บทที่ 3
แบบจำลองสมดุลน้ำ

3.1 บทนำ

3.1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในภาพรวมของระบบวัฏจักรอุทกวิทยาถือว่าเป็นระบบปิด แต่ถ้ามองในระบบย่อยทางอุทกวิทยาบางส่วน ระบบวัฏจักรอุทกวิทยาจะเป็นระบบเปิดเพราะมีการเปลี่ยนแปลง เคลื่อนไหว และถ่ายเทไปมาได้ทั้งภายในระบบเอง และระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมภายนอกระบบ โดยอาจจะเป็นการเคลื่อนไหวจากภายในระบบสู่สิ่งแวดล้อมหรือจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาในระบบก็ได้ ในวัฏจักรอุทกนั้น น้ำฝนนับเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายถ่ายเทมวลน้ำในแต่ละพื้นที่ ประเทศไทยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรวมกันทั้งประเทศประมาณ 800,000 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่ต้องสูญเสียไปในวัฏจักรน้ำประมาณ 600,000 ล้านลูกบาศก์เมตร คงเหลือที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 200,000 ล้านลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันหน่วยงานต่าง ๆ ของประเทศไทยสามารถพัฒนาได้เพียงประมาณ 40,000 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำฝนคงเหลือ (กรมชลประทาน, 2546. เว็บไซต์) ดังนั้น จึงทำให้ปริมาณน้ำฝนที่พัฒนาได้มีไม่เพียงพอต่อความต้องการเพาะปลูกพืช ซึ่งยังคงอาศัยน้ำทำการเกษตรจากน้ำฝนที่ตกลงมา ดังจะเห็นได้ว่า ถ้าปีใดมีฝนตกตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับพอเพียงก็จะทำให้การเพาะปลูกในปีนั้นได้รับผลดี แต่ถ้าหากปีใดมีฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตก ปริมาณของน้ำมีไม่พอเพียงในช่วงเวลาที่พืชต้องการ ทำให้การเพาะปลูกในปีนั้นได้รับความเสียหายหรือไม่ได้รับผลผลิตดีเท่าที่ควร สถิติการเกษตรของประเทศปีเพาะปลูก 2540/41 รายงานว่า มีเนื้อที่ถือครองทางการเกษตร 132,478,570 ไร่ หรือ ประมาณ 41 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ ในเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรนี้เป็นเนื้อที่นาข้าวถึง 68,292,753 ไร่ หรือ 51 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ถือครองทางการเกษตร ให้ผลผลิตประมาณ 20 ล้านตัน มีมูลค่าผลผลิตข้าวที่เกษตรกรขายได้ประมาณ 164 ล้านบาท อย่างไรก็ตาม การทำนาในประเทศไทยยังพึ่งพาน้ำฝนเป็นหลัก ต้นทุนการผลิตข้าวของเกษตรกรไทยค่อนข้างสูง โดยเฉพาะการปลูกข้าวนาปี ข้อมูลการผลิตในช่วงปี 2538 - 2543 พบว่า ข้าวนาปีมีต้นทุนการผลิตต่อตันเฉลี่ย 4,160 บาท ในปี 2538/39 และเพิ่มขึ้นเป็น 4,800 บาท ในปี 2542/43 ในขณะที่ข้าวนาปรังมีต้นทุนการผลิตต่อตันเฉลี่ย 2,700 บาท ในปี 2538/39 และเพิ่มขึ้นเป็น 3,200 บาท ในปี 2541/42 ถึงแม้ราคาข้าวนาปีที่เกษตรกรได้รับจะสูงกว่าข้าวนาปรัง แต่ผลตอบแทนสุทธิต่อตันยังน้อยกว่าข้าวนาปรังโดยเฉลี่ยประมาณ 1 เท่าตัว โดยในปี 2541/42 ข้าวนาปีมีผลตอบแทนสุทธิต่อตัน 914 บาท และข้าวนาปรังมีผลตอบแทนสุทธิต่อตัน

1,825 บาท ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปีอยู่ในระดับต่ำ และการเพิ่มผลผลิตทำได้ยาก เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่การปลูกซึ่งไม่สามารถควบคุมน้ำได้ รวมทั้งสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม พื้นที่ในเขตชลประทานซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตมีการขยายตัวมากขึ้น โดยจากข้อมูลขอสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่า พื้นที่ชลประทานของประเทศเพิ่มจาก 28,356,114 ไร่ในปี 2537/38 เป็น 29,931,635 ไร่ ในปี 2541 อย่างไรก็ตาม พื้นที่เกษตรในเขตชลประทานยังมีสัดส่วนน้อย คือเพียง 22.59 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรทั้งหมด สำหรับจังหวัดอุตรดิตถ์และพิษณุโลกมีเนื้อที่ชลประทานที่สร้างเสร็จแล้วถึงปีงบประมาณ 2540 เท่ากับ 105,720 และ 460,367 ไร่ ตามลำดับ

ในการเพิ่มผลผลิตสุทธิต่อพื้นที่เพาะปลูกของประเทศ อันจะนำไปสู่การยกระดับรายได้ของเกษตรกรนั้น ยังจำเป็นต้องมีการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างเป็นระบบ โดยมีเป้าหมายหลักคือการเก็บกักน้ำฝนไว้ให้มีสำรองเพียงพอต่อความต้องการใช้ตลอดทั้งปีและให้สามารถกระจายให้แก่พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ ดังนั้นในการพัฒนาทรัพยากรน้ำในแต่ละพื้นที่ หรือในการประเมินงบดุลของน้ำในแปลงพืชหนึ่ง ๆ จำเป็นต้องทราบถึงปริมาณน้ำต้นทุนหลักๆ ที่เกิดจากน้ำฝนในวัฏจักรอุทกวิทยา คือในรูปน้ำท่า น้ำกักเก็บในดินและน้ำซึมลึกที่เติมสู่ชั้นบาดาล ในการวิจัยส่วนนี้ได้พัฒนาแบบจำลองสมดุลน้ำ เพื่อให้สามารถทราบปริมาณน้ำต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ อันจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปพิจารณาวางแผนในการพัฒนาแหล่งน้ำและวางแผนการเพาะปลูกพืชที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ต่อไป

3.1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) สร้างแบบจำลองสมดุลน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของจังหวัดอุตรดิตถ์และพิษณุโลก

(2) คำนวณน้ำต้นทุนทางการเกษตรที่เกิดจากปริมาณน้ำฝน

3.1.3 ประโยชน์ของการวิจัย

(1) ทราบงบดุลน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของจังหวัดอุตรดิตถ์และพิษณุโลก

(2) เป็นข้อมูลสนับสนุนการจัดการน้ำต้นทุนของพื้นที่ และการวางแผนการใช้น้ำที่เหมาะสมต่อความต้องการน้ำเพื่อการเพาะปลูก

3.1.4 ขอบเขตของการวิจัย

(1) พื้นที่ศึกษาสมดุลน้ำคือเนื้อที่ลุ่มน้ำย่อยจำนวน 13 ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งครอบคลุมทั่วจังหวัดอุตรดิตถ์และพิษณุโลก

(2) ปริมาณสมดุลน้ำของพื้นที่คิดเฉพาะน้ำที่ได้รับจากน้ำฝนเท่านั้น โดยถือเป็นน้ำต้นทุนเพื่อการเกษตรแบบอาศัยน้ำฝน (Rainfed Agriculture)

(3) ใช้สมการสมดุลน้ำ (Water Balance Model) ในการคำนวณหาปริมาณน้ำในดิน

(4) ประยุกต์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

(5) การประเมินเชิงพื้นที่ (Spatial Assessment) ใช้แบบจำลองข้อมูลกริด (Raster Model) โดยมีรายละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ขนาด 40 x 40 เมตร เพื่อเป็นตัวแทนพื้นที่ขนาด 1 ไร่

(6) รายละเอียดเชิงเวลา (Temporal Resolution) คือรายสัปดาห์โดยพิจารณาทั้งปี มีจำนวนรวมทั้งหมด 52 สัปดาห์

3.1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

(1) การประมาณค่าทางพื้นที่ (Spatial Interpolation) หมายถึง การประมาณค่าของคุณสมบัติในจุดที่ไม่ถูกสุ่มตัวอย่างภายในบริเวณที่มีจุดสำรวจครอบคลุมอยู่ (ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ, 2537) เป็นการใช้เทคนิคการให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย โดยถือเอาตัวอย่างที่อยู่รอบ ๆ มาประมาณค่า (Gold, 1993)

(2) ข้อมูลราสเตอร์ (Raster Model) หมายถึง ข้อมูลราสเตอร์ประกอบไปด้วยช่องกริดที่เรียงกันหนึ่งผืนซึ่งช่องกริดบางครั้งเรียกว่าจุดภาพหรือองค์ประกอบของภาพ แต่ละช่องกริดอ้างอิงด้วยลำดับที่ของแถวและสดมภ์ จะมีตัวเลขแสดงชนิดหรือค่าของลักษณะประจำกริดที่แสดงในแผนที่ (ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ, 2537) ทำให้ความสามารถทำการวิเคราะห์ได้สะดวก และรวดเร็ว

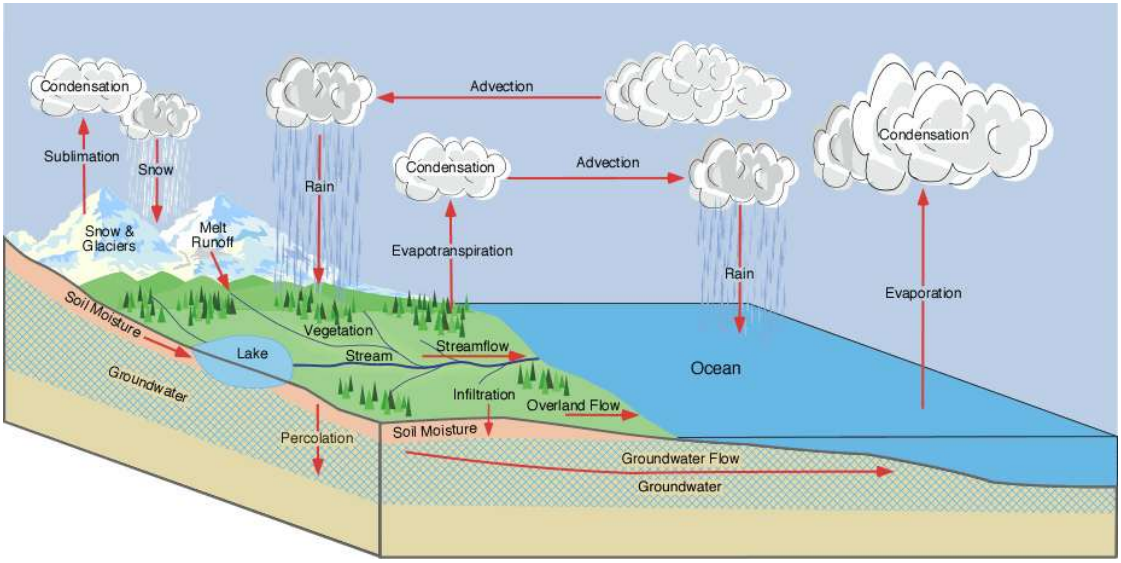
(3) สมดุลน้ำ (Water Balance) หมายถึง การตรวจสอบปริมาณน้ำไหลเข้า ปริมาณน้ำไหลออก และปริมาณน้ำยังคงเหลือในหน่วยดิน (กีรติ ลีวัจนกุล, 2543)

(4) น้ำในดิน (Soil Water) หมายถึง น้ำที่เกิดจากดินมีแรงดึงดูดต่อน้ำ ซึ่งแรงดึงดูดที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำในดินได้แก่ แรงดูดซับ แรงดึงแคพิลลารีและแรงดึงออสโมติกจะเกิดขึ้นเมื่อมีฝนตกหรือการให้น้ำแก่พืช ปริมาณของน้ำในดินที่ถูกกักเก็บและเป็นน้ำที่อยู่ในรูปของพืชจะเอาไปใช้ได้มากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางด้านกายภาพของดิน (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

3.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับวัฏจักรน้ำ

วัฏจักรน้ำ (Hydrological Cycle) คือ การเกิดและการหมุนเวียนของน้ำที่อยู่ในโลก ซึ่งเคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ในส่วนต่าง ๆ น้ำในโลกไม่สูญหายไปไหน แต่จะเปลี่ยนรูปอยู่ในสภาพต่าง ๆ วนเวียนอยู่ในวัฏจักรของน้ำอันไม่มีจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด (ภาพ 3-1) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ไอน้ำในบรรยากาศ (Atmospheric Moisture) ซึ่งอาจมองเห็นได้ในรูปของเมฆ หมอก และมองเห็นไม่ได้ในรูปของไอน้ำ ไอน้ำนี้เกิดจากการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ บนผิวโลก ไอน้ำในบรรยากาศนี้ถ้าหากมีมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ความแปรปรวนทางอุตุนิยมวิทยาของบรรยากาศรอบผิวโลก จะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นละอองน้ำ และรวมตัวเป็นหยดน้ำตกลงมาสู่ผิวโลกในรูปแบบเรียกว่าน้ำฟ้าหรือน้ำจากอากาศ (Precipitation) ซึ่งถ้าเป็นของเหลวก็คือ ฝน (Rian) ถ้าเป็นรูปผลึกก็คือ หิมะ (Snow) ถ้าเป็นรูปของของแข็งก็คือ ลูกเห็บ (Hail, Sleet) และน้ำแข็ง (Ice) นอกจากนั้นมีรูปอื่น คือ น้ำค้าง (Dew) หรือน้ำค้างแข็งตัว (Frost) ในเมืองหนาวน้ำฝนที่ตกลงมาสู่ผิวโลกนั้นอาจตกปรอย ๆ บางส่วนอาจไม่ตกถึงผิวโลก แต่จะตกค้างบางส่วนตามใบหรือลำต้น (Interception) ซึ่งน้ำดังกล่าวบางส่วนจะระเหยกลับสู่บรรยากาศและบางส่วนจะหยดต่อลงสู่พื้นดินและสิ่งปกคลุมดิน น้ำฝนส่วนที่ตกถึงพื้นดินจะเริ่มซึมลงดินด้วยแรงดึงดูดของเม็ดดินในลักษณะที่เรียกว่า การซึมสู่ผิวดิน หรือการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) และกลายเป็นน้ำที่ไหลในดิน (Subsurface Runoff) ในกรณีที่เม็ดดินมีความชื้นเดิมน้อยมาก เช่น ดินแห้ง อัตราการซึมลงดินในลักษณะนี้จะสูงมาก แต่เมื่อดินอิ่มตัวก็จะลดลงทันทีทันใดเช่นกัน น้ำส่วนที่ซึมลงไปอิ่มตัวอยู่ในดินจะถูกแรงดึงดูดโลกดูดให้ซึมลึกลงไปอีกเรียกว่า น้ำใต้ดิน (Ground Water) ซึ่งน้ำใต้ดินนี้มีหลายระดับขั้น ซึ่งค่อย ๆ ไหลตามความลาดเทของชั้นดินไปสู่ที่ต่ำ อาจเป็นแหล่งขังน้ำใต้ดินหรืออาจจะไหลออกสู่แม่น้ำลำธารที่อยู่ระดับต่ำกว่า หรือออกสู่ทะเลโดยตรง แต่หากบางส่วนที่ซึมลงดินไปแล้ว เกิดมีชั้นดินแน่นทึบวางอยู่ น้ำส่วนนี้ก็จะไหลไปตามลาดเทใต้ผิวดินและขนานไปกับผิวดินแน่นทึบดังกล่าว (Interflow) ซึ่งจะไหลออกสู่ผิวดินอีกเป็นลักษณะของน้ำซับที่ค่อยๆ ไหลซึมออกไป น้ำที่ซึมลงดินตามขั้นตอนต่าง ๆ นั้นอาจถูกรากพืชดูดเอาไปปรุงอาหาร เลี้ยงลำต้นและคายออกทางใบ เรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration) ซึ่งเป็นจำนวนมากน้อยขึ้นอยู่กับพืช



