแน่นที่ขวางกั้น น้ำส่วนนี้ก็จะมีไหลไปตามลาดเทได้ผิวดินและขนานไปกับผิวดินแน่นที่บดบังกล่าวเรียกว่า Interflow

ซึ่งจะไหลออกสู่มิวดินอีกเป็นลักษณะของน้ำซับค่อยไหลซึมออกไปน้ำที่ซึมลงดินตามชั้นตอนต่างๆ นั้นอาจถูกรากพืชดูดเอาไปปรุงอาหารเลี้ยงลำต้นและคายออกทางใบ เรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration) ซึ่งเป็นจำนวนมากน้อยขึ้นอยู่กับพืช (Pidwirny, 2004. Online)



ภาพ 1 วัฏจักรของน้ำ(Hydrologic Cycle) (Michael Pidwirny. 2004, เว็บไซต์)

น้ำฝนส่วนที่เหลือจากการซึมลงดินเมื่ออัตราฝนตกมีค่าสูงกว่าอัตราการซึมลงดินก็จะเกิดการขังนองอยู่ตามพื้นดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำเรียกว่า Overland flow บางส่วนอาจไปรวมตัวอยู่ในบริเวณที่ลุ่มเล็ก ๆ เรียกว่า Surface Storage แต่ส่วนใหญ่จะรวมกันมีปริมาณมากขึ้นมีแรงเสาะดินให้เป็นร่องน้ำ ลำธารและแม่น้ำตามลำดับ น้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำลำธารเรียกว่า น้ำท่า ซึ่งจะไหลออกสู่ทะเลและมหาสมุทรไปในที่สุด ตลอดเวลาที่น้ำอยู่ในชั้นตอนต่างๆ เหล่านี้จะเกิดการระเหย (Evaporation) กล่าวคือ น้ำเปลี่ยนสภาพไปเป็นไอน้ำขึ้นไปสู่อากาศซึ่งอาจเกิดจากผิวของใบไม้ที่ดักน้ำฝนไว้จากผิวดินที่อ้อมด้วยน้ำหรืออาจเกิดจากผิวน้ำในแม่น้ำลำธาร ทะเลสาบหนอง บึง อ่างเก็บน้ำ แต่ส่วนใหญ่ก็คือ จากทะเลและมหาสมุทร เมื่อเป็นไอน้ำก็จะลอยสูงขึ้นไปและเมื่ออุณหภูมิเย็นลงก็จะกลั่นตัวเป็นละอองหรือหยดน้ำและจะกลายเป็นฝนตกลงมาอีก ทำให้วัฏจักรของน้ำจึงไม่มีเริ่มต้น และไม่มีที่สิ้นสุดหมุนเวียนอยู่เช่นนี้ตลอดเวลา ปริมาณในชั้นตอนต่างๆ นั้นอาจผันแปรมากน้อยได้เสมอ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ควบคุมในชั้นตอนเหล่านั้น (USGS Water Resources, 2004. Online )

## 1.2 น้ำฝน

การศึกษาปริมาณของน้ำฝน ได้จากการวัดจำนวนของน้ำฝนที่ตกลงมาในช่วงระยะเวลาหนึ่งสามารถแสดงได้ในรูปของความลึกของน้ำ (Depth of Water) ที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ โดยไม่คิดปริมาณของการไหลบ่าหน้าดิน (Runoff) การซึม (Infiltration) และการคายระเหย (Evaporation) ที่เกิดขึ้น ความถูกต้องของปริมาณของน้ำฝนที่วัดขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบอก ความสูงของเครื่องมือตรวจวัดและสถานที่เปิดรับน้ำฝนในที่โล่ง การตรวจวัดจะทำในตอนเช้าของแต่ละวัน วัดด้วยกระบอกตวงที่สามารถบอกถึงปริมาณของน้ำฝน (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004. Online) สำหรับเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดปริมาณของน้ำฝน (Rain Gauge) ของสถานีอุตุนิยมวิทยามีอยู่ 3 แบบด้วยกัน ซึ่งหน่วยวัดน้ำฝน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2545. เว็บไซต์) คือ

1) เครื่องวัดฝนแบบจذبน้ำที่ก (Rainfall Recorders) ใช้ลักษณะของไซฟอน (Natural Siphon Gauge or Float Type) ดูดน้ำให้ไหลออกจากถังลากลอยในเมื่อฝนตกลงมาจนเต็มถัง จะทำให้อากาศถูกดันน้ำออกมาทางท่อด้านล่าง และเมื่อน้ำไหลลงออกจากถังลากลอยหมด อากาศก็จะไหลเข้ามาแทนที่ ทำให้อากาศไซฟอนหยุดโดยทันที

2) เครื่องวัดฝนแบบชั่งน้ำหนัก (Weighing Type) เป็นแบบที่ใช้หลักการชั่งน้ำหนักของถังรองรับน้ำรวมกับน้ำหนักของฝนที่ตกลงมา ไปกระทำต่ออาการกลไกของสปริง หรือโดยระบบสมดุลของน้ำหนัก เครื่องนี้จะไม่มีการระบายน้ำออกเองเมื่อน้ำฝนเต็มถัง แต่กลไกสามารถบันทึกทั้งทางขึ้นทางลงได้ 4 ครั้ง จนกว่าจะถึงขีดสูงสุดของการรายงาน เครื่องนี้ออกแบบเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำให้ลดน้อยลง โดยการเติมน้ำมันพอสสมควรลงไปในถังรองรับน้ำฝน เพื่อให้เป็นผืนหนา 1 มิลลิเมตร เคลือบผิวหน้าน้ำฝนไว้

3) เครื่องวัดฝนแบบแก้วตวงเป็นที่นิยมกันแพร่หลาย รูปร่างเป็นรูปทรงกระบอกกลมตลอด หรือบางที่ทำให้ก้นผายออกเพื่อให้ตั้งได้มั่นคงขึ้น ตัวเครื่องทำด้วยเหล็ก หรือทองแดงที่ไม่เป็นสนิม ตอนขอบบนของเครื่องทำเป็นปากรับน้ำหนักฝนขนาดแน่นอน (นิยมใช้ปากถังขนาด 8 นิ้ว) ที่ขอบปากถังต้องทำให้หนาเป็นพิเศษกันบูบเบี้ยวหรือเสียรูป

นอกจากการวัดปริมาณของน้ำฝนโดยตรงแล้ว วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Interpolate) ที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นอีกหนึ่งวิธีการในการหาปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ซึ่งใช้หลักการของการประมาณค่า คือใช้คุณสมบัติของจุดที่ไม่ถูกสุ่มตัวอย่างภายในบริเวณที่มีจุดสำรวจครอบคลุมอยู่ (ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ, 2537) เป็นการนำเทคนิคการให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย โดยถือเอาตัวอย่างที่อยู่รอบ ๆ นำมาประมาณค่า (M. Gold Christopher, 1993)

การศึกษาของ Kawana Nawa (2002) เกี่ยวกับการเผื่อระวังภัยแล้งในประเทศ Zambia จากข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาและข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม NOAA AVHRR ซึ่งได้ศึกษาปริมาณน้ำฝนจากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Kriging และนำมาหาสัมพันธกับปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการสำรวจข้อมูลระยะไกลจากข้อมูลดาวเทียม Meteosat เพื่อให้ได้แผนที่แสดงปริมาณของน้ำฝนที่ถูกต้อง

Hargrove (1999) ได้ศึกษาวิธีการประมาณค่าของน้ำฝนในประเทศ Switzerland ด้วยวิธี Regularized Spline กับ Tension จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัด 367 สถานี ซึ่งจากทั้งสองวิธีการประมาณค่าแบบ Spline เป็นที่นิยมใช้ประมาณค่าของน้ำฝนกันโดยทั่วไป ในขณะที่ทั้งสองวิธีนั้นไม่สามารถทำนายน้ำฝนได้อย่างแม่นยำนัก ซึ่งได้ผลที่ตรงข้ามกับวิธีของ Kriging เพียงแค่ทั้งสองวิธีสามารถบอกค่าเฉลี่ยมากและน้อยของปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ได้ ซึ่งช่วยให้เกิดความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องของพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดข้อมูล

### 1.3 การคายระเหย

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินคือการเกิดการสูญเสียน้ำหลังเหตุการณ์ฝนตก นั่นคือ การสูญเสียน้ำในดินไปในรูปแบบของการคายระเหย ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลว  ทำให้กลายเป็นไอเป็นการรวมระหว่างการระเหยน้ำ (Evaporation) คือการสูญเสียน้ำจากผิวน้ำหรือจากผิวดินโดยตรง กับกระบวนการคายน้ำของพืช (Transpiration) หรืออีกนัยหนึ่งการคายระเหย เป็นน้ำที่บรรจุอยู่ในแหล่งน้ำเปิดหรืออุทกภาค เมื่อได้รับพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ก็จะระเหยกลับสู่บรรยากาศ ส่วนน้ำที่บรรจุอยู่ในดินหรือธรณีภาคจะระเหยกลับสู่บรรยากาศได้ 2 ทาง คือ

- การระเหยจากผิวดิน (Evaporation)
- การคายน้ำของพืช (Transpiration)

ทั้ง 2 กระบวนการรวมกันเรียกว่า ค่าการคายระเหย (Evapotranspiration) น้ำในธรณีภาคและอุทกภาคมีพฤติกรรมหมุนเวียนเป็นจักรของน้ำโดยมีพลังงานขับเคลื่อนที่สำคัญ คือพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการคายระเหยถือว่าเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้จำนวนของน้ำในบรรยากาศและบนผิวโลก เปลี่ยนแปลงไปและยังเป็นกระบวนการที่สำคัญในทางอุทกวิทยา เพราะความหมายในทางชลประทานหรือด้านอุทกวิทยา เราเรียกการคายระเหยว่าเป็นการใช้น้ำของพืช ซึ่งมีความสำคัญต่อการให้น้ำในระบบชลประทานอย่างมาก (สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, 2542)

อัตราการระเหยจากผิวน้ำโลกวัดเป็นปริมาตรของน้ำ ซึ่งหายไปจากการระเหย ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา คือเท่ากับผลคูณของความลึกที่หายไปทั้งหมด เครื่องวัดน้ำระเหยแบบภาค (American Class A Pan) (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2545. เว็บไซต์) ประกอบด้วย

- 1) ถาดน้ำ (Evaporation Hook Gauge) ขนาดลึก 10 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 48 นิ้ว ตั้งสูงจากพื้นดิน 6 นิ้ว
- 2) ขอวัดระดับน้ำ (Micrometer Hook Gauge) แบ่งสเกลเป็นนิ้ว จาก 0-4 นิ้ว จะแบ่งทุกๆ 0.1 นิ้ว มาตรฐานแบ่งละเอียดลงไปถึง 0.01 นิ้ว
- 3) ที่รองรับขอวัดระดับน้ำ (Stilling Well) เป็นรูปทรงกระบอก ป้องกันการพริ้วหรือกระเพื่อมของน้ำ และเพื่อวางขอวัดระดับน้ำ
- 4) เครื่องวัดความเร็วลมเหนือถาด (Anemometer) เป็นความเร็วลมรวม (Totalize Wind Velocity)
- 5) เทอร์โมมิเตอร์ลอยน้ำ (Floating Thermometer) เป็นเทอร์โมมิเตอร์รูปตัว U ซ้ำหนึ่งเป็นเทอร์โมมิเตอร์สูงสุด อีกข้างเป็นเทอร์โมมิเตอร์ต่ำสุด ติดที่หุ่นลอยน้ำ
- 6) ถังเก็บน้ำ (Water-storage Tank) ใช้เฉพาะที่กันดาร และห่างไกลการคมนาคม สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช  $K_c$  เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียว สำหรับการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET) จะอาศัยข้อมูลภูมิอากาศซึ่งอาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่จากการทดลองใช้สูตรของ Penman ในการหาค่าใช้น้ำของพืชอ้างอิง ในประเทศไทยและจากรายงานการใช้สูตรนี้ในที่ต่าง ๆ ทั่วโลกพบว่า สูตรของ Penman ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ดีกว่าสูตรอื่น ๆ (วิบูลย์ บุญยธรโรกุล, 2526) สามารถหาได้ดังสมการ

$$ET = K_c \cdot E \quad (\text{สมการ 2-1})$$

เมื่อ  $ET$  = ปริมาณน้ำใช้ หรือการคายระเหยน้ำแท้จริงของพืช

$K_c$  = สัมประสิทธิ์การคายระเหยน้ำของพืชแต่ละชนิดในระยะเวลาเจริญเติบโตต่าง ๆ

$E$  = ปริมาณการระเหยน้ำรายสัปดาห์

Sadani และ Murthy ศึกษาศักยภาพการระเหยจากผิวดินพื้นที่โล่งแจ้ง โดยใช้แบบจำลองของ Penman-Brutsaert โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงของลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวแสงอาทิตย์ ที่ตรวจวัดโดย Central Agromet Observatory (IMD) ศักยภาพการระเหยที่ได้จากแบบจำลองนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการระเหยที่ได้จากการวัดด้วยถาดวัดการระเหยแบบ

A pan ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่ได้มีปริมาณการระเหยมากกว่าการตรวจวัดในช่วงที่ผิวดินแห้งและขาดแคลนน้ำ ทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันที่ร้อยละ 90 แต่การศึกษาที่ได้จากแบบจำลองจะให้ความสมมูลภาพที่มากกว่าการตรวจวัดจริง