ภาพ 3-1 วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic Cycle) (Pidwirny, 2004, เว็บไซต์)

น้ำฝนส่วนที่เหลือจากการซึมลงดินเมื่ออัตราฝนตกมีค่าสูงกว่าอัตราการซึมลงดินก็จะเกิดขังนองอยู่ตามพื้นดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำ (Overland flow) บางส่วนอาจไปรวมตัวอยู่ในบริเวณที่ลุ่มเล็ก ๆ (Surface Storage) แต่ส่วนใหญ่จะรวมกันจนมีปริมาณมากขึ้นมีแรงเซาะดินให้เป็นร่องน้ำ ลำธารและแม่น้ำตามลำดับ น้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำลำธารเรียกว่าน้ำท่า (Surface Runoff) น้ำท่านี้จะไหลออกสู่ทะเล และมหาสมุทรไปในที่สุด ตลอดเวลาที่น้ำอยู่ในขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดการระเหย (Evaporation) กล่าวคือ น้ำเปลี่ยนสภาพไปเป็นไอน้ำขึ้นไปสู่บรรยากาศ ซึ่งอาจเกิดจากผิวของใบไม้ที่ดักน้ำฝนไว้จากผิวดินที่อิ่มด้วยน้ำ หรืออาจเกิดจากผิวน้ำในแม่น้ำ ลำธาร ทะเลสาบ หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ แต่ส่วนใหญ่ก็คือ จากทะเลและมหาสมุทร เมื่อเป็นไอน้ำก็จะลอยสูงขึ้นไป และเมื่ออุณหภูมิเย็นลงก็จะกลั่นตัวเป็นละอองหรือหยดน้ำและจะกลายเป็นฝนตกลงมาอีก จึงทำให้วัฏจักรของน้ำจึงไม่มีเริ่มต้น และไม่มีที่สิ้นสุดหมุนเวียนอยู่เช่นนี้ตลอดเวลา ปริมาณในขั้นตอนต่าง ๆ นั้นอาจผันแปรมากน้อยได้เสมอ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่ควบคุมในขั้นตอนเหล่านั้น การศึกษาว่าในขั้นตอนใดมีปริมาณเท่าใดนั้นเรียกว่าสมดุลน้ำ (Water Balance) (กรมชลประทาน, 2541. เว็บไซต์, Pidwirny, 2004. เว็บไซต์, The Enrivonmental Protection Agency, Purdue University, and the Agricultural & Biological Engineering Department, 1998. เว็บไซต์ และ USGS Water Resources, 2004. เว็บไซต์)

จากวงจรอุทกวิทยาหรือวัฏจักรน้ำทำให้สามารถทราบถึงการเคลื่อนที่ของน้ำในแต่ละช่วงเวลาด้วยการเปลี่ยนแปลงเป็นสถานะต่างๆ ทั้งในรูปของเหลว ของแข็ง และก๊าซ ซึ่งการตรวจวัดน้ำหรือปัจจัยแต่ละตัวของวัฏจักรน้ำในแต่ละสถานะมีวิธีการและเครื่องมือที่แตกต่างกัน

3.2.2 น้ำในรูปต่าง ๆ ของวัฏจักรน้ำ

น้ำฝน

การศึกษาปริมาณของน้ำฝน ได้จากการวัดจำนวนของน้ำฝนที่ตกลงมาในช่วงระยะเวลาหนึ่ง สามารถแสดงได้ในรูปของความลึกของน้ำ (Depth of Water) ที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่โดยไม่คิดปริมาณของการไหลบ่าหน้าดิน (Runoff) การซึม (Infiltration) และการคายระเหย (Evaporation) ที่เกิดขึ้น ความถูกต้องของปริมาณของน้ำฝนที่วัดขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบอก ความสูงของเครื่องมือตรวจวัดและสถานที่เปิดรับน้ำฝนในที่โล่ง การตรวจวัดจะทำในตอนเช้าของแต่ละวัน วัดด้วยกระบอกตวงที่สามารถบอกถึงปริมาณของน้ำฝน (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004. เว็บไซต์) สำหรับเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดปริมาณของน้ำฝนโดยตรง (Rain Gauge) ของสถานีอุตุนิยมวิทยามีอยู่ 3 แบบด้วยกัน ซึ่งหน่วยวัดน้ำฝน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2545. เว็บไซต์) คือ

(1) เครื่องวัดฝนแบบจดบันทึก (Rainfall Recorders) ใช้ลักษณะของไซฟอน (Natural Siphon Gauge or Float Type) ดูดน้ำให้ไหลอกจากถังลูกลอยในเมื่อฝนตกลงมาจนเต็มถัง จะทำให้อากาศถูกดันน้ำออกมาทางท่อด้านล่าง และเมื่อน้ำไหลลงออกจากถังลูกลอยหมด อากาศก็จะไหลเข้ามาแทนที่ทำให้อาการไซฟอนหยุดโดยทันที

(2) เครื่องวัดฝนแบบชั่งน้ำหนัก (Weighing Type) เป็นแบบที่ใช้อาการของน้ำหนักของถังรองรับน้ำรวมกับน้ำหนักของฝนที่ตกลงมา ไปกระทำต่ออาการกลไกของสปริง หรือโดยระบบสมดุลยของน้ำหนัก เครื่องนี้จะไม่มีระบบระบายน้ำออกเองเมื่อน้ำฝนเต็มถังแต่กลไก สามารถบันทึกทั้งทางขึ้นทางลงได้ 4 ครั้ง จนกว่าจะถึงขีดสูงสุดของการรายงาน เครื่องนี้ออกแบบเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำให้ลดน้อยลง โดยการเติมน้ำมันพอสมควรลงไปในถังรองรับน้ำฝน เพื่อให้เป็นผ้าหนา 1 มิลลิเมตร เคลือบผิวหน้าน้ำฝนไว้

(3) เครื่องวัดฝนแบบแก้วตวง วิธีนี้เป็นที่นิยมกันแพร่หลาย รูปร่างเป็นรูปทรงกระบอกกลมตลอด หรือบางทีทำให้ก้นผายออกเพื่อให้ตั้งได้มั่นคงขึ้น ตัวเครื่องทำด้วยเหล็ก หรือทองแดงที่ไม่เป็นสนิม ตอนขอบบนของเครื่องทำเป็นปากรับน้ำหนักฝนขนาดแน่นอน (นิยมใช้ปากถังขนาด 8 นิ้ว) ที่ขอบปากถังต้องทำให้หนาเป็นพิเศษกันการบุบเบี้ยวหรือเสียรูป

นอกจากการวัดปริมาณของน้ำฝนโดยตรงแล้ว วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นอีกหนึ่งวิธีการในการหาปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ซึ่งใช้หลักการของการประมาณค่า คือใช้คุณสมบัติของจุดที่ไม่ถูกสุ่มตัวอย่าง

ภายในบริเวณที่มีจุดสำรวจครอบคลุมอยู่ (ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ, 2537) เป็นการใช้เทคนิคการให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย โดยถือเอาตัวอย่างที่อยู่รอบ ๆ นำมาประมาณค่า (Christopher, 1993)

การศึกษาของ Kawana Nawa (2002) เกี่ยวกับการเฝ้าระวังภัยแล้งในประเทศ Zambia ซึ่งได้ศึกษาปริมาณน้ำฝนจากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Kriging และนำมาหาสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการสำรวจข้อมูลระยะไกลจากข้อมูลดาวเทียม Meteosat เพื่อให้ได้แผนที่แสดงปริมาณของน้ำฝนที่ถูกต้อง Hargrove (1999) ได้ศึกษาวิธีการประมาณค่าของน้ำฝนในประเทศ Switzerland ด้วยวิธี Regularized Spline กับ Tension จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัด 367 สถานี ซึ่งจากทั้งสองวิธีของการประมาณค่าแบบ Spline เป็นที่นิยมใช้ประมาณค่าของน้ำฝนกันโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม ทั้งสองวิธีนั้นไม่สามารถทำนายน้ำฝนได้อย่างแม่นยำนัก ซึ่งได้ผลที่ตรงข้ามกับวิธีของ Kriging เพียงแค่ทั้งสองวิธีสามารถบอกค่าเฉลี่ยมากและน้อยของปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ได้ ซึ่งช่วยให้เกิดความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องของพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดข้อมูล

การคายระเหย

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินคือการเกิดการสูญเสียน้ำหลังจากเหตุการณ์ฝนตก นั่นคือการสูญเสียน้ำในดินไปในรูปแบบของการคายระเหย (Evapotranspiration) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาวะของน้ำจากของเหลว ทำให้กลายเป็นไอ เป็นการรวมระหว่างการระเหยน้ำ (Evaporation) คือการสูญเสียน้ำจากผิวน้ำหรือจากผิวดินโดยตรง กับกระบวนการคายน้ำของพืช (Transpiration) หรืออีกนัยหนึ่งการคายระเหย เป็นน้ำที่บรรจุอยู่ในแหล่งน้ำเปิดหรืออุทกภาค เมื่อได้รับพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ก็จะระเหยกลับสู่บรรยากาศ ส่วนน้ำที่บรรจุอยู่ในดินหรือธรณีภาคจะระเหยกลับสู่บรรยากาศได้ 2 ทาง คือ การระเหยจากผิวดิน และการคายน้ำของพืช ทั้ง 2 กระบวนการรวมกันเรียกว่า การคายระเหย น้ำในธรณีภาคและอุทกภาคมีพฤติกรรมหมุนเวียนเป็นวัฏจักรของน้ำโดยมีพลังงานขับเคลื่อนที่สำคัญคือพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการคายระเหยถือว่าเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้จำนวนของน้ำในบรรยากาศและบนผิวโลก และยังเป็นกระบวนการที่สำคัญในทางอุทกวิทยา เพราะความหมายในทางชลประทานหรือด้านอุทกวิทยา เราเรียกการคายระเหยว่าเป็นการใช้น้ำของพืช ซึ่งมีความสำคัญต่อการให้น้ำในระบบชลประทานอย่างมาก (สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, 2542)

อัตราการระเหยจากผิวพื้นโลกวัดเป็นปริมาตรของน้ำซึ่งหายไปจากการระเหยต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา คือเท่ากับความลึกที่หายไปทั้งหมด ในการตรวจวัดปริมาณการระเหยนิยมใช้

เครื่องวัดน้ำระเหยแบบถาด (American Class A Pan) (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2545. เว็บไซต์) ซึ่งประกอบด้วย

(1) ถาดน้ำ (Evaporation Hook Gauge) ขนาดลึก 10 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 48 นิ้ว ตั้งสูงจากพื้นดิน 6 นิ้ว

(2) ขอวัดระดับน้ำ (Micrometer Hook Gauge) แบ่งสเกลเป็นนิ้ว จาก 0-4 นิ้วจะแบ่งทุกๆ 0.1 นิ้ว มาตรฐานแบ่งละเอียดลงไปถึง 0.01 นิ้ว

(3) ที่รองรับขอวัดระดับน้ำ (Stilling Well) เป็นรูปทรงกระบอก ป้องกันการพริ้ว หรือกระเพื่อมของน้ำ และเพื่อวางขอวัดระดับน้ำ

(4) เครื่องวัดความเร็วลมเหนือถาด (Anemometer) เป็นความเร็วลมรวม (Totalize Wind Velocity)

(5) เทอร์โมมิเตอร์ลอยน้ำ (Floating Thermometer) เป็นเทอร์โมมิเตอร์รูปตัว U ข้างหนึ่งเป็นเทอร์โมมิเตอร์สูงสุด อีกข้างเป็นเทอร์โมมิเตอร์ต่ำสุดติดที่สุดทุ่นลอยน้ำ