Murphy และ Lodge ศึกษา ความหนาแน่นของพืช การปกคลุมของเศษหญ้า และพื้นที่เปิดโล่งของดินที่มีผลต่อการระเหยและคายน้ำในฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งการระเหยและคายน้ำวัดได้จากกระถางที่อยู่ระหว่างต้นหญ้าในสภาวะที่เปียกและแห้ง พบว่าการระเหยมีปริมาณ 1.1 ถึง 3.5 มิลลิเมตร/วัน สำหรับการคายน้ำมีปริมาณ 0.5 ถึง 2.6 มิลลิเมตร/วัน การระเหยน้ำของพื้นที่เปิดโล่งที่เปียกมีปริมาณลดลง 3.5 ถึง 2.3 มิลลิเมตรต่อวัน การคายน้ำสูงสุดของหญ้าเท่ากับ 2.6 มิลลิเมตรต่อวัน เมื่อนำค่าที่ได้มาแสดงในกราฟพบว่า การเจริญเติบโตของพืชมีค่าต่ำ ที่สภาวะดินแห้ง (ขาดความชื้นในดิน)

การตรวจวัดปริมาณของการคายระเหยนอกจากตรวจวัดจากในพื้นที่จริงแล้วสำหรับการตรวจวัดโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และจากการสำรวจระยะไกลเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถตรวจวัดค่าคายระเหยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ เช่น การศึกษาของ Coonrod และ McDonnell (2004) ได้ใช้การสำรวจระยะไกลและ GIS ในการคำนวณหาอัตราการคายระเหยในตอนกลางของ Rio Grande ซึ่งการตรวจสอบปริมาณการคายระเหยของน้ำได้พิจารณาจากพืช 2 ชนิดคือฝ้าย และต้น Cedar ที่นิยมปลูกในตอนกลางของ Rio Grande ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat และ AVHRR และการเก็บข้อมูลด้วยการตรวจวัดในพื้นที่ ซึ่งทำการวิเคราะห์ภาพใน ArcView Image Analysis และ ArcView Spatial Analyst ในการศึกษาปริมาณของการคายระเหยสุทธิจากข้อมูลภาพการสำรวจระยะไกล

#### 1.4 น้ำท่า

การสูญเสียน้ำในวงจรรูทวิทยาในรูปของน้ำท่าเป็นปัจจัยอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำในวัฏจักรน้ำอย่างยิ่ง การศึกษาปริมาณน้ำท่าของกรมชลประทานพบว่าลุ่มน้ำน่านมีปริมาณน้ำท่ารายปี เท่ากับ 12,015 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี จากปริมาณของน้ำฝนเฉลี่ย 1,272 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ 43,693 ล้านลูกบาศก์เมตร (กรมชลประทาน, 2547. เว็บไซต์) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 27 ของปริมาณน้ำฝน ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าการศึกษาของการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งพบว่ามีปริมาณของน้ำท่ารายปีเท่ากับ 9,158 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณน้ำฝน (การประปาส่วนภูมิภาค, 2547. เว็บไซต์) จากการศึกษาการจัดการน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ บึงตะเครง ตำบลบางระกำ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ของทวีป เกิดทอง และคณะ (2545) ได้ใช้วิธีวิเคราะห์น้ำท่าที่นิยมใช้ในงานชลประทาน ซึ่งศึกษาปริมาณน้ำท่าจากสัมประสิทธิ์

ของน้ำท่า ที่วิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของความชัน (Slope) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าแล้วนำมาคูณด้วยปริมาณของน้ำฝนและคูณด้วยพื้นที่ สำหรับการศึกษปริมาณน้ำท่าจากวิธี SCS เป็นการคำนวณอีกลักษณะหนึ่งที่นิยมใช้หาปริมาณน้ำท่ากันอย่างแพร่หลายจากปริมาณของน้ำฝน โดย Curve Numbers ใช้หาปริมาณของน้ำท่าได้จากความสัมพันธ์กันของลักษณะการใช้ที่ดิน (Land Use) และลักษณะของเนื้อดิน (Hydrologic Soil Group) (SCS, 1972) โดยใช้วิธีการคำนวณได้ดังนี้

$$Q = (P - I_0)^2 / (P - I_0) + S \quad (\text{สมการ 2-2})$$

เมื่อ Q = เป็นปริมาณของน้ำท่า (นิ้ว)

P = เป็นปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)

S = ความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน

โดยค่า S หาได้จากสมการ  $S = (100/CN) - 10$  (สมการ 2-3)

โดยที่  $I_0$  เป็น initial abstraction โดยปกติมีค่าประมาณ 0.2S ดังนั้น

$$Q = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S) \quad (\text{สมการ 2-4})$$

เชษฐา ดิษยมาลย์ (2538) ได้ประยุกต์หลักการของ SCS เพื่อการประมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทยซึ่งเป็นการประมาณน้ำท่าจากน้ำฝนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเป็นตัวแทนกระบวนการทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำที่สามารถอธิบายกระบวนการทางอุทกวิทยาได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการวางแผนการพัฒนาแหล่งน้ำ การจัดการน้ำ และการป้องกันผลเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน อันเป็นผลมาจากอุทกภัยได้ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการของ SCS โดยใช้แนวความคิดจากแบบจำลอง SFB ของ Boughton แบบจำลอง Lumped Model ของ Mallants และ Feyen แบบจำลอง CANARS ของ Calasans และแบบจำลองของสุรพลมาพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยส่วนสำคัญของแบบจำลองที่ศึกษาคือ การปรับค่าพารามิเตอร์ให้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณฝน และการกำหนดชนิดของลุ่มน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการไหลที่ปรากฏในลำน้ำ ในการศึกษาได้เลือกลุ่มน้ำคลองท่าลาดซึ่งมีลักษณะการใช้ที่ดินหลายประเภท เป็นตัวแทนลุ่มน้ำที่มีการไหลในลำน้ำแบบที่ 2 (การไหลตลอดมีอยู่ ระหว่าง 55 - 75%) จากการศึกษาและปรับค่าพารามิเตอร์พบว่าค่า Pa (Initial abstraction) และ ค่า K (Rate of Conversion) ซึ่งต่างก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนแบบจำลองที่ได้สามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝนโดยตรง โดยที่ลักษณะของพื้นที่รับน้ำ จะถูกกำหนดโดยพฤติกรรมการไหลในลำน้ำ จากการทดสอบแบบจำลองกับลุ่มน้ำก้ำและ

ลุ่มน้ำหนุมานซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่มีลักษณะการไหลในลำน้ำแบบเดียวกับลุ่มน้ำท่าลาดพบว่าแบบจำลองให้ผลการคำนวณส่วนใหญ่ไปกันได้กับข้อมูลจริงในสนามแต่ในช่วงการคำนวณปริมาณน้ำมากให้ผลการคำนวณต่ำกว่าความเป็นจริงซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ป่าไม้ของลุ่มน้ำที่ใช้ทดสอบมีน้อยกว่าพื้นที่ป่าไม้ในลุ่มน้ำที่เทียบปรับมาก แบบจำลองจึงมีการคำนวณปริมาณการเก็บกักในลุ่มน้ำมากกว่าความเป็นจริงปริมาณน้ำทำที่คำนวณได้จึงน้อยกว่าเป็นจริงจากผลการทดสอบแบบจำลองสรุปว่าค่า Pa นอกจากจะแปรผันตามปริมาณฝนแล้วยังแปรผันตามพื้นที่ป่าไม้ด้วย

สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากลักษณะภูมิประเทศที่กระจายตัวแบบต่าง ๆ ของ Olivera (1996) ซึ่งได้วิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จากกราฟน้ำท่าที่มีพื้นฐานมาจากสมการเส้นตรงของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยหรือค่าของแต่ละกริดของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งแต่ละกริดที่ได้จะมีค่าซึ่งไม่ซ้ำกัน อันเกิดจากลักษณะเฉพาะของแต่ละตัวแปรซึ่งปริมาณของน้ำท่าที่เกิดขึ้นอันได้จากปริมาณน้ำฝนที่ตกเกิน การประยุกต์ใช้ Arc/Info-Grid ซอฟต์แวร์ทางด้าน GIS มีความสามารถของเครื่องมือที่ใช้กับงานทางด้านอุทกวิทยา ข้อแตกต่างที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งต้องพิจารณาและประยุกต์ใช้กับแบบจำลองให้เหมาะสม

Pandey และ Dabral (2003) ได้ประมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเพื่อการเกษตรโดยใช้วิธี SCS Curve Number และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งหลักการของ SCS Curve Number โดยการใช้ค่า CN ที่ได้จากการแบ่งชนิดดินและประเภทสิ่งปกคลุมดินคำนวณร่วมกับปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมา ในปี 1993 จากความสัมพันธ์กันของชนิดดินและประเภทของสิ่งปกคลุมดินได้มีการปรับแก้เพื่อให้ได้ค่าของ CN ที่เหมาะสมกับพื้นที่ของประเทศอินเดีย ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณของน้ำท่าเกิดขึ้น 244.40 ต่อฤดูมรสุม ของปี 1993 หรือคิดเป็นร้อยละ 35.52 ของปริมาณน้ำฝน

### 1.5 น้ำซึมลึก

สำหรับปัจจัยปริมาณของการซึมลึกนั้นเกิดจากลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำหลังจากการให้น้ำแก่พืชทางผิวดินหรือเมื่อมีฝนตกแล้ว น้ำจะไหลซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน ซึ่งการไหลซึมเข้าไปในดินนี้เรียกว่าการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) แต่หลังจากที่น้ำซึมผ่านผิวดินเข้ามาแล้ว จะมีการไหลต่อไปด้วยแรงดึงดูดของโลก แรงดูดซับ (Capillary Force) และจากความกดดันของน้ำที่ซึ่งอยู่บริเวณผิวดิน การไหลซึมของน้ำในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของโลกและความกดดันในขณะที่ให้น้ำ หรือการไหลซึมของน้ำที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกเพียงอย่างเดียวเมื่อหยุดให้น้ำแล้ว เรียกว่าการซึมในดิน (วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2526) การศึกษาค่าซึมลึกต่อวันของ International Training Centre for Aerial Survey (2002) พบว่าเนื้อดินเหนียว (Clay) มีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 4 มิลลิเมตร/วัน ดินร่วนเหนียว (Clay loam) มี



ความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 7 มิลลิเมตร/วัน ดินร่วน (Loam) มีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 12 มิลลิเมตร/วัน และ ดินเหนียวทราย (Sandy clay) มีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 17 มิลลิเมตร/วัน ในขณะที่ปริมาณการซึมลึกที่ใช้ในงานชลประทาน คิดให้ดินเหนียวมีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 1-2 มิลลิเมตร/วัน สำหรับเนื้อดินทรายมีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 3-10 มิลลิเมตร/วัน (กรมชลประทาน, 2531) หรือร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำซึม (กิจการ พรหมมา, 2546) ซึ่งการซึมลึกเกิดกับน้ำที่ไม่อยู่ในอำนาจดูดยึดของดินนี้ถือเป็นน้ำอิสระ นอกจากทำให้ธาตุอาหารสูญเสียไปจากดินแล้ว ที่สำคัญกว่านั้นในด้านการทำให้ความชื้นที่พืชต้องการสูญเสียไปจากดินในรูปของการซึมลึกเป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (กรมชลประทาน, 2531)ซึ่งการซึมของน้ำที่ผ่านโซนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำไปสู่ระดับล่างหรือบาดาลถูกควบคุมโดยองค์ประกอบเหล่านี้คือ (สง่า ตั้งชวาล, 2537)

- 1) ปริมาณน้ำฝน (Amount of Rainfall) ถ้ามีมากเกิดการแทรกซึมได้มาก
- 2) สภาพภูมิประเทศ (Topography) พื้นที่ที่ลาดเอียงน้ำมีการแทรกซึมผ่านพื้นที่ลาดเทลงสู่ทางด้านล่างได้มากกว่าบนพื้นที่ราบ
- 3) ความพรุนและความซึมได้ของหินและดิน (Porosity & Permeability of Rock & Soil) คุณสมบัติของหินและดินมีค่าความพรุนและความซึมได้แตกต่างกัน ซึ่งหินและดินที่มีค่าความพรุนและความซึมได้สูงจะแทรกซึมได้มาก
- 4) พืช (Plant) ถ้าหากในบริเวณนั้น พืชมักจะดูดซึมน้ำได้ดี ทำให้การแทรกซึมลงไปสู่ชั้นดินและหินข้างล่างได้น้อย

นอกจากปัจจัยสำคัญดังกล่าวข้างต้นแล้วน้ำในดินยังเกิดจากการเรียงตัวของเม็ดดินที่ทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ ขึ้น เมื่อฝนตกหรือให้น้ำแก่พืช น้ำก็จะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้และเกาะติดอยู่กับเมล็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดินกับโมเลกุลของน้ำ (วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2526) น้ำที่ไหลซึมผ่านชั้นพื้นผิวดินได้มาจากน้ำฝน (Rain fall) จะลงไปกักเก็บอยู่เหนือเส้นระดับน้ำใต้ดิน และน้ำที่ขังอยู่ระหว่างเม็ดดินตะกอน (สง่า ตั้งชวาล, 2537) ซึ่งได้แก่

- โซนที่มีอากาศแทรก (Zone of Aeration) เป็นส่วนของชั้นดินหรือชั้นหินที่มีอากาศ บางทีเรียกว่าโซนที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Zone) โซนนี้จะอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินหรือระดับน้ำบาดาล (Ground Water Table หรือบางทีเรียกสั้น ๆ ว่า Water Table) และมีน้ำกักเก็บอยู่และบางส่วนมีอากาศแทรกในมีความกดดันของของเหลวต่ำกว่าความกดดันของอากาศบนพื้นผิวดิน พืชส่วนมากได้รับน้ำใต้ดินในโซนที่มีอากาศแทรก ซึ่งน้ำในดินอยู่ในโซนนี้ด้วย

- โซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Saturation) เป็นโซนที่ไม่มีอากาศอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินน้ำที่ได้มาจากน้ำฝน น้ำที่ไหลตามแรงโน้มถ่วงจากโซนชั้นบน และน้ำที่มาจากหินหนืด (Magmatic Water) ที่อยู่ในระดับลึกเกิดจากการเย็นตัวตกผลึกของหินหนืดในโซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีน้ำใต้พื้นผิวดินอยู่เพียงชั้นเดียว คือ น้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล (Ground Water)

#### 1.6 การคำนวณน้ำในดิน

จากการเปลี่ยนแปลงและถ่ายเทเคลื่อนไหวได้ตลอดเวลาของน้ำในวงจรอุทกโดยอยู่ในรูปของปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้เกิดเป็นสมดุลของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งได้มีผู้ศึกษาเรื่องนี้มาเป็นระยะเวลานานแล้ว ในแต่ละวิธีก็มีการคำนวณหากันแตกต่างกันออกไปตามสภาพของท้องที่ และวัตถุประสงค์ของผู้ศึกษา ถ้าตามวิธีการศึกษางบดุลน้ำของกิริติ ลีวัจนกุล (2543) สามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta S = P - (Q + E + T + G) \quad (\text{สมการ 2-5})$$

เมื่อ  $\Delta S$  = การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทั้งหมด  
 $P$  = น้ำจากอากาศ  
 $Q$  = การไหลของน้ำผิวดินสุทธิ  
 $E$  = การระเหยสุทธิ  
 $T$  = การคายน้ำสุทธิ  
 $G$  = การไหลของน้ำใต้ดินสุทธิ

ซึ่งจากสมการดังกล่าว เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษาปริมาณของน้ำในดิน อันทำให้ทราบถึงปริมาณของน้ำในดินที่อยู่ในส่วนของดินซึ่งถือว่าเป็นน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จากวิธีการศึกษางบดุลน้ำในดิน (Water Balance Equation) ของยงยุทธ โอสถสภา และคณะ (2541) ด้วยสมการดังนี้

$$\Delta S = (P) - (R+D+ET) \quad (\text{สมการ 2-6})$$

เมื่อ  $\Delta S$  = ปริมาณน้ำที่เก็บกักในดิน  
 $P$  = ปริมาณน้ำฝน (Precipitation)  
 $R$  = น้ำป่า (Runoff)  
 $D$  = น้ำซึมลึก (Deep Percolation)  
 $ET$  = น้ำคายระเหย (Evapotranspiration)

แต่การศึกษาถึงความสามารถในการเก็บน้ำในดินของ Michael Singer และ Donald Munns ได้เพิ่มตัวแปรด้านชลประทานเข้าไปในสมการ และได้แยกการระเหย และการคายน้ำของพืชออกจากกัน (วิชัย ทรวงวัฒนา, 2527) ด้วยสมการดังนี้

$$\text{Soil Water Storage} = \text{IRR} + \text{RAIN} - \text{RUNOFF} - \text{PERC} - \text{T} - \text{E} \quad (\text{สมการ 2-7})$$

เมื่อ IRR = น้ำจากการชลประทาน

RAIN = หยาดน้ำฟ้า / น้ำฝน

RUNOFF = น้ำไหลบ่าหน้าดิน

PERC = น้ำที่ไหลจากเขตรากพืชลึกลงไป

T = การคายน้ำของพืช

E = การระเหย

ซึ่งหลักการของสมการน้ำนี้ Watson and Burnett (1995) ได้ใช้ศึกษาปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดินด้วยสมการดังนี้

$$\Delta \text{SM} = \text{P} + (\text{IR} - \text{Q} - \text{G} - \text{ET}) \quad (\text{สมการ 2-8})$$

เมื่อ  $\Delta \text{SM}$  = การเปลี่ยนแปลงของน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดิน

P = ปริมาณของน้ำฝน

IR = น้ำจากชลประทาน

Q = น้ำท่าผิวดิน

G = การซึมในดิน

ET = การคายระเหย

จากสมการของสมการน้ำนั้นมีการประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณหาปริมาณของน้ำในตัวแปรต่าง ๆ เช่น ชูโชค อายุพงศ์ (2531) ได้ศึกษาสมการปริมาณน้ำของกลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีฝายจำนวนมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งปัจจุบันหน่วยงานของรัฐและองค์กรระหว่างประเทศ กำลังดำเนินการอย่างเร่งรัดในการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ โดยเฉพาะในด้านแหล่งน้ำ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กเพื่อการเกษตร เช่น ฝาย มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีความจำเป็นต้องวางแผนระยะยาวสำหรับการพัฒนาตลอดกลุ่มน้ำ เพื่อป้องกันการแย่งน้ำระหว่างฝายแต่ละแหล่งในกลุ่มน้ำเดียวกัน จึงต้องวางแผนตลอดกลุ่มน้ำแต่ยังขาดวิธีในการวางแผน การศึกษานี้จึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการวางแผนพัฒนาในกลุ่มน้ำ ขนาดเล็กที่มีฝายหลายแห่ง แบบจำลองนี้ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ USDA Soil Conservation Service ใน

การคำนวณปริมาณน้ำท่าจากฝน และใช้หลักการการสมดุลน้ำคำนวณปริมาณน้ำรายวันในแปลงนาที่ได้รับน้ำเสริมจากฝายตลอดฤดูเพาะปลูก (นาปี) โดยการตรวจสอบความชื้นในดินของแปลงนาแต่ละวัน และหาปริมาณผลผลิตที่ได้ต่อไร่ ซึ่งถ้าทำการวิเคราะห์เช่นนี้สำหรับแผนการพัฒนาหลาย ๆ แผนแล้วเปรียบเทียบผลก็สามารถหาจำนวนฝายและตำแหน่งที่เหมาะสมในลุ่มน้ำได้ ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูลฝนรายวันและข้อมูลการระเหยรายวันประเภทของการใช้ที่ดินและชนิดของดินในลุ่มน้ำ และลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ โดยข้อมูลเหล่านี้ได้รับการบันทึกไว้โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของทางอุทกวิทยา

แบบจำลองนี้จึงใช้ได้กับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าได้ทดลองใช้แบบจำลองกับลุ่มน้ำห้วยยาง อำเภอบัวลำภู จังหวัดอุดรธานี และลุ่มน้ำห้วยแสนพัน อำเภอกุศุดาบ จังหวัดสกลนคร ในกรณีพื้นที่นาที่รับน้ำเสริมจากฝายแต่ละแห่งมีขนาด 400 ไร่ และพื้นที่รับน้ำของฝายแต่ละแห่งมีขนาดใกล้เคียงกันในการวางแผนต้องการให้ไม่มีการแย่งน้ำระหว่างฝายแต่ละแห่งเพื่อไม่ให้ผลผลิตข้าวที่ได้ต่อไร่ลดลง พบว่าลุ่มน้ำห้วยยาง สามารถมีฝายได้ 15 แห่งและลุ่มน้ำห้วยแสนพันมีฝายได้ 8 แห่ง

ธนากร ลัทธิตระสุวรรณ (2543) ได้ศึกษาสมดุลของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยไร่ บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร ลุ่มน้ำห้วยไร่ซึ่งเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็กเป็นต้นน้ำลำธารที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งอยู่ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพาน ตำบลห้วยยาง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร พื้นที่ลุ่มน้ำประกอบด้วยป่าเต็งรัง การศึกษาสมดุลของน้ำโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า ปริมาณความชื้นดิน ปริมาณการระเหย จากภาคตั้งแต่เดือนเมษายน 2535 ถึงมีนาคม 2542 เป็นเวลา 7 ปี พบว่าปริมาณน้ำฝนรายปีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,588.3 มิลลิเมตร และปริมาณของน้ำท่ารายปีเฉลี่ยเท่ากับ 22,272.8 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นความสูงของน้ำเท่ากับ 160.9 ลูกบาศก์เมตร และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 10.4 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 160,930.6 ลูกบาศก์เมตรต่อ ตารางกิโลเมตร ปริมาณความชื้นของดิน เท่ากับ 174.5 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำรั่วซึม เท่ากับ 313 มิลลิเมตร คิดเป็น 19.2 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ น้ำฝน ปริมาณการคายระเหยน้ำรายปี เท่ากับ 1,114.3 มิลลิเมตร คิดเป็น 70.2 เปอร์เซ็นต์ของ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณการคายระเหยน้ำรายวันเท่ากับ 3.1 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสมดุลของน้ำกับพื้นที่อื่น ๆ ลุ่มน้ำห้วยไร่มีปริมาณ การคายระเหยเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณน้ำฝน มีค่ามากกว่าลุ่มน้ำที่มีสภาพการปกคลุมเป็นป่าไม่ผลัดใบ ปริมาณการคายระเหยน้ำรายปีในลุ่มน้ำห้วยไร่มีแนวโน้มมากขึ้น การคายระเหยน้ำรายเดือนเพิ่มขึ้นในฤดูฝนและลดลงในฤดูแล้ง ลุ่มน้ำห้วยไร่มีสภาพในระดัประวังภัย

สมาน ปราการรัตน์ (2537) ได้ศึกษาปริมาณของน้ำในดินจากวิธีการการวิเคราะห์ สมดุลน้ำในดินโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรตั้งแต่ พ.ศ. 2512-2536 ของสถานีตรวจวัดอากาศ เกษตร จำนวน 18 สถานี ทั่วประเทศ ได้กำหนดให้ช่วงที่ 3 ของเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่ดินจะมี น้ำในดินอิ่มตัวคือมีน้ำสะสมอยู่ 100 มิลลิเมตร ในทุกสถานีพบว่าจะเริ่มมีปริมาณสะสมของน้ำใน ดินที่จังหวัดเชียงใหม่ ในปลายเดือนพฤษภาคม ถึงปลายเดือนพฤศจิกายน จำนวนของน้ำในดินจะ มีมากที่สุด แต่ในต้นเดือนธันวาคมถึงกลางเดือนพฤษภาคม จะไม่มีปริมาณสะสมของน้ำในดินที่ จังหวัดสุโขทัย

สำหรับจังหวัดพิษณุโลกจากการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า ช่วงระหว่างปลาย เดือนพฤศจิกายนจนถึงต้นเดือนพฤษภาคม จะเป็นช่วงขาดแคลนน้ำ ช่วงระหว่างต้นเดือนพฤษภาคมถึง ประมาณปลายเดือนสิงหาคมจะเป็นช่วงที่ฝนตกมากกว่าค่าคายระเหยน้ำ ซึ่งช่วงนี้ ดินเริ่มสะสม ความชื้นจนถึงจุดอิ่มตัวหลังจากนั้นฝนจะตกลงมามากเกินไปกว่าที่ดินจะรับได้จึงเป็นสาเหตุประการ หนึ่งที่ทำให้เกิดมีการไหลบ่าของน้ำ ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วงระหว่างกลางเดือนสิงหาคมจนถึงประมาณปลาย เดือนตุลาคม ตั้งแต่ปลายเดือนตุลาคมเป็นต้นไป ฝนเริ่มจะตกน้อยลงเกินกว่าค่าคายระเหยน้ำ ซึ่งช่วงนี้ พืชก็เริ่มใช้น้ำที่สะสมจากดินไปจนถึงต้นเดือนธันวาคม จากนั้นก็จะเข้าช่วงขาดน้ำต่อไป จาก ความสัมพันธ์ดังกล่าวพอที่จะสรุปได้ว่า ฤดูกาลเพาะปลูกของจังหวัดพิษณุโลกในพื้นที่นอกเขต ชลประทาน อยู่ระหว่างช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2538)

รมณีย์ ทองดารา (2540) ได้ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูล สำรวจระยะไกลในการจัดทำแผนที่ความชื้นของดิน ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขานินซอน ซึ่งการศึกษา เป็นการจัดทำแผนที่ความชื้นของดิน โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และข้อมูล สำรวจระยะไกล พื้นที่ศึกษาดังอยู่ในพื้นที่หมู่บ้านบวรวิภาของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขานินซอน อัน เนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีวิธีการศึกษาคือ การจัดทำฐานข้อมูลความชื้น ของดิน การจัดทำแผนที่เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน การเก็บตัวอย่างและวัดค่าความชื้นของดิน การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของดินกับค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุจาก ข้อมูลดาวเทียมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย การจัดทำแผนที่ความชื้นของดิน ได้ใช้โปรแกรม ILWIS โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ชูดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความสูงจาก ระดับน้ำทะเล ความลาดชัน ปริมาณน้ำฝน ค่าศักยภาพการคายระเหย และค่าการสะท้อนพลังงานของ วัตถุจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ TM ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2538 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2539 ผลจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัย ที่มีต่อ ปริมาณความชื้นของดิน พบว่า ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลึกของดิน เนื้อดิน ฤดูกาล

ปริมาณน้ำฝน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นของดิน จากผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของดินกับปัจจัยดังกล่าวโดยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ซึ่งได้ผลดังสมการ  $Y = 57.0424 - 0.3244(\text{band4}) + 0.000693(\text{band4})^2 - 0.7058(\text{elevation}) + 0.0082(\text{elevation})^2$  โดยที่  $Y =$  ความชื้นของดิน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก)  $\text{band4} =$  ค่าการสะท้อน พลังงานของวัตถุจากข้อมูลดาวเทียมแบนด์ 4  $\text{elevation} =$  ความสูงจากระดับน้ำทะเล โดยค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุของข้อมูลดาวเทียม LANDSAT แบนด์ 4 และความสูงจากระดับน้ำทะเล มีอิทธิพลต่อความชื้นของดินเท่ากับ 79.64 % ความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 1.877 จากสมการประมาณค่าความชื้นของดินที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ สามารถจัดทำเป็นแผนที่ความชื้นของดิน เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหรือวางแผนการเพาะปลูกหรือการให้น้ำแก่พืชได้ นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถนำไปปรับใช้กับพื้นที่ศึกษาอื่น ๆ ได้ โดยใช้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความชื้นของดินหรือสามารถเพิ่มปัจจัยการศึกษาเพื่อให้เกิดศักยภาพในการประมาณค่าความชื้นของดินเพิ่มขึ้น