(6) ถังเก็บน้ำ (Water-storage Tank) ใช้เฉพาะที่กันดาร และห่างไกลการคมนาคม

Sadani และ Murthy ศึกษาศักย์การระเหยจากผิวดินพื้นที่โล่งแจ้ง โดยใช้แบบจำลองของ Penman-Brutsaert โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงของลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวแสงอาทิตย์ ที่ตรวจวัดโดย Central Agromet Observatory ศักย์ของการระเหยที่ได้จากแบบจำลองนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการระเหยที่ได้จากการวัดด้วยถาดวัดการระเหยแบบ A Pan ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่ได้มีปริมาณการระเหยมากกว่าการตรวจวัด ในช่วงที่ผิวดินแห้งและขาดแคลนน้ำ ทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันที่ร้อยละ 90 แต่การศึกษาที่ได้จากแบบจำลองจะให้ความสมดุลภาพที่มากกว่าการตรวจวัดจริง Murphy และ Lodge ศึกษาความหนาแน่นของพืช การปกคลุมของเศษหญ้า และพื้นที่เปิดโล่งของดิน ที่มีผลต่อการระเหยและคายน้ำในฤดูใบไม้ร่วง 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 เมื่อนำค่าที่ได้มาแสดงในกราฟ พบว่าการเจริญเติบโตของพื้นดินมีค่าต่ำที่สภาวะดินแห้ง หรือมีความชื้นในดินต่ำ

การตรวจวัดปริมาณของการคายระเหย นอกจากตรวจวัดจากในพื้นที่จริงแล้ว การตรวจวัดโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และจากการสำรวจระไกลเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถตรวจวัดค่าคายระเหยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ อาทิ เช่น การศึกษาของ Coonrod และ McDonnell

(2004) ได้ใช้การสำรวจระยะไกลและ GIS ในการคำนวณหาอัตราการคายระเหย ในตอนกลางของ Rio Grande ซึ่งการตรวจสอบปริมาณการคายระเหยของน้ำพิจารณาจากพืช 2 ชนิดคือฝ้ายและต้น Cedar ที่นิยมปลูกในตอนกลางของ Rio Grande ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Land sat และ AVHRR และการเก็บข้อมูลด้วยการตรวจวัดในพื้นที่ ซึ่งทำการวิเคราะห์ภาพใน ArcView Image Analysis และ ArcView Spatial Analyst ในการศึกษาปริมาณของการคายระเหยสุทธิจากข้อมูลภาพการสำรวจระยะไกล

น้ำท่า

การสูญเสียน้ำในวงจรอุทกวิทยาในรูปของน้ำท่า เป็นปัจจัยอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำในวัฏจักรน้ำอย่างยิ่ง วิธีการวิเคราะห์น้ำท่าที่นิยมใช้ในงานชลประทานคือศึกษาปริมาณน้ำท่าจากสัมประสิทธิ์ของน้ำท่าที่วิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของความชัน (Slope) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า แล้วนำมาคูณด้วยปริมาณของน้ำฝน และคูณด้วยพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีวิธีการศึกษาปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS Curve Numbers (SCS, 1972) ซึ่งนิยมใช้หาปริมาณน้ำท่ากันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ Curve Numbers หาปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝนจากความสัมพันธ์กันของลักษณะการใช้ที่ดิน (Land Use) และลักษณะของเนื้อดิน (Soil Group)

เชษฐา ดิษยมาลย์ (2538) ได้ประยุกต์หลักการของ SCS เพื่อการประมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย ซึ่งเป็นการประมาณน้ำท่าจากน้ำฝนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเป็นตัวแทนกระบวนการทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำ ที่สามารถอธิบายกระบวนการทางอุทกวิทยาได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง อันเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการพัฒนาแหล่งน้ำ การจัดสรรน้ำ และการป้องกันผลเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน อันเป็นผลมาจากอุทกภัยได้ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการของ SCS โดยใช้แนวความคิดจากแบบจำลอง SFB ของ Boughton แบบจำลอง Lumped Model ของ Mallants และ Feyen แบบจำลอง CANARS ของ Calasans และแบบจำลองของสุพล มาพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย ส่วนสำคัญของแบบจำลองที่ศึกษาคือ การปรับค่าพารามิเตอร์ให้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณฝนและการกำหนดชนิดของลุ่มน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการไหลที่ปรากฏในลำน้ำ ในการศึกษาได้เลือกลุ่มน้ำคลองท่าลาดซึ่งมีลักษณะการใช้ที่ดินหลายประเภท เป็นตัวแทนลุ่มน้ำที่มีการไหลในลำน้ำแบบที่ 2 (การไหลตลอดมีอยู่ ระหว่าง 55-75%) จากการศึกษาและปรับค่าพารามิเตอร์พบว่าค่า Pa (Initial abstraction) และ ค่า K (Rate of Convertion) ต่างก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณฝน แบบจำลองที่ได้สามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำท่า จากข้อมูลน้ำฝนโดยตรง โดยที่ลักษณะของพื้นที่รับน้ำ จะถูกกำหนดโดยพฤติกรรมการไหลในลำน้ำจากการทดสอบแบบจำลองกับลุ่มน้ำก่ำ และ

ลุ่มน้ำหนุมานซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่มีลักษณะการไหลในลำน้ำแบบเดียวกับลุ่มน้ำท่าลาด พบว่าแบบจำลองให้ผลการคำนวณส่วนใหญ่ไปกันได้ดีกับข้อมูลจริงในสนาม แต่ในช่วงการคำนวณปริมาณน้ำมาก ๆ ให้ผลการคำนวณต่ำกว่าความเป็นจริงซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ป่าไม้ของลุ่มน้ำทดสอบมีน้อยกว่าพื้นที่ป่าไม้ในลุ่มน้ำที่เทียบปรับมาก แบบจำลองจึงมีการคำนวณปริมาณการเก็บกักในลุ่มน้ำมากกว่าความเป็นจริง ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จึงน้อยกว่าเป็นจริง จากผลการทดสอบแบบจำลองสรุปว่าค่า Pa นอกจากจะแปรผันตามปริมาณฝนแล้วยังแปรผันตามพื้นที่ป่าไม้ด้วย

สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากลักษณะภูมิประเทศที่กระจายตัวแบบต่าง ๆ ของ Olivera (1996. เว็บไซต์) ซึ่งได้วิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากกราฟน้ำท่าที่มีพื้นฐานมาจากสมการเส้นตรงของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยหรือค่าของแต่ละกริดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งแต่ละกริดที่ได้จะมีค่าไม่ซ้ำกันอันเกิดจากลักษณะเฉพาะของแต่ละตัวแปร ซึ่งปริมาณของน้ำท่าที่เกิดขึ้นได้จากปริมาณน้ำฝนที่ตกเกิน การประยุกต์ใช้ Arc/Info-Grid ซอฟแวร์ทางด้าน GIS มีความสามารถของเครื่องมือที่ใช้กับงานทางด้านอุทกวิทยา แต่ข้อแตกต่างที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งต้องพิจารณาและประยุกต์ใช้กับแบบจำลองให้เหมาะสม Pandey และ Dabral (เว็บไซต์) ได้ประมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเพื่อการเกษตรโดยใช้วิธี SCS Curve Number และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งหลักการของ SCS Curve Number โดยการใช้ค่า CN ที่ได้จากการแบ่งชนิดดินและประเภทสิ่งปกคลุมดินคำนวณร่วมกับปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมา ในปี 1993 จากความสัมพันธ์กันของชนิดดินและประเภทของสิ่งปกคุมดินได้มีการปรับแก้เพื่อให้ได้ค่าของ CN ที่เหมาะสมกับพื้นที่ของประเทศอินเดีย ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณของน้ำท่าเกิดขึ้น 244.40 ต่อฤดูมรสุม ของปี 1993 หรือคิดเป็นร้อยละ 35.52 ของปริมาณน้ำฝน

น้ำซึมลึก

สำหรับปัจจัยปริมาณของการซึมลึกนั้นเกิดจากลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำหลังจากการให้น้ำแก่พืชทางผิวดินหรือเมื่อมีฝนตกแล้ว น้ำจะไหลซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งการไหลซึมเข้าไปในดินนี้เรียกว่าการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) แต่หลังจากที่น้ำซึมผ่านผิวดินเข้ามาแล้ว จะ มีการไหลต่อไปด้วยแรงดึงดูดของโลก แรงดูดซับ (Capillary Force) และจากความกดดันของน้ำที่ขังอยู่บริเวณผิวดิน การไหลซึมของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของโลกและความกดดันในขณะที่ให้น้ำ หรือการไหลซึมของน้ำที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกเพียงอย่างเดียวเมื่อหยุดให้น้ำแล้ว เรียกว่าการซึมลึกในดิน (Percolation) (วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2526) การศึกษาค่าซึมลึกต่อวันโดย International Training Centre for Aerial Survey (2002) พบว่าเนื้อดินเหนียว (Clay) มีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 4 มิลลิเมตร/วัน ดินร่วน

เหนียว (Clay loam) มีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 7 มิลลิเมตร/วัน ดินร่วน (Loam) มีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 12 มิลลิเมตร/วัน และ ดินเหนียวทราย (Sandy clay) มีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 17 มิลลิเมตร/วัน ในขณะที่ปริมาณการซึมลึกที่ใช้ในงานชลประทานของประเทศไทย กำหนดให้ดินเหนียวมีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 1 - 2 มิลลิเมตร/วัน ดินทรายมีความสามารถในการซึมของน้ำเท่ากับ 3-10 มิลลิเมตร/วัน (กรมชลประทาน, 2531) หรือร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำฝน (กิจการ พรหมมา, 2546) ซึ่งการซึมลึกเกิดกับน้ำที่ไม่อยู่ในอำนาจดูดยึดของดินนี้ถือเป็นน้ำอิสระ นอกจากทำให้ธาตุอาหารสูญเสียไปจากดินแล้ว ที่สำคัญกว่านั้นในด้านการทำให้ความชื้นที่พืชต้องการสูญเสียไปจากดินในรูปของการซึมลึกเป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (กรมชลประทาน, 2531) ซึ่งการซึมของน้ำที่ผ่านโซนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำไปสู่ระดับล่างหรือบาดาลถูกควบคุมโดยองค์ประกอบเหล่านี้คือ (สง่า ตั้งชวาล, 2537)

(1) ปริมาณน้ำฝน (Amount of Rainfall) ถ้ามีมากการแทรกซึมได้มาก

(2) สภาพภูมิประเทศ (Topography) พื้นที่ที่ลาดเอียงน้ำมีการแทรกซึมผ่านพื้นที่ลาดเทลงสู่ทางด้านล่างได้มากกว่าบนพื้นที่ราบ

(3) ความพรุนและความซึมได้ของหินและดิน (Porosity and Permeability of Rock and Soil) คุณสมบัติของหินและดินมีค่าความพรุนและความซึมได้แตกต่างกัน หินและดินที่มีค่าความพรุนและความซึมได้สูงจะแทรกซึมได้มาก

(4) พืช (Plant) ถ้าในบริเวณนั้น พืชมักจะดูดซึมน้ำได้ดี ทำให้การแทรกซึมลงไปสู่ชั้นดินและหินข้างล่างได้น้อย

นอกจากปัจจัยสำคัญดังกล่าวข้างต้นแล้ว น้ำในดินยังเกิดจากการเรียงตัวของเม็ดดินที่ทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปทรงต่าง ๆ ขึ้น เมื่อฝนตกหรือให้น้ำแก่พืช น้ำก็จะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้และเกาะติดอยู่กับเม็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดินกับโมเลกุลของน้ำ (วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2526) น้ำที่ไหลซึมผ่านชั้นพื้นผิวดินได้มาจากน้ำฝน (Rain fall) จะลงไปกักเก็บอยู่เหนือเส้นระดับน้ำใต้ดิน และน้ำที่ขังอยู่ระหว่างเม็ดดินตะกอน (สง่า ตั้งชวาล, 2537) ซึ่งแบ่งออกเป็น

(1) โซนที่มีอากาศแทรก (Zone of Areation) เป็นส่วนของชั้นดินหรือชั้นหินที่มีอากาศบางทีเรียกว่า โซนที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Zone) โซนนี้จะอยู่เหนือ ระดับน้ำใต้ดินหรือระดับน้ำบาดาล (Ground Water Table หรือบางทีเรียกสั้น ๆ ว่า Water Table) และมีน้ำกักเก็บอยู่ และบางส่วนมีอากาศแทรกอยู่ มีความกดดันของของเหลวต่ำกว่าความกดดันของอากาศบนพื้นผิวดิน พืชส่วนมากได้รับน้ำใต้ดินในโซนที่มีอากาศแทรก ซึ่งน้ำในดินอยู่ในโซนนี้ด้วย

(2) โซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Suturation) เป็นโซนที่ไม่มีอากาศอยู่ใต้ระดับน้ำ ใต้ดิน น้ำที่ได้มาจากน้ำฝน น้ำที่ไหลตามแรงโน้มถ่วงจากโซนชั้นบน และน้ำที่มาจากหินหนืด (Magmatic Water) ที่อยู่ในระดับลึกเกิดจากการเย็นตัวตกผลึกของหินหนืดในโซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีน้ำใต้พื้นผิวดินอยู่เพียงชั้นเดียว คือ น้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล (Ground Water)

น้ำในดิน

จากการเปลี่ยนแปลงและถ่ายเทเคลื่อนไหวได้ตลอดเวลาของน้ำในวงจรอุทกวิทยา โดยอยู่ในรูปของปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้เกิดเป็นสมดุลของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งได้มีผู้ศึกษาเรื่องนี้มาเป็นระยะเวลานานแล้ว ในแต่ละวิธีมีการคำนวณหากันแตกต่างออกไปตามสภาพของท้องที่และวัตถุประสงค์ของผู้ศึกษา แต่โดยทั่วไปปริมาณน้ำในดินมักคำนวณจากสมการสมดุลน้ำ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญ คือ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณการคายระเหย ปริมาณน้ำท่า และปริมาณน้ำซึมลึก