## 2. ระบบสารสนเทศและการประยุกต์ใช้

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System (GIS) คือกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่ สัมพันธ์กับตำแหน่งในแผนที่ ตำแหน่งเส้นรุ้ง เส้นแวง ข้อมูลและแผนที่ใน GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูลและฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) (สำนักงานพัฒนาด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2545)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์หรือ GIS เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) โดยข้อมูลลักษณะต่าง ๆ ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา จะถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันและกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและรายละเอียดของข้อมูลนั้นๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามต้องการ (สุเพชร จิระจรรกุล, 2544. เว็บไซต์)

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นการนำเอาระบบสารสนเทศที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่และเชื่อมโยงและผสมผสานข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยายที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล สามารถดัดแปลงแก้ไขและวิเคราะห์ แสดงผลการวิเคราะห์และการนำเสนอข้อมูลให้เห็นมิติและความสัมพันธ์ด้านพื้นที่ของข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพพมาช่วยในการหาสมมูลของปริมาณน้ำในดินซึ่งมีส่วนช่วยให้เกิดความเข้าใจปัญหา

และประกอบการตัดสินใจในการปัญหาเกี่ยวกับการวางแผนการใช้ทรัพยากรเชิงพื้นที่ (สรวศ์ใจ กลั่นดาว, 2542) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ เพื่อจัดการกับข้อมูลเชิงพื้นที่และเพื่อการวิเคราะห์โดยสามารถนำผลจากการวิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจ เพราะหากการตัดสินใจถูกต้องโอกาสในการประสบความสำเร็จย่อมมีสูงและจะช่วยให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลดเวลาที่เสียไป (ภาติยะ พัฒนาศักดิ์, 2546)

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อวางแผนการใช้ที่ดินและหาความเหมาะสมของพื้นที่สามารถใช้วิเคราะห์เชิงพื้นที่ประเภทนี้ได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ (สมจิต ลิ้มสวัสดิ์ผล, 2537) ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบข้อมูลข่าวสารที่เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ แต่สามารถแปลความหมายเชื่อมโยงกับสภาพภูมิศาสตร์อื่น ๆ สภาพท้องที่ สภาพการทำงานของระบบสัมพันธ์กับสัดส่วนระยะทางและพื้นที่จริงบนแผนที่ ข้อแตกต่างระหว่าง GIS กับ MIS (ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ) นั้นสามารถพิจารณาได้จากลักษณะของข้อมูล คือ ข้อมูลที่จัดเก็บใน GIS มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่แสดงในรูปของภาพ (Graphic) แผนที่ (map) ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Data) หรือฐานข้อมูล (Database) การเชื่อมโยงข้อมูลทั้งสองประเภทเข้าด้วยกันทำให้ผู้ใช้สามารถแสดงข้อมูลทั้งสองประเภทได้พร้อม ๆ กันหรือในทางตรงกันข้ามสามารถสอบถามรายละเอียดของจุดตรวจจากตำแหน่งที่เลือกขึ้นมาซึ่งต่างจาก MIS ที่แสดงภาพเพียงอย่างเดียว โดยขาดการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลที่เชื่อมโยงกับรูปภาพนั้น ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยายสามารถอ้างอิงถึงตำแหน่งที่มีอยู่จริงบนพื้นโลกได้โดยอาศัยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geocode) ซึ่งสามารถอ้างอิงได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่อ้างอิงกับพื้นผิวโลกโดยตรง (สำนักงานพัฒนาด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2545)

## 2.1 ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่

Raster or Grid Representation คือ จุดของเซลล์ที่อยู่ในแต่ละช่วงสี่เหลี่ยม (Grid) โครงสร้างของ Raster ประกอบด้วยชุดของ Grid Cell หรือ Pixel หรือ Picture Element Cell ข้อมูลแบบ Raster เป็นข้อมูลที่อยู่บนพิกัดรูปตารางแฉกอนและแฉกตั้ง แต่ละเซลล์ cell อ้างอิงโดยแถวและสดมภ์ภายในเซลล์แต่ละกริดจะมีตัวเลขภาพข้อมูล Raster ซึ่งความสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลรายละเอียดขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ ณ จุดพิกัดที่ประกอบขึ้นเป็นฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งจุดนั้น ซึ่งข้อมูลประเภท Raster มีข้อได้เปรียบในการใช้ทรัพยากรระบบคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้รวดเร็ว Raster Data อาจแปรรูปมาจาก

ข้อมูล Vector หรือแปลงจาก Raster ไปเป็น Vector แต่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นระหว่างการแปลงรูปข้อมูล

Vector Representation ตัวแทนของเวกเตอร์นี้อาจแสดงด้วย จุด เส้น หรือ พื้นที่ซึ่งถูกกำหนดโดยจุดพิกัด ซึ่งข้อมูลประกอบด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (X,Y) และ/หรือ แนวตั้ง (Z) หรือ Cartesian Coordinate System ถ้าเป็นพิกัดตำแหน่งเดียวก็จะเป็นค่าของจุด ถ้าจุดพิกัดสองจุดหรือมากกว่าก็เป็นเส้น ส่วนพื้นที่นั้นจะต้องมีจุดมากกว่า 3 จุดขึ้นไป และจุดพิกัดเริ่มต้นและจุดพิกัดสุดท้ายต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ข้อมูลเวกเตอร์ ได้แก่ ถนน แม่น้ำ ลำคลอง ซึ่งลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ ในรูปแบบเวกเตอร์จะมีลักษณะและรูปแบบ (Spatial Features) ต่าง ๆ กันพอสรุปได้ดังนี้คือ

1) รูปแบบของจุด (Point Features) เป็นลักษณะของจุดในตำแหน่งใด ๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากขนาดของจุดนั้น โดยจะอธิบายถึงตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูล เช่น ที่ตั้งของจังหวัด เป็นต้น

2) รูปแบบของเส้น (Linear Features) ประกอบไปด้วยลักษณะของเส้นตรง เส้นหักมุม และเส้นโค้ง ซึ่งรูปร่างของเส้นเหล่านี้จะอธิบายถึงลักษณะต่าง ๆ โดยอาศัยขนาดทั้งความกว้างและความยาว เช่น ถนน หรือ แม่น้ำ เป็นต้น และในทางการทำแผนที่รวมทั้งระบบ GIS นั้น รูปแบบของเส้น หมายถึง เส้นหักมุมที่มีความกว้างเฉพาะในความยาวที่กำหนด

3) รูปแบบของพื้นที่ (Area Features) เป็นลักษณะขอบเขตพื้นที่ ที่เรียกว่า Polygon ซึ่งอธิบายถึงขอบเขตเนื้อที่และเส้นรอบวง โดยข้อมูล Polygon ลักษณะเหล่านี้จะใช้อธิบายขอบเขตของข้อมูลต่างๆ เช่น ขอบเขตของพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น

ข้อสังเกตที่พบคือ ข้อมูล Vector และ Raster ทั้งสองระบบสามารถมีรูปแบบข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ (Features) ได้ 3 รูปแบบเหมือนกันคือ Point, Line และ Polygon แต่ข้อมูลแบบ Vector นั้นจุดบ่งบอกเพียงพิกัด x, y และ z และทิศทางของข้อมูลประเภทจุด แต่ Raster จะทราบตำแหน่งและมีขนาดเท่ากับขนาดของ Pixel เช่น จุด pixel ของดาวเทียม LANDSAT TM จะมีขนาด 30 x 30 เมตร ซึ่งแตกต่างจากข้อมูล Vector

ลักษณะข้อมูลคุณลักษณะ (Attribute) และข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial) นี้จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปได้ทั้งในแบบต่อเนื่อง (Continuous) และไม่ต่อเนื่อง (Discrete) เช่น แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) จะแสดงถึงเส้นระดับความสูงที่มีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในแต่ละชั้นระดับความสูง จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง โดยจะแปรผันไปตามปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตเท่านั้น รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะข้อมูลที่ปรากฏบน



โลกมนุษย์ และการแสดงโดยสัญลักษณ์ในแผนที่ ในการแสดงสัญลักษณ์บนแผนที่จากลักษณะภูมิประเทศหรือวัตถุดิบพื้นผิวโลกนั้นสามารถแทนด้วยรูปแบบจุด เส้นหรือพื้นที่ ทั้งนี้ต้องพิจารณาจากมาตรฐานของแผนที่ที่จะแสดงหากแผนที่มาตราส่วนใหญ่ (สำนักงานพัฒนาด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2545. เว็บไซต์)

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ศึกษา ร่วมกับการศึกษาด้านต่าง ๆ การศึกษาค้นคว้าได้รวบรวมผลการศึกษาและวิธีการศึกษาบางส่วน ที่ได้ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศกับการศึกษาสมดุลงน้ำ และการจัดการน้ำ ดังนี้

Kamiyama และคณะ (1999) ได้ศึกษาการกระจายตัวของแหล่งน้ำโดยข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล ผลของการศึกษาได้ตรวจสอบความถูกต้องกับปริมาณน้ำท่าของแม่น้ำขนาดใหญ่ในเอเชีย ซึ่งแผนที่แหล่งน้ำที่ได้จะช่วยในระบบชลประทานเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

Hoogeveen (2000) ศึกษาสมดุลงน้ำของลุ่มน้ำ Aral Sea ด้วย GIS ซึ่งประยุกต์ใช้โปรแกรม LWIS (Land and Water Information Systems) เพื่อให้พยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตรในอนาคต ส่วนหนึ่งของโปรแกรมได้ทำเพื่อพัฒนาเครื่องมือสำหรับประเมินแหล่งน้ำ วิธิดำเนินการศึกษาวิจัยได้รวมเอาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองของสมดุลงน้ำมาวิเคราะห์ร่วมกัน โดยใช้ขนาดของกริด 50X50 กิโลเมตร การคำนวณปริมาณของน้ำฝนได้จากการประมาณเชิงพื้นที่ (Interpolation) การวิเคราะห์การคายระเหยจากวิธี Penman Monteith ปริมาณของน้ำท่าได้จากปริมาณน้ำฝนคูณกับสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff Coefficient) ในรูปแบบของข้อมูล Raster สำหรับจัดทำเป็นแผนที่เพื่อแสดงการกระจายตัวของแหล่งน้ำในพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งวิธีการศึกษาสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น

White และคณะ (1996) ศึกษาแบบจำลองในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของสมดุลงน้ำในระหว่างการเกิดน้ำท่วมภาคตะวันตกตอนกลางของสหรัฐอเมริกาในลุ่มน้ำมิสซิสซิปปีในปี 1993 ซึ่งผลการศึกษาของข้อมูลน้ำท่าและปริมาณของน้ำที่ได้จากแบบจำลอง คือปริมาณของน้ำท่าศึกษาจากเครือข่ายลุ่มน้ำ สำหรับน้ำฝนและปริมาณการระเหยได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่นำมาตรวจสอบกับปริมาณที่วัดได้จริงในภาคสนาม สำหรับการวิเคราะห์และแสดงผลเป็นแบบกริด (Raster-based grids) ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า การระเหย การน้ำที่กักเก็บไว้ ในช่วง 1 มกราคม ถึง 30 กันยายน 1993

Alemaw และ Chaoka (2002) ได้ศึกษาแบบจำลองสมดุลงน้ำที่เกี่ยวกับทวีป กรณ์ศึกษาทางภาคใต้ของแอฟริกา การพัฒนาแบบจำลองสมดุลงน้ำด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่เฝ้าดู

กระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งน้ำบนผิวดินและน้ำที่อยู่ในดินเป็นรายเดือน ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บ อยู่ในรูปแบบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งสามารถแสดงผลและแปลความหมายได้ ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลทางอุทกนิยมนิยามวิทยาตั้งแต่ปี 1961 - 1990 ซึ่งแผนที่ที่ได้ประกอบด้วย แผนที่ความชื้นของดิน แผนที่การคายระเหยน้ำ และแผนที่น้ำท่า จากการประมาณของแบบจำลองพบว่าปริมาณ ความชื้นในดินมีประมาณ 148 มิลลิเมตรต่อปี การคาดการณ์ของแบบจำลองกับข้อมูลคายระเหย จะเกิดขึ้นสูงสุด 1500 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณเฉลี่ย 450 มิลลิเมตร และปริมาณของน้ำท่าจากผล การศึกษาเท่ากับ 151 มิลลิเมตรต่อปี

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในงานชลประทานและในงานบริหารจัดการ ทรัพยากรน้ำ ของสมเกียรติ สีสนอง (2541) เพื่อแก้ไขปัญหาในด้านการจัดสรรน้ำ การบริหาร การใช้น้ำในอ่างเก็บน้ำ การวางแผนโครงการชลประทานและการป้องกันน้ำเค็มจากการคาดการณ์ ปริมาณน้ำของอ่างเก็บน้ำที่ได้จากโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถบอกถึงความ เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำรวมทั้งหมด การเตือนภัยค่าความเค็มที่เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ ตัดสินใจบริหารการเปิดปิดประตูระบายน้ำ การช้อนแผนที่เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการพัฒนา แหล่งน้ำเพื่อการชลประทานสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการ ตัดสินใจในการดำเนินการเบื้องต้น