สมาน ปราการรัตน์ (2537) ได้ศึกษาปริมาณของน้ำในดินจากวิธีการการวิเคราะห์สมดุลน้ำในดินโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรตั้งแต่ พ.ศ. 2512-2536 ของสถานีตรวจวัดอากาศเกษตร จำนวน 18 สถานี ทั่วประเทศ ได้กำหนดให้ช่วงที่ 3 ของเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่ดินจะมีน้ำในดินอิ่มตัวคือมีน้ำสะสมอยู่ 100 มิลลิเมตร ในทุกสถานีพบว่าจะเริ่มมีปริมาณสะสมของน้ำในดินที่ จังหวัดเชียงใหม่ ในปลายเดือนพฤษภาคม ถึงปลายเดือนพฤศจิกายน ปริมาณน้ำในดินจะมีมากที่สุด แต่ในต้นเดือนธันวาคมถึงกลางเดือนพฤษภาคม จะไม่มีปริมาณสะสมของน้ำในดินที่จังหวัดสุโขทัย สำหรับในจังหวัดพิษณุโลก จากการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า ช่วงระหว่างปลายเดือนพฤศจิกายนจนถึงต้นเดือนพฤษภาคม จะเป็นช่วงขาดแคลนน้ำ ช่วงระหว่างต้นเดือนพฤษภาคมถึงประมาณปลายเดือนสิงหาคม จะเป็นช่วงที่ฝนตกมากกว่าค่าคายระเหยน้ำ ซึ่งในช่วงนี้ดินเริ่มสะสมความชื้นจนถึงจุดอิ่มตัว หลังจากนั้นฝนจะตกลงมามากเกินกว่าที่ดินจะรับได้ จึงเป็นสาเหตุประการหนึ่งที่ก่อให้เกิดมีการไหลบ่าของน้ำ ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วงระหว่างกลางเดือนสิงหาคมจนถึงประมาณปลายเดือนตุลาคม ตั้งแต่ปลายเดือนตุลาคมเป็นต้นไป ฝนเริ่มจะตกน้อยลงเกินกว่าค่าคายระเหยน้ำ ซึ่งช่วงนี้พืชก็จะเริ่มใช้น้ำที่สะสมจากดินไปจนถึงต้นเดือนธันวาคม จากนั้นก็จะเข้าช่วงขาดน้ำต่อไป จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพอที่จะสรุปได้ว่า ฤดูกาลเพาะปลูกของจังหวัดพิษณุโลกในพื้นที่นอกเขตชลประทาน อยู่ระหว่างช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2538) รมณีย์ ทองดารา (2540) ได้การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจัดทำแผนที่ความชื้นของดิน กรณีศึกษา ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งการศึกษาเป็นการจัดทำแผนที่

ความชื้นของดิน โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และข้อมูลสำรวจระยะไกล พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในพื้นที่ หมู่บ้านบริวารของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมี วิธีการศึกษา คือ การจัดทำฐานข้อมูลความชื้นของดิน การจัดทำแผนที่เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน การเก็บตัวอย่างและวัดค่าความชื้นของดิน การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของดินกับค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุจากข้อมูลดาวเทียมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย การจัดทำแผนที่ความชื้นของดิน ได้ใช้โปรแกรม ILWIS โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ชุดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลาดชัน ปริมาณน้ำฝน ค่าศักย์การคายระเหย และค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ TM ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2538 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2539 ผลจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัย ที่มีต่อปริมาณความชื้นของดิน พบว่า ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลึกของดิน เนื้อดิน ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นของดิน โดยค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุของข้อมูลดาวเทียม LANDSAT แบนด์ 4 และความสูงจากระดับน้ำทะเลมีอิทธิพลต่อความชื้นของดินเท่ากับ 79.64 เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 1.877 เปอร์เซ็นต์ จากสมการประมาณค่าความชื้นของดินที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่สามารถจัดทำเป็นแผนที่ความชื้นของดิน เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหรือวางแผนการเพาะปลูกหรือการให้น้ำแก่พืชได้ นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถนำไปปรับใช้กับพื้นที่ศึกษาอื่น ๆ ได้ โดยใช้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความชื้นของดินหรือ สามารถเพิ่มปัจจัยการศึกษาเพื่อให้เกิดศักยภาพในการประมาณ ค่าความชื้นของดินเพิ่มขึ้น

สมดุลน้ำ

ชูโชค อายุพงศ์ (2531) ได้ศึกษาสมดุลปริมาณน้ำของลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีฝายจำนวนมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งปัจจุบันหน่วยงานของรัฐและองค์การระหว่างประเทศ กำลังเนินการอย่างเร่งรัดในการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ โดยเฉพาะในด้านแหล่งน้ำ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก เพื่อการเกษตร เช่น ฝาย มีจำนวนเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วทำให้มีความจำเป็นต้องวางแผนระยะยาวสำหรับการพัฒนาตลอดลุ่มน้ำ เพื่อป้องกันการแย่งน้ำกันระหว่างฝายแต่ละแหล่งในลุ่มน้ำเดียวกัน จึงต้องวางแผนตลอดลุ่มน้ำแต่ยังขาดวิธีในการวางแผน การศึกษานี้จึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการวางแผนพัฒนาในลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีฝายหลายแหล่ง แบบจำลองนี้ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ USDA Soil Conservation Service ในการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากฝน และใช้หลักการการสมดุลยของปริมาณน้ำ (Water

Balance) คำนวณปริมาณน้ำรายวันในแปลงนาที่ได้รับน้ำเสริมจากฝายตลอดฤดูเพาะปลูก (นาปี) โดยการตรวจสอบความชื้นในดินของแปลงนาแต่ละวัน และหาปริมาณผลผลิตที่ได้ต่อไร่ ซึ่งถ้าทำการ วิเคราะห์เช่นนี้สำหรับแผนการพัฒนาหลาย ๆ แผนแล้วเปรียบเทียบผลก็สามารถหาจำนวนฝายและตำแหน่งที่เหมาะสมในลุ่มน้ำได้ ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูลฝนรายวัน และข้อมูลการระเหยรายวัน ประเภทของการใช้ที่ดินและชนิดของดินในลุ่มน้ำ และลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ โดยข้อมูลเหล่านี้ได้รับการบันทึกไว้โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทางอุทกวิทยา แบบจำลองนี้จึงใช้ได้กับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า การศึกษานี้ได้ทดลองใช้แบบจำลองกับลุ่มน้ำห้วยยาง อำเภอบัวลำภู จังหวัดอุดรธานี และลุ่มน้ำห้วยแสนพัน อำเภอกุดบาก จังหวัดสกลนคร ในกรณีพื้นที่นาที่รับน้ำเสริมจากฝายแต่ละแห่งมีขนาด 400 ไร่ และพื้นที่รับน้ำของฝายแต่ละแห่งมีขนาดใกล้เคียงกัน ถ้าเกณฑ์ในการวางแผนต้องการให้ไม่มีการแย่งน้ำระหว่างฝายแต่ละแห่งเพื่อไม่ให้ผลผลิตข้าวที่ได้ต่อไร่ลดลง พบว่าลุ่มน้ำห้วยยาง (พื้นที่รับน้ำ 75 ตารางกิโลเมตร) สามารถมีฝายได้ 15 แห่ง และลุ่มน้ำห้วยแสนพัน (พื้นที่รับน้ำ 40 ตารางกิโลเมตร) มีฝายได้ 8 แห่ง

ธนากร ลัทธิถีระสุวรรณ (2543) ได้ศึกษาสมดุลของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยไร่ บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร ลุ่มน้ำห้วยไร่ซึ่งเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็กเป็นต้นน้ำลำธารที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งอยู่ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพาน ตำบลห้วยยาง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร พื้นที่ลุ่มน้ำประกอบไปด้วยป่าเต็งรัง การศึกษาสมดุลของน้ำในครั้งนี้โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า ปริมาณความชื้นดิน ปริมาณการระเหยจากถาดตั้งแต่เดือนเมษายน 2535 ถึงมีนาคม 2542 เป็นเวลา 7 ปี พบว่าปริมาณน้ำฝนรายปีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,588.3 มิลลิเมตร และปริมาณของน้ำท่ารายปีเฉลี่ยเท่ากับ 22,272.8 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นความสูงของน้ำเท่ากับ 160.9 ลูกบาศก์เมตร และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝน เท่ากับ 10.4 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 160,930.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางกิโลเมตร ปริมาณความชื้นของดิน เท่ากับ 174.5 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำรั่วซึม เท่ากับ 313 มิลลิเมตร คิดเป็น 19.2 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝน ปริมาณการคายระเหยน้ำรายปี เท่ากับ 1,114.3 มิลลิเมตร คิดเป็น 70.2 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝน ปริมาณการคายระเหยน้ำรายวัน เท่ากับ 3.1 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสมดุลของน้ำกับพื้นที่อื่นๆ ลุ่มน้ำห้วยไร่มีปริมาณการคายระเหยเมื่อ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณน้ำฝน มีค่ามากกว่าลุ่มน้ำที่มีสภาพการปกคลุมเป็นป่าไม่ผลัดใบปริมาณการคายระเหยน้ำรายปีในลุ่มน้ำห้วยไร่มีแนวโน้มมากขึ้น ปริมาณการคายระเหยน้ำรายเดือนเพิ่มขึ้นในฤดูฝนและลดลงในฤดูแล้ง ลุ่มน้ำห้วยไร่มีสถานภาพในระดับระวังภัย

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลหลักๆ ที่ใช้ในการวิจัยส่วนนี้ ได้แก่ ข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลการระเหย เนื้อดิน ภูมิประเทศและประเภทการใช้ที่ดิน ข้อมูลเหล่านี้จัดเก็บเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) ในรูปข้อมูลสถิติและแผนที่เชิงตัวเลข (Digital Map) โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) แผนที่เชิงตัวเลขแสดงขอบเขตการปกครองจังหวัด อำเภอ และตำบล มาตราส่วน 1: 50,000 จัดทำโดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (Thai Environment Institute: TEI)

(2) แผนที่เชิงตัวเลขแสดงพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยมาตราส่วน 1: 250,000

(3) แผนที่ภูมิประเทศ (Topography Map) ขนาดมาตราส่วน 1: 50,000 จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร

(4) แผนที่เชิงตัวเลขแสดงเส้นชั้นความสูง (Contour) และความลาดเทของพื้นที่ (Slope) ของจังหวัดพิษณุโลกมาตราส่วน 1: 50,000 จัดทำโดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

(5) แผนที่เชิงตัวเลขแสดงความลาดเทของพื้นที่ มาตราส่วน 1: 250,000 จัดทำโดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

(6) แผนที่เชิงตัวเลขแสดงชุดดินมาตราส่วน 1: 50,000 จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน

(7) แผนที่เชิงตัวเลขแสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินมาตราส่วน 1: 50,000 จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน

(8) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจำนวน 145 สถานี (พ.ศ. 2536 ถึง 2545) จากข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา และสถานีอุทกวิทยา กรมชลประทาน

(9) ข้อมูลปริมาณการระเหยจากถาดระเหยน้ำรายวัน จำนวน 14 สถานี (พ.ศ.2536 ถึง 2545) จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา

3.3.2 การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล เป็นข้อมูลที่มีความหลากหลายอยู่มาก ดังนั้นจึงมีการปรับปรุง และเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลเพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

(1) ออกแบบระบบฐานข้อมูล (Data Base) ที่บรรยายคุณลักษณะของข้อมูลแต่ละชั้นข้อมูลให้ครอบคลุมเนื้อหาที่ศึกษา

(2) นำเข้าตำแหน่งสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา (Add xy Data) เป็นข้อมูลจุด (Point) เป็น ระบบ UTM

(3) กำหนดขอบเขตของชั้นข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาทุกชั้นข้อมูลด้วยวิธีการ Clip Analysis ด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ศึกษา

(4) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และปรับปรุงแก้ไขระบบฐานข้อมูลแผนที่ โดยเปรียบเทียบกับแผนที่ฐาน (Base Map)

(5) จัดเตรียมข้อมูลชนิดดิน โดย สร้างชั้นข้อมูลชนิดของดิน ที่ได้จากการแบ่งกลุ่มชุดดินออกเป็น 4 กลุ่ม คือ Clay, Loam, Sandy Clay และ Clay Loam เพื่อใช้ในการหา ปริมาณการซึมลึก และค่า CN

(6) สร้างชั้นข้อมูลพื้นที่เกษตรกรรมจากแผนที่การใช้ที่ดิน โดยเลือกพื้นที่ทำการเกษตรที่เพาะปลูก ข้าว พืชไร่ และพืชผัก

(7) สร้างชั้นข้อมูลความเหมาะสมของการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรต่อชนิดของพืชที่ใช้ปลูกตามโปรแกรม Soil View ของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งวิเคราะห์จากชุดดินที่มีคุณสมบัติต่อการปลูกพืช

(8) สร้างชั้นข้อมูลสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient : Kc) ตามชนิดของพืช เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการใช้น้ำของพืช

(9) นำเข้าจุดความสูง โดยใช้ข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50000 เพื่อนำจุดความสูงเหล่านี้ไปใช้ในการสร้าง DEM

3.3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

(1) ปริมาณน้ำฝนและปริมาณการระเหย สร้างชั้นข้อมูลการกระจายของปริมาณน้ำฝนและปริมาณการระเหย โดยการประมาณค่าเชิงพื้นที่ ด้วยวิธี Tension Spline Type

(2) ปริมาณของน้ำท่าผิวดิน คำนวณจากผลรวมของน้ำท่าที่คำนวณได้จาก 2 วิธีการคือ (1) วิธีการคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าซึ่งวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ความชัน และ (2) วิธีการคำนวณจาก SCS Curve Number ซึ่งวิเคราะห์จากชนิดดิน (Soil Type) และประเภทสิ่งปกคลุมดิน และ (Land Cover Type) โดยวิธีการคำนวณน้ำท่าจากสัมประสิทธิ์น้ำท่า สามารถวิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ โดยการนำข้อมูลจุดความสูงของพื้นที่มาสร้าง DEM เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน และแบ่งชั้นข้อมูลตามเปอร์เซ็นต์ความลาดชัน ด้วยวิธี Reclassify เพื่อแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 แบบ ตามการจำแนกในงานชลประทาน ดังตาราง 3-1 จากเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความลาดชันนำมาวิเคราะห์สัมประสิทธิ์น้ำท่าในสมการ 3-1 แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณปริมาณน้ำท่ามาคำนวณหาปริมาณน้ำท่าใน สมการ 3-2

สมการคำนวณสัมประสิทธิ์น้ำท่า

$$Rc = (a*P)+b \qquad \text{(สมการ 3-1)}$$

สมการคำนวณปริมาณน้ำท่า

R = [P*Rc*Area] / 1000 (สมการ 3-2)

เมื่อ R = น้ำท่า (ลบ.ม.) Rc = สัมประสิทธิ์น้ำท่า

P = น้ำฝน (มม.) a = ค่าคงที่ของสมการ

b = ค่าคงที่ของสมการ

Area = พื้นที่ (ตร.ม.) (ในการศึกษานี้ เท่ากับ 1600)

ตาราง 3-1 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการในการคำนวณสัมประสิทธิ์น้ำท่า

Terrain	Type	Slope	a	b
1	Flat area	0 – 5%	0.1293	- 6.2370
2	Gentle slope area	> 5 – 15%	0.1293	- 3.0540
3	Rolling area	>15 – 30%	0.1295	1.4890
4	Steep area	> 30%	0.1295	5.7160

ส่วนวิธีการคำนวณปริมาณน้ำท่าจาก SCS Curve Number โดยการใช้ค่า CN ที่ได้จากการแบ่งชนิดดินและประเภทสิ่งปกคลุมดิน ดังตาราง 3-2 มาคำนวณในสมการ 3-3 และสมการ 3-4 ตามลำดับ

$$R = [((P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S)) * 25.4 * Area] / 1000 \quad \text{(สมการ 3-3)}$$

โดยที่ $P > 0.2S$

$$S = (1000/CN) - 10 \quad \text{(สมการ 3-4)}$$

เมื่อ R = ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม.)

P = ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)

S = ความสามารถกักเก็บน้ำของดิน (นิ้ว)

ตาราง 3-2 ค่า CN แบ่งตามชนิดดินและประเภทสิ่งปกคลุมดิน

ชนิดดิน	ไร่ร้าง	พืชผัก	นาข้าว	พืชไร่	ทุ่งหญ้า	ป่าไม้	ชุมชน
A (sandy)	77	67	62	60	30	35	58
B (loamy)	86	76	73	72	58	60	73
C (sandy clay loam)	91	83	81	81	71	73	82
D (clay)	94	86	85	84	78	80	86

(3) ปริมาณการซึม ซึ่งปริมาณน้ำที่สามารถซึมลงผ่านพื้นผิวดิน คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$I = P-(R+E) \quad \text{(สมการ 3-5)}$$

เมื่อ I = ปริมาณการซึมทั้งหมด (น้ำในดินและน้ำซึมลึก) (ลบ.ม.)

P = ปริมาณน้ำฝน (ลบ.ม.)

R = ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม.)

E = ปริมาณการระเหย (ลบ.ม.)

(4) ปริมาณการซึมลึก โดยทดสอบการคำนวณจาก 7 แบบจำลองของการซึมลึก เพื่อได้ความเหมาะสมของปริมาณการซึมที่เหมาะสมกับการศึกษาครั้งนี้

(4.1) ปริมาณการซึมลึกที่ได้จากชนิดของดินที่ได้ศึกษาไว้โดย International Training Centre for Aerial Survey (ITC, 2002) และกรมชลประทาน (2531) (ตาราง3-3) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$D_{(A, B, C, D)} = Dtex*Dday*Area \quad \text{(สมการ 3-6)}$$

เมื่อ $D_{(A, B, C, D)}$ = ปริมาณการซึมลึก/สัปดาห์ตามชนิดดิน (ลบ.ม.)

Dtex = ปริมาณการซึมลึก/วัน ตามชนิดดิน (ลบ.ม.)

Dday = จำนวนวันที่ใช้ศึกษาสำหรับการศึกษานี้เท่ากับ 7 วัน

Area = พื้นที่ (ไร่)

ตาราง 3-3 ค่าการปรับแก้ปริมาณการซึมลึกของสถาบัน ITC และ กรมชลประทาน

Texture	A	B	C	D
A(Clay)	4	1.00	1	4
B(Loam)	12	2.57	3	12
C(Sandy clay)	14	3.00	3	12
D(Clay loam)	7	1.75	1	4

ที่มา : ITC = International Training Centre for Aerial Survey, RID = กรมชลประทาน

(*มิลลิเมตร/วัน)

(4.2) ปริมาณการซึมลึกที่มีการศึกษาไว้โดยกองวางแผนที่ดิน ซึ่งกำหนดให้ดินระดับความลึก 50 เซนติเมตร สามารถสะสมน้ำได้สูงสุด 100 มิลลิเมตร

$$D_{(E)} = (P-(E+R))-(100*Area) \quad \text{(สมการ 3-7)}$$

เมื่อ $D_{(E)}$ = ปริมาณการซึมลึกของกรมพัฒนาที่ดิน (ลบ.ม.)

(4.3) ปริมาณการซึมลึกโดยคิดจาก 5% ของปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในพื้นที่

$$D_{(F)} = ((P* 5)/100)*Area \quad \text{(สมการ 3-8)}$$

เมื่อ $D_{(F)}$ = ปริมาณการซึมลึกที่คิดเป็น 5% ของปริมาณน้ำฝน (ลบ.ม.)

(4.4) ปริมาณการซึมลึกที่ได้จากความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ในระดับความลึก 50 เซนติเมตร

$$D_{(G)} = (P-(E+R))–(Spore* Area) \quad \text{(สมการ 3-9)}$$

เมื่อ $D_{(G)}$ = ปริมาณการซึมลึกจากการอุ้มน้ำของดินชนิดต่าง ๆ (ลบ.ม.)

Spore = สัมประสิทธิ์ความพรุนของดินแต่ละชนิด (ตาราง 3-4)

ตาราง 3-4 สัมประสิทธิ์ความพรุนของดินแต่ละชนิด

ชนิดดิน	สัมประสิทธิ์ความพรุน
clay	0.60
clay loam	0.60
coarse	0.40
loam	0.50
loamy sand	0.40
sand	0.40
sand clay loam	0.50
sandy clay	0.40
silt loam	0.50
average	0.50

ที่มา : ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ (2541)

(5) ปริมาณน้ำในดิน แบบจำลองน้ำในดินประกอบด้วยตัวแปรสำคัญดังสมการ 3 -10 (ยงยุทธ โสถสภา และคณะ , 2541)

$$SW = P-(R+D+E) \qquad \text{(สมการ 3-10)}$$

เมื่อ SW = ปริมาณน้ำในดิน (ลบ.ม.)

P = ปริมาณน้ำฝน (ลบ.ม.)

R = ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม.)

D = ปริมาณการซึม (ลบ.ม.)

E = ปริมาณการระเหย (ลบ.ม.)

การวิเคราะห์ข้อมูลในแบบจำลองน้ำในดินได้กำหนดวิธีวิเคราะห์ โดยแบ่งตามวิธีการคำนวณตามแบบจำลองการซึมลึก จึงสามารถแบ่งแบบจำลองน้ำในดินได้ดังนี้

(5.1) แบบจำลองน้ำในดินโดยใช้ปริมาณการซึมลึกตามลักษณะของเนื้อดิน (ลบ.ม.)

$$SW_{(A)}, SW_{(B)}, SW_{(C)}, SW_{(D)} = (P)-(E+D_{(A,\ B,\ C,\ D)}+R) \qquad \text{(สมการ 3-11)}$$

(5.2) แบบจำลองน้ำในดินที่ใช้ปริมาณการซึมลึกที่ศึกษาไว้โดยกองวางแผนที่ดิน (ลบ.ม.)

$$SW_{(E)} = (P)-(E+D_{(E)}+R) \quad \text{(สมการ 3-12)}$$

(5.3) แบบจำลองน้ำในดินโดยใช้ปริมาณการซึมลึกจาก 5% ของปริมาณน้ำฝน (ลบ.ม.)

$$SW_{(F)} = (P)-(E+D_{(F)}+R) \quad \text{(สมการ 3-13)}$$

(5.4) แบบจำลองน้ำในดินโดยใช้ปริมาณการซึมลึกที่เหลือจากความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (ลบ.ม.)

$$SW_{(G)} = (P)-(E+D_{(G)}+R) \quad \text{(สมการ 3-14)}$$

แบบจำลองน้ำในดินโดยวิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตาราง 3-5

ตาราง 3-5 แบบจำลองน้ำในดินที่คำนวณตามลักษณะการซึมลึก

สมการ	หมายเหตุ
$SW_{(A)} =(P)-(E+D_{(A)}+R)$	คิดปริมาณการซึมลึกตามชนิดของดินแบบของ ITC
$SW_{(B)} =(P)-(E+D_{(B)}+R)$	คิดปริมาณการซึมลึกตามชนิดของดินแบบ ITC ที่ปรับเทียบกับแบบของชลประทาน
$SW_{(C)} =(P)-(E+D_{(C)}+R)$	คิดปริมาณการซึมลึกตามชนิดของดินแบบของชลประทาน
$SW_{(D)} =(P)-(E+D_{(D)}+R)$	คิดปริมาณการซึมลึกตามชนิดของดินแบบของชลประทานที่ปรับเทียบกับแบบของITC
$SW_{(E)} =(P)-(E+D_{(E)}+R)$	คิดปริมาณการซึมลึกแบบของกรมพัฒนาที่ดิน
$SW_{(F)} =(P)-(E+D_{(F)}+R)$	คิดปริมาณการซึมลึกจากร้อยละ 5 ของน้ำฝน
$SW_{(G)} =(P)-(E+D_{(G)}+R)$	คิดปริมาณการซึมลึกที่เหลือจากความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน

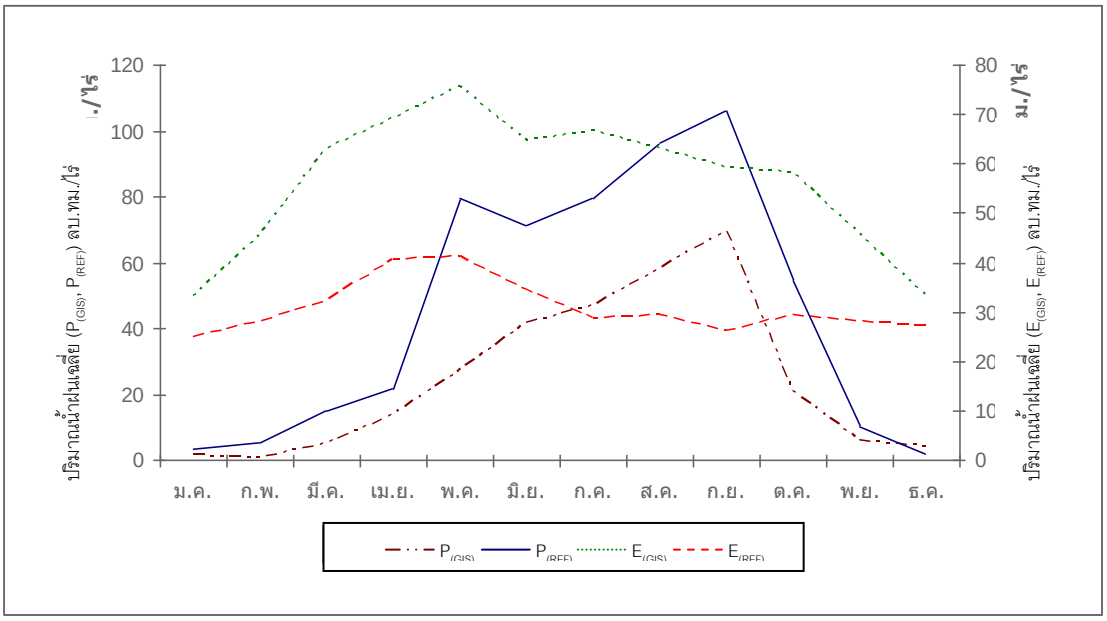
3.4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองสมดุลน้ำ

3.4.1 ปริมาณน้ำฝนและปริมาณการระเหย

ปริมาณน้ำฝน ($P_{(GIS)}$) และปริมาณการระเหย ($E_{(GIS)}$) ของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการประมาณเชิงพื้นที่ เมื่อนำมาหาค่าสหสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและปริมาณการระเหยอ้างอิง ($P_{(REF)}$, $E_{(REF)}$) ของกรมพัฒนาที่ดิน (ภาพ 3-2) พบว่า ปริมาณน้ำฝนมีค่าสหสัมพันธ์ร้อยละ 96 และปริมาณการระเหยมีค่าสหสัมพันธ์ร้อยละ 74 ช่วงสัปดาห์ที่ 34 ถึงสัปดาห์ที่ 37 มีปริมาณ

น้ำฝนเฉลี่ยมากกว่าสัปดาห์อื่น ๆ คือ 109-119 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ สำหรับปริมาณของน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปีของพิษณุโลกและอุตรดิตถ์ เท่ากับ 2,094 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (1,309 มิลลิเมตร) และ 1,925 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (1,203 มิลลิเมตร) ตามลำดับ ซึ่งผลรวมของทั้งจังหวัดเท่ากับ 13,948 และ 9,395 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ (ภาพ 3-3)

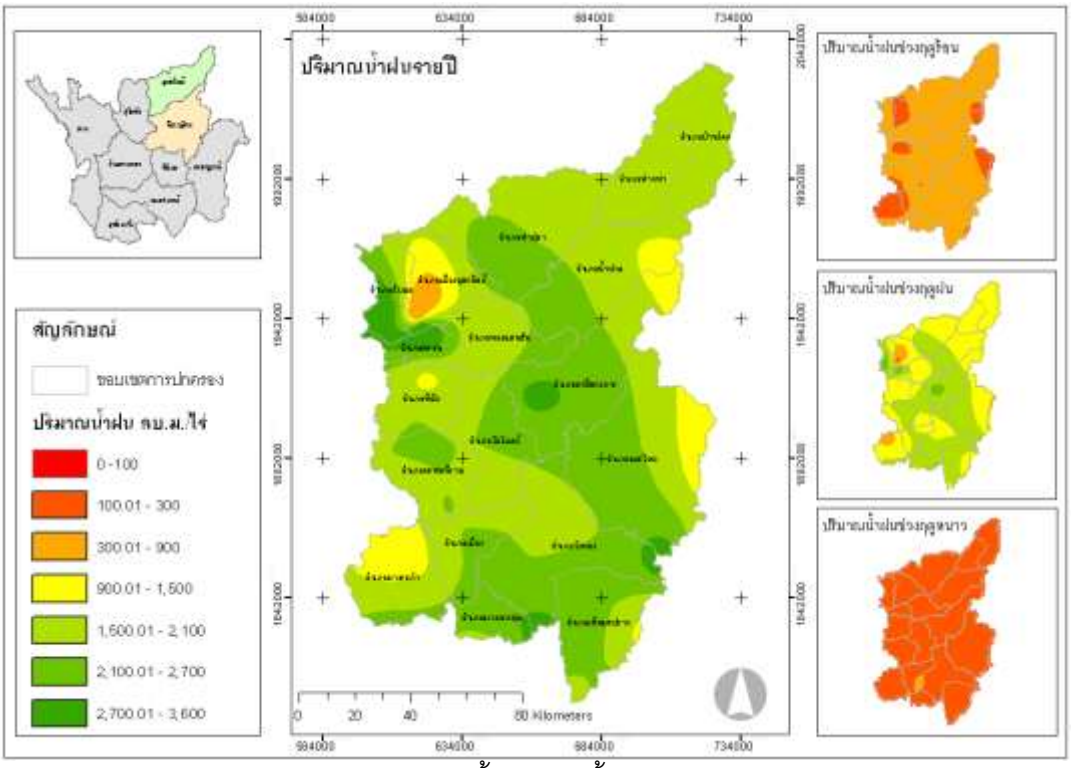
ปริมาณการระเหยจากถาดของทั้ง 2 จังหวัด ในช่วงสัปดาห์ที่ 16 ถึง สัปดาห์ที่ 18 เป็นสัปดาห์ที่มีปริมาณการระเหยเฉลี่ยสูงกว่าสัปดาห์อื่นๆ คือ 66-68 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ สำหรับปริมาณการระเหยเฉลี่ยทั้งปีของพิษณุโลกและอุตรดิตถ์ เท่ากับ 2,540 และ 2,363 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (1,587 และ 1,476 มิลลิเมตร) ตามลำดับ ซึ่งผลรวมของการระเหยทั้งจังหวัดเท่ากับ 16,914 และ 11,534 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ (ภาพ 3-4)



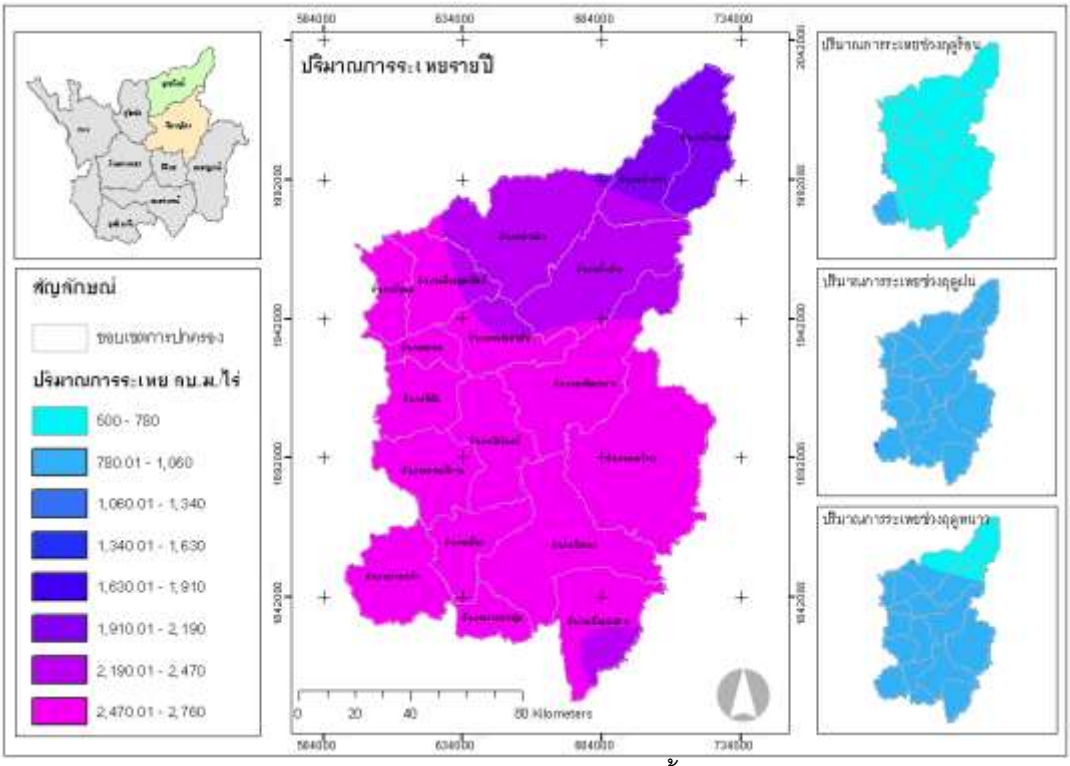
ภาพ 3-2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำระเหย จากผลการศึกษาของสารสนเทศภูมิศาสตร์ ($P_{(GIS)}$,$E_{(GIS)}$) กับผลการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน ($P_{(REF)}$,$E_{(REF)}$)

จากการศึกษาปริมาณน้ำฝนและปริมาณการระเหยจากถาดของจังหวัดพิษณุโลกและอุตรดิตถ์ พบว่า สัปดาห์ที่ปริมาณของน้ำฝนเพิ่มมากขึ้นจนสูงกว่าปริมาณการระเหยมีจำนวน 22 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 20 ถึงสัปดาห์ที่ 41 (ยกเว้นสัปดาห์ที่ 25 ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่ำกว่าปริมาณการระเหย) สำหรับปริมาณการระเหยจริงซึ่งคำนวณจากสมการสมดุลน้ำ โดยปริมาณน้ำฝนลบกับผลรวมของปริมาณน้ำท่าและน้ำซึม พบว่า จังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณเฉลี่ย 1,431 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ /ปี และมีปริมาณรวมทั้งจังหวัดเท่ากับ 9,532 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี จังหวัดอุตรดิตถ์มีปริมาณการระเหยจริงเฉลี่ย 1,275 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี และมีปริมาณรวมทั้งจังหวัด

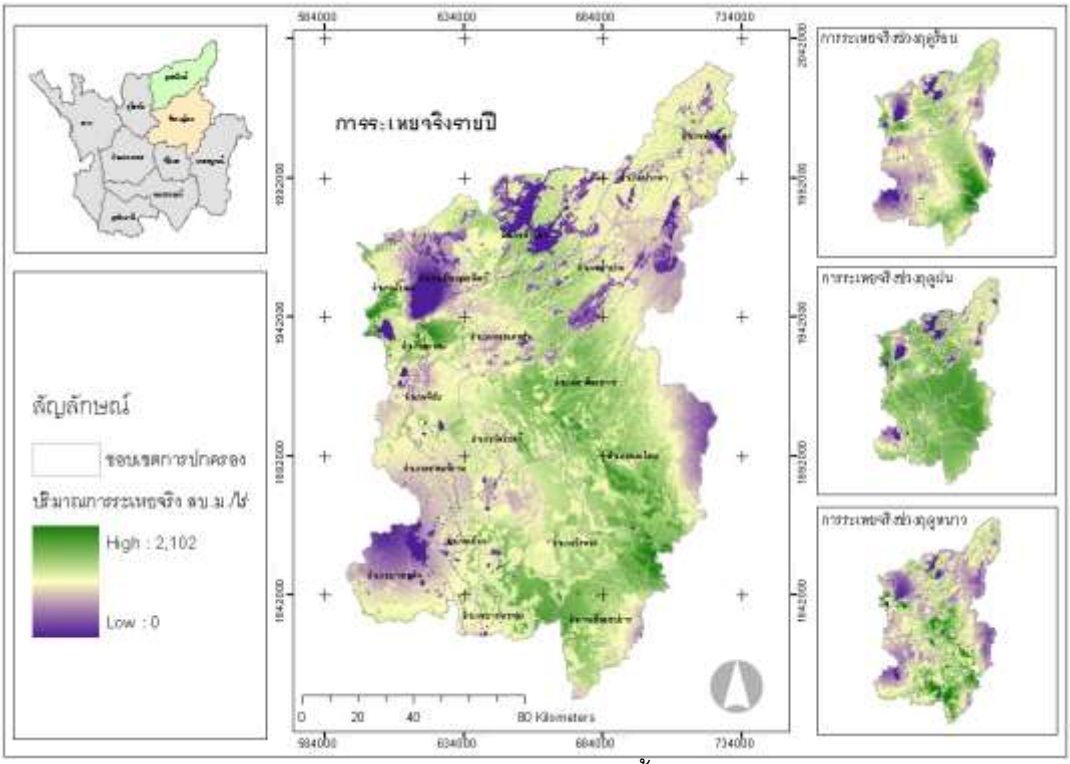
เท่ากับ 6,213 ล้านลูกบาศก์เมตร/ ปี (ภาพ 3-5) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน ปริมาณการระเหยจากถาด และปริมาณการระเหยจริง สรุปได้ดังตาราง 3-6



ภาพ 3-3 ปริมาณน้ำฝนรวมทั้งปี และแต่ละฤดูกาล



ภาพ 3-4 ปริมาณการระเหยจากถาดรวมทั้งปี และแต่ละฤดูกาล



ภาพ 3-5 ปริมาณการระเหยจริงรวมทั้งปี และแต่ละฤดูกาล

ตาราง 3-6 ปริมาณน้ำฝน ปริมาณการระเหยจากถาด และปริมาณการระเหยจริงที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ค่าสถิติ	ปริมาณน้ำฝน		ปริมาณการระเหยจากถาด		ปริมาณการระเหยจริง	
	พิษณุโลก	อุตรดิตถ์	พิษณุโลก	อุตรดิตถ์	พิษณุโลก	อุตรดิตถ์
*ต่ำสุด	884.05	314.12	2,314.23	1,911.53	-	-
*สูงสุด	2,936.78	3,531.54	2,757.15	2,668.22	2,102.34	2,062.97
*พิสัย	2,052.74	3,217.42	442.92	756.69	2,106.14	2,096.32
*เฉลี่ย	2,094.39	1,925.15	2,539.75	2,363.29	1,431.39	1,275.00
*เบี่ยงเบน	363.51	391.16	61.71	182.48	260.91	349.94
**รวม	13,948.20	9,395.75	16,914.20	11,534.10	9,532.37	6,213.04

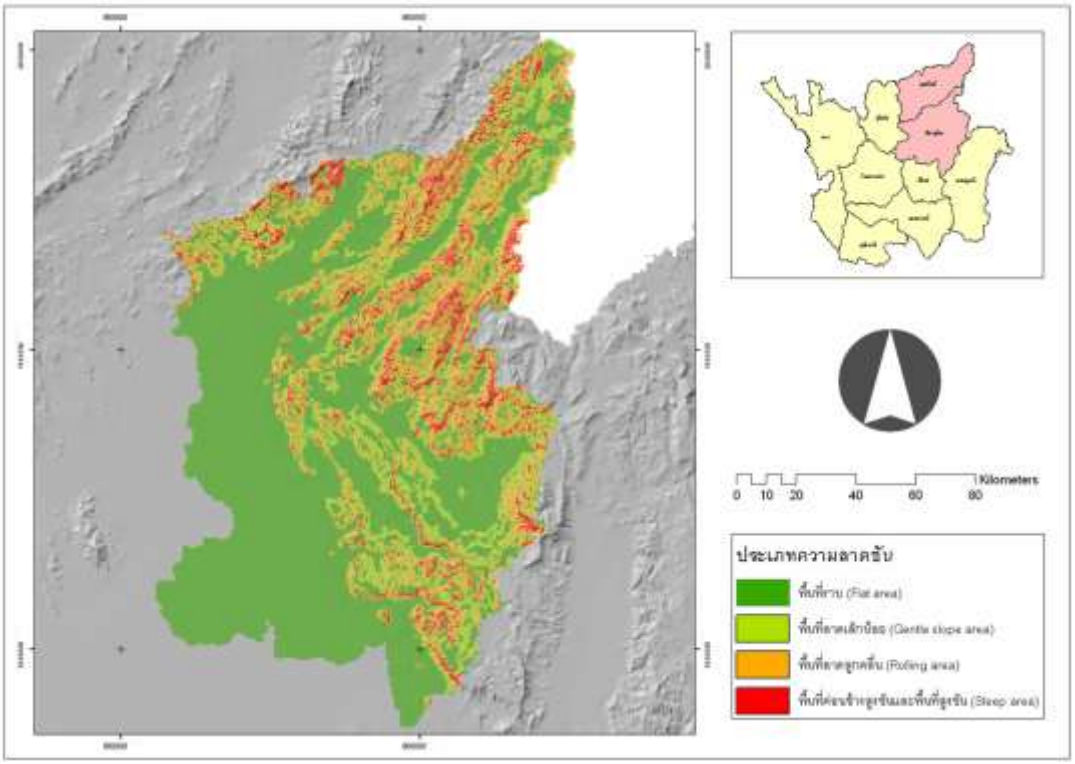
* มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี และ ** มีหน่วยเป็น ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี

3.4.2 ปริมาณน้ำท่า

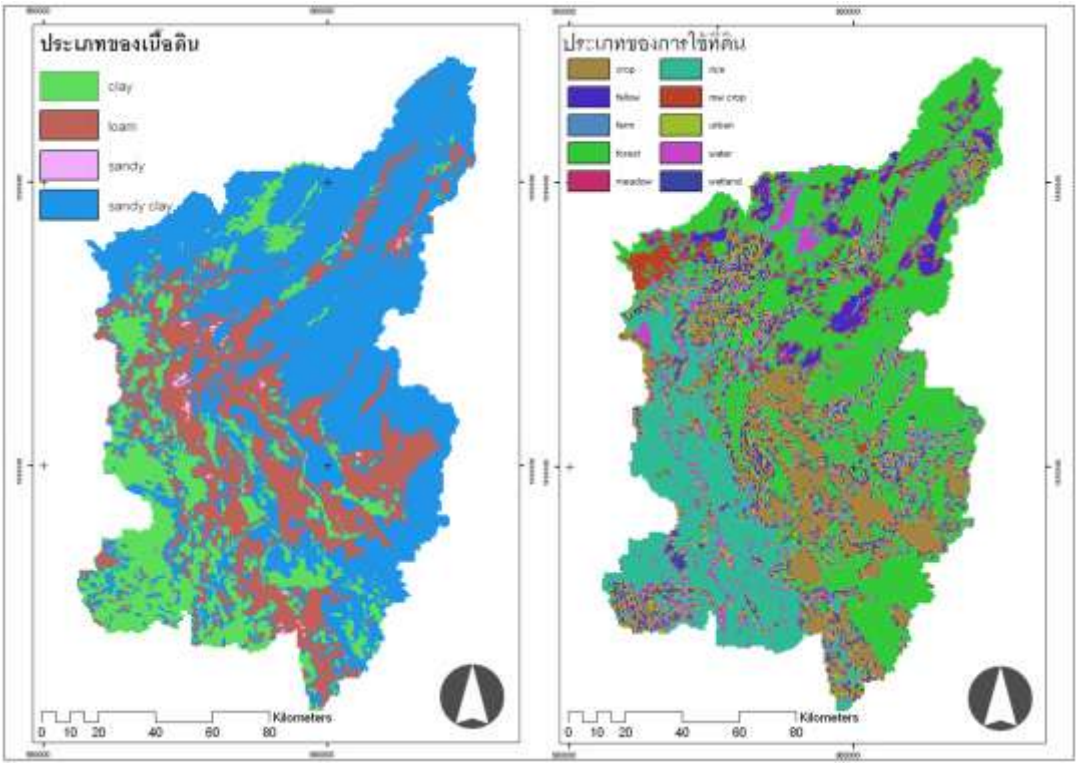
การศึกษาปริมาณของน้ำท่าได้ประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณปริมาณของน้ำท่าจากค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าและการคำนวณปริมาณน้ำท่าจาก CN Curve โดยที่สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient) แบ่งตามลักษณะความลาดเทของภูมิประเทศ (Slope) ออกเป็น 4 ประเภท คือ พื้นที่ราบ (Flat Area) พื้นที่ลาดเล็กน้อย (Gentle Slope Area) พื้นที่ลาดลูกคลื่น (Rolling Area) และพื้นที่สูงชัน (Steep Area) จากชั้นข้อมูลความสูงได้นำมาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความลาดเทของพื้นที่ แล้วแบ่งพื้นที่ตามเปอร์เซ็นต์ความลาดเทออกเป็น 4 ประเภท (ตาราง 3-7) ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะภูมิประเทศแบบพื้นที่ราบมีพื้นที่มากที่สุดคือ 7,996,358 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 69 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากทางทิศตะวันตกของทั้ง 2 จังหวัดแต่พบในจังหวัดพิษณุโลกมากกว่าจังหวัดอุตรดิตถ์ สำหรับพื้นที่ลาดลูกคลื่น พื้นที่ลาดเล็กน้อย และพื้นที่ค่อนข้างสูงชัน มีพื้นที่ 1,318,226, 1,138,932 และ 1,080,835 ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 11, 10 และ 9 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ลักษณะภูมิประเทศพบมากทางตอนกลาง และตะวันออกของจังหวัด (ภาพ 3-6) พื้นที่แต่ละประเภทตามเกณฑ์แบ่งด้วยความลาดเทได้นำไปใช้คำนวณหาสัมประสิทธิ์น้ำท่าของพื้นที่แต่ละประเภทร่วมกับปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากวิธี SCS Curve Number ซึ่งได้จากการคำนวณปริมาณน้ำท่าตามประเภทของการใช้ที่ดินและเนื้อดิน (ภาพ 3-7)

ตาราง 3-7 เนื้อที่ตามประเภทความลาดชันของพื้นที่

ประเภทความลาดชัน	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (ตร.กม.)	พิษณุโลก (ไร่)	อุตรดิตถ์ (ไร่)
พื้นที่ราบ (Flat area)	7,996,358	12,794	4,812,920	3,183,438
พื้นที่ลาดเล็กน้อย (Gentle slope area)	1,138,932	1,822	704,694	434,238
พื้นที่ลาดลูกคลื่น (Rolling area)	1,318,226	2,109	690,966	627,260
พื้นที่สูงชัน (Steep area)	1,080,835	1,729	450,976	629,859



ภาพ 3-6 ลักษณะความลาดชันของพื้นที่



ภาพ 3-7 ประเภทการใช้ที่ดินและเนื้อดินที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธี CN (curve number)

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองน้ำท่าในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของกรมชลประทาน และกองประปาส่วนภูมิภาค โดยใช้พื้นที่ลุ่มน้ำน่าน พบว่าปริมาณของน้ำท่ารายปีที่ได้จากแบบจำลองเท่ากับ 10,148 ล้านลูกบาศก์เมตร (จากปริมาณน้ำฝน 1,308 มิลลิเมตร หรือ 45,213 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 22 ของปริมาณน้ำฝน) ส่วนผลการศึกษาปริมาณของน้ำท่าของกรมชลประทานเท่ากับ 12,015 ล้านลูกบาศก์เมตร (จากปริมาณของน้ำฝนเฉลี่ย 1,272 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ 43,693 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 27 ของปริมาณน้ำฝน) (กรมชลประทาน, 2547. เว็บไซต์) และผลการศึกษาของการประปาส่วนภูมิภาคเท่ากับ 9,158 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณน้ำฝน) (การประปาส่วนภูมิภาค, 2547. เว็บไซต์)

ผลการศึกษา พบว่า จังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 515.9 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี มีผลรวมของทั้งจังหวัดเท่ากับ 3,435 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ซึ่งสัปดาห์ที่ 34 มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุด คือ 344 ล้านลูกบาศก์เมตรและมีปริมาณเฉลี่ย 51.7 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ จังหวัดอุตรดิตถ์มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 537 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ผลรวมของทั้งจังหวัดเท่ากับ 2,617 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ซึ่งสัปดาห์ที่ 34 มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุด คือ 259 ล้านลูกบาศก์เมตรมีปริมาณเฉลี่ย 53.2 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (ตาราง 3-8) ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าสามารถแสดงการกระจายของปริมาณน้ำท่าได้ดังภาพ 3-8

ตาราง 3-8 ปริมาณน้ำท่า

สัปดาห์ที่	พิษณุโลก			อุตรดิตถ์		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
1	10	0	220,852	4	0	517,848
2	8	0	321,016	8	0	729,260
3	2	0	20,049	3	0	64,204
4	19	0	350,581	6	0	321,814
5	6	0	149,905	3	0	161,282
6	17	0	393,394	2	0	61,279
7	16	0	693,685	14	0	1,616,800
8	19	0	541,523	17	0	1,339,080
9	19	0	888,304	31	1	3,437,880
10	25	0	991,331	55	2	8,290,350
11	26	0	1,099,650	16	0	1,872,890
12	48	1	3,286,030	28	1	3,734,170
13	32	0	2,942,090	42	3	12,454,700
14	62	1	6,413,730	36	2	8,394,170
15	101	1	9,567,590	39	2	10,239,300
16	62	2	13,575,900	42	2	11,601,000
17	70	4	26,716,400	60	6	28,653,200
18	109	6	36,312,700	128	9	42,340,800
19	133	18	117,004,000	209	25	119,647,000
20	123	19	129,072,000	157	27	130,768,000
21	108	12	81,138,000	110	13	63,636,700
22	128	20	134,663,000	116	20	96,281,700

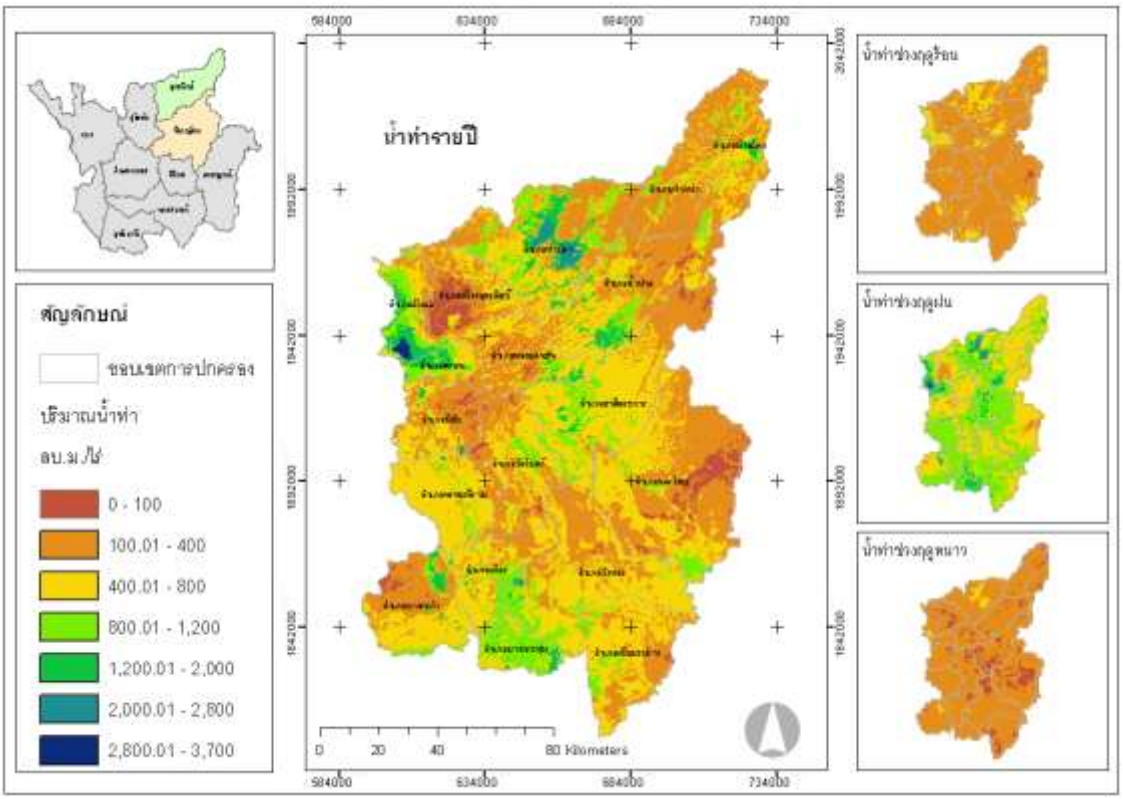
ตาราง 3-8 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	พิษณุโลก			อุตรดิตถ์		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
23	97	15	96,704,600	177	20	95,631,700
24	87	10	67,941,900	92	12	58,584,100
25	77	5	31,297,900	51	4	18,533,500
26	109	12	79,853,000	105	11	51,813,000
27	139	20	136,107,000	118	11	55,481,900
28	81	8	50,181,800	89	9	43,117,800
29	172	20	130,057,000	77	12	60,099,200
30	124	18	119,171,000	87	11	55,231,800
31	159	33	220,572,000	188	38	183,822,000
32	167	31	205,761,000	168	29	142,031,000
33	117	17	115,308,000	155	25	120,420,000
34	199	52	344,088,000	241	53	259,202,000
35	147	32	211,115,000	218	49	236,526,000
36	186	45	297,109,000	169	35	172,041,000
37	165	43	284,401,000	151	32	155,753,000
38	158	37	244,497,000	206	35	172,149,000
39	106	12	77,127,000	115	16	76,046,100
40	139	12	78,453,500	82	7	36,264,300
41	78	4	23,933,600	69	4	19,775,600
42	45	1	9,428,250	39	2	9,239,650
43	88	4	24,590,800	88	6	27,709,300
44	66	2	15,097,000	71	2	9,968,520
45	30	0	2,179,850	18	1	2,970,720

ตาราง 3-8 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	พิษณุโลก			อุตรดิตถ์		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
46	21	0	1,191,400	14	1	2,310,210
47	18	0	624,280	15	0	1,988,800
48	15	0	609,611	9	0	884,950
49	21	0	835,948	6	0	253,431
50	2	0	68,110	0	0	33,344
51	0	0	64,256	1	0	67,671
52	16	0	822,356	24	1	3,155,940
รวม		516	3,435,552,891		537	2,617,268,964

หมายเหตุ : * ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ** ลูกบาศก์เมตร/ปี



ภาพ 3-8 ปริมาณน้ำท่ารายปี และปริมาณน้ำท่าแต่ละฤดูกาล

3.4.3 ปริมาณการซึมทั้งหมด

ปริมาณน้ำที่สามารถซึมลงสู่ผิวดิน (Infiltration) คิดจากปริมาณของน้ำฝนที่เหลือจากการระเหยและที่กลายเป็นน้ำท่า ผลการศึกษาพบว่า จังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณการซึมทั้งหมดเฉลี่ย 247.0 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี มีผลรวมของทั้งจังหวัดเท่ากับ 1,644 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี สัปดาห์ที่ 36 มีปริมาณการซึมมากที่สุด คือ 167.1 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 25.1 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ จังหวัดอุตรดิตถ์มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 196.5 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี มีผลรวมของทั้งจังหวัดเท่ากับ 957 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ซึ่งสัปดาห์ที่ 31 มีปริมาณการซึมมากที่สุด คือ 105.8 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 21.7 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (ตาราง 3-9)

ตาราง 3-9 ปริมาณการซึมรายสัปดาห์

สัปดาห์ที่	พิษณุโลก			อุตรดิตถ์		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
1 – 16	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	2	-	4,035
18	23	0	981,534	36	0	461,229
19	42	3	18,150,800	71	4	18,219,700
20	48	5	34,794,200	65	7	33,048,800
21	31	1	9,054,430	39	1	4,914,860
22	49	6	36,648,500	47	4	19,979,300
23	36	4	24,088,800	66	4	17,427,000
24	37	2	14,172,000	28	1	5,311,200
25	29	1	4,827,360	-	-	-
26	55	6	39,396,300	45	3	14,060,900
27	72	12	82,528,400	51	4	19,263,000
28	42	4	27,071,100	39	2	11,358,800
29	87	10	68,000,200	38	4	21,452,500
30	63	10	68,512,900	36	4	20,015,800

ตาราง 3-9 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	พิษณุโลก			อุตรดิตถ์		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
31	78	22	146,402,000	88	22	105,863,000
32	71	17	111,006,000	78	16	79,194,600
33	74	16	107,029,000	75	15	71,909,000
34	101	24	157,112,000	91	21	103,257,000
35	73	21	137,145,000	88	21	103,197,000
36	84	25	166,906,000	74	17	84,117,500
37	82	25	167,194,000	74	18	85,392,500
38	82	22	145,702,000	86	18	89,377,600
39	48	4	24,415,200	53	7	31,995,800
40	68	7	43,304,800	32	2	8,141,120
41	27	1	4,273,640	23	0	1,806,230
42	1	-	1	-	-	-
43	40	1	4,343,640	32	1	6,867,030
44	19	0	1,588,270	23	0	902,698
45 – 52	-	-	-	-	-	-
รวม		247	1,644,648,075		197	957,538,202

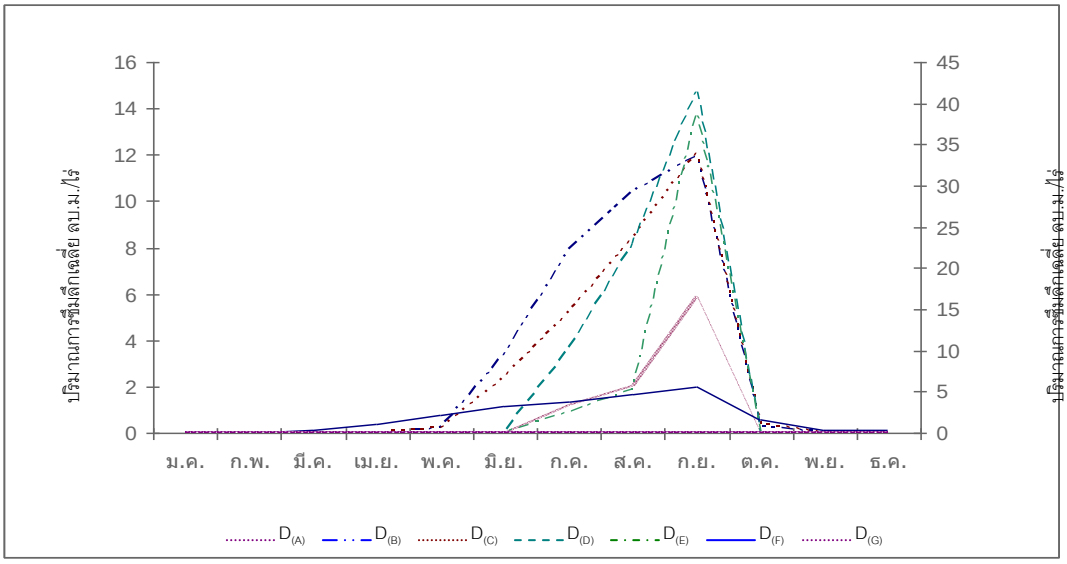
หมายเหตุ : * ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ** ลูกบาศก์เมตร/ปี

3.4.4 ปริมาณการซึมลึก

ปริมาณของน้ำฝนที่สามารถซึมลึกลงสู่ผิวดินมีทั้งส่วนที่ดินสามารถกักเก็บไว้ (ซึ่งพืชสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในส่วนนี้) และน้ำที่สามารถไหลลงสู่ชั้นบาดาล การศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการศึกษาปริมาณของการซึมลึกลงสู่ชั้นบาดาลออกเป็น 7 วิธีการ (สมการ 3-6 ถึง 3-9) ผลการศึกษา พบว่าวิธีที่มีปริมาณของน้ำซึมลึกเฉลี่ยมากที่สุดคือวิธี $D_{(E)}$ $D_{(B)}$ และ $D_{(C)}$ คือมีปริมาณ 47, 34 และ 28 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (ภาพ 3-9) ปริมาณการซึมลึกที่คำนวณได้จาก 7 วิธี โดยเลือก

เฉพาะข้อมูลการคำนวณในสัปดาห์แรกของแต่ละเดือน เมื่อนำมาคิดเป็นร้อยละของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในสัปดาห์นั้น ๆ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองการซึมลึก $D_{(F)}$ มีปริมาณของการซึมลึกมากที่สุด รองลงมาเป็นแบบจำลอง $D_{(D)}$ และ $D_{(C)}$ ตามลำดับ ดังตาราง 3-10

ผลการศึกษาปริมาณการซึมลึกที่ได้จากการปรับเทียบปริมาณการซึมลึกระหว่างผลการศึกษาของสถาบัน ITC และกรมชลประทาน พบว่า จังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณการซึมลึกทั้งหมดเฉลี่ย 150 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี มีผลรวมของทั้งจังหวัดเท่ากับ 999 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ซึ่งสัปดาห์ที่ 38 มีปริมาณน้ำซึมลึกมากที่สุด คือ 48.9 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 12 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ จังหวัดอุตรดิตถ์มีปริมาณการซึมลึกเฉลี่ย 118 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี มีผลรวมของทั้งจังหวัดเท่ากับ 573 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ซึ่งสัปดาห์ที่ 34 มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุด คือ 48.6 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (ตาราง 3-11)



ภาพ 3-9 ปริมาณการซึมลึกที่คำนวณได้จากสมการการซึมลึก 7 แบบ

ตาราง 3-10 ตัวอย่างสัปดาห์ที่แสดงปริมาณการซึมลึกที่คิดเป็นร้อยละของน้ำฝนที่เกิดขึ้น

สัปดาห์	I	$D_{(A)}$	$D_{(B)}$	$D_{(C)}$	$D_{(D)}$	$D_{(E)}$	$D_{(F)}$	$D_{(G)}$
1 (ม.ค.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0
5 (ก.พ.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0
9 (มี.ค.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0
14 (เม.ย.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0
18 (พ.ค.)	1.3	1.3	1.0	0.8	1.3	0.0	5.0	0.0
23 (มิ.ย.)	13.9	13.8	9.7	9.5	13.8	0.0	5.0	0.0
27 (ก.ค.)	32.0	29.2	12.9	15.3	28.0	0.0	5.0	0.0
32 (ส.ค.)	36.7	33.2	12.2	14.7	30.0	0.0	5.0	0.0
36 (ก.ย.)	45.0	36.5	11.1	13.5	31.8	0.0	5.0	0.0
41 (ต.ค.)	5.4	5.4	4.7	4.4	5.4	0.0	5.0	0.0
45 (พ.ย.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0
49 (ธ.ค.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0

หมายเหตุ I คือ การซึมคิดเป็นร้อยละของน้ำฝน $D_{(A)}$, $D_{(B)}$, $D_{(C),}$, $D_{(D)}$, $D_{(E)}$, $D_{(F)}$, $D_{(G)}$ คือ ปริมาณการซึมลึกคิดเป็นร้อยละของน้ำฝน

ตาราง 3-11 ปริมาณการซึมลึก

สัปดาห์ที่	พิษณุโลก			อุตรดิตถ์		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
1 – 16	-	-	-	2	-	4,035
18	18	0	963,569	18	0	458,202
19	21	3	16,772,500	21	3	15,751,100
20	21	4	29,743,600	21	5	25,327,400
21	21	1	8,507,480	21	1	4,797,050
22	21	5	31,915,700	21	4	18,051,800
23	21	3	23,021,700	21	3	15,501,700
24	21	2	13,944,400	18	1	5,245,780
25	21	1	4,816,420	-	-	-
26	21	5	32,040,800	18	3	12,942,100
27	21	8	55,113,700	18	3	15,155,500
28	21	4	24,856,700	18	2	10,402,100
29	21	7	48,118,700	18	4	19,358,700
30	21	8	51,816,400	21	4	18,219,500
31	21	11	75,246,100	21	10	50,123,900
32	21	10	64,839,300	21	9	41,516,100
33	21	10	66,289,800	21	9	43,818,000
34	21	11	73,206,400	21	10	48,613,900
35	21	11	73,001,300	21	10	46,881,900
36	21	12	77,747,400	21	9	44,561,200
37	21	12	78,969,300	21	10	47,308,900
38	21	12	77,847,200	21	10	46,474,700

ตาราง 3-11 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	พิษณุโลก			อุตรดิตถ์		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
39	20	3	22,394,500	21	5	26,112,600
40	21	6	38,791,100	18	2	7,940,460
41	18	1	4,183,180	12	0	1,717,010
42	1	-	1	-	-	-
43	21	1	3,891,540	21	1	6,164,790
44	18	0	1,587,600	18	0	899,410
รวม		150	999,626,390		118	573,347,837

หมายเหตุ : * ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ** ลูกบาศก์เมตร/ปี

สัปดาห์ที่ไม่ปรากฏในตาราง แสดงว่าไม่มีการซึมลึกในสัปดาห์นั้น

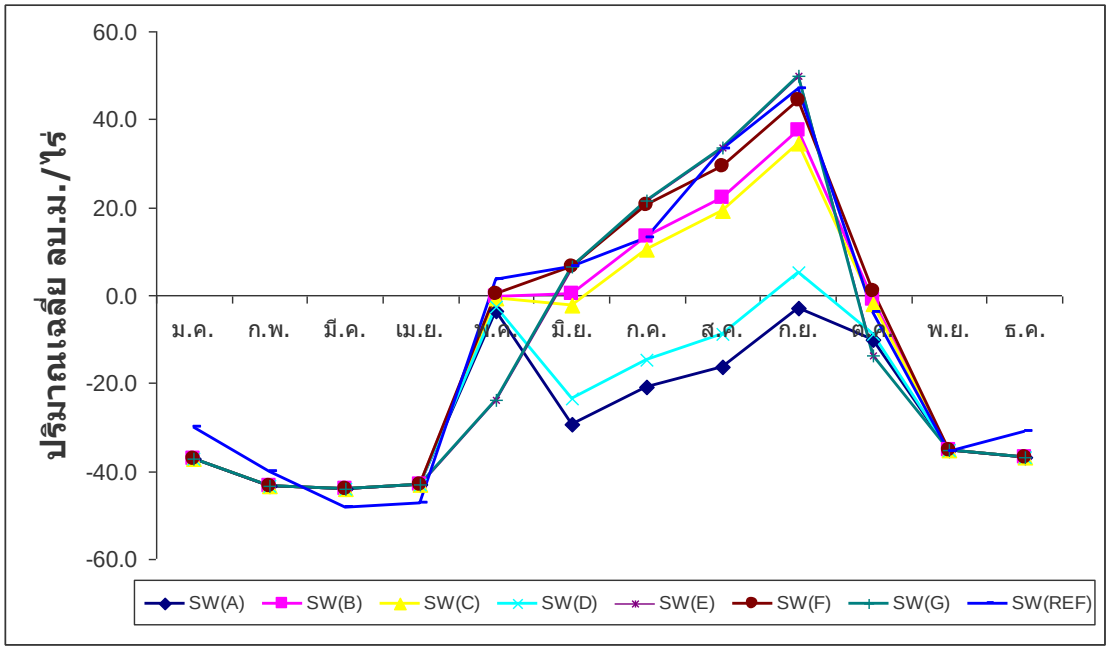
3.4.5 ปริมาณน้ำในดิน

การคำนวณปริมาณของน้ำในดินได้เลือกสัปดาห์แรกของแต่ละเดือนมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำในดินอ้างอิงที่คำนวณโดยกรมพัฒนาที่ดิน โดยได้กำหนดให้ปริมาณน้ำที่ดินที่สามารถกักเก็บได้ไม่เกินความสามารถอุ้มน้ำได้ของดินที่ความลึกที่ 50 เซนติเมตร สามารถกักเก็บน้ำได้สูงสุด คือ ร้อยละ 50 ปริมาตรของดินทั้งหมด

ผลการศึกษา พบว่า ทุกแบบจำลอง (ตามสรุปในตาราง 3-5) เริ่มมีปริมาณน้ำในดินตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงกันยายน (ภาพ 3-10) ปริมาณของน้ำในดินจากแบบจำลองของสมการ $SW_{(A)}$ และ $SW_{(G)}$ มีปริมาณน้ำในดินเฉลี่ยเท่ากัน คือ 144.0 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี รองลงมาคือแบบจำลองของสมการ $SW_{(F)}$ และ $SW_{(D)}$ มีปริมาณน้ำในดินเฉลี่ย คือ 126.8 และ 101.7 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ในขณะที่ปริมาณของน้ำในดินอ้างอิงเท่ากับ 96.8 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี แบบจำลองที่มีปริมาณของน้ำในดินน้อยกว่าปริมาณน้ำในดินอ้างอิงมีเพียงแบบจำลองเดียวคือแบบจำลองที่ได้จากสมการ $SW_{(B)}$

ผลการศึกษาน้ำในดินโดยใช้แบบจำลองสมดุลน้ำโดยคิดจากปริมาณการซึมลึก 7 วิธี พบว่า ปริมาณของน้ำในดินจากแบบจำลองของสมการ $SW_{(A)}$, $SW_{(B)}$, $SW_{(C)}$, $SW_{(D)}$, $SW_{(E)}$, $SW_{(F)}$ และ $SW_{(G)}$ มีค่าสหสัมพันธ์กับปริมาณอ้างอิง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2538) ร้อยละ 86, 99, 99, 93, 96, 99, และ 95 ตามลำดับ แบบจำลอง $SW_{(E)}$ และแบบจำลอง $SW_{(G)}$ มีปริมาณของน้ำในดินมาก

ที่สุดเท่ากันคือ 111.51 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี สำหรับของแบบจำลอง $SW_{(A)}$ มีปริมาณการซึมลึกสูง จึงทำให้ไม่มีปริมาณน้ำในดินเกิดขึ้น จากการเปรียบเทียบค่าคำนวณจากแบบจำลองกับค่าอ้างอิงจากผลการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน เมื่อพิจารณาความถูกต้องของแบบจำลองจากค่า R^2 และ MSE พบว่า แบบจำลอง $SW_{(B)}$ เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด (R^2=0.98 และ MSE=33.6) ทั้งนี้แบบจำลองนี้คำนึงถึงความแตกต่างของชนิดของดินที่มีผลต่อการซึม ในขณะที่แบบจำลอง $SW_{(F)}$ ซึ่งแม้ว่ามีค่า MSE ต่ำกว่าแต่ไม่ได้นำตัวแปรด้านชนิดดินมาใช้ในการคำนวณ ผลการวิเคราะห์โดยด้วยแบบจำลอง $SW_{(B)}$ มีผลรวมของปริมาณน้ำในดินเท่ากับ 73.6 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณอ้างอิง (97 ลูกบาศก์เมตร) ปริมาณน้ำในดินที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้ง 7 สามารถแสดงเป็นแผนที่ได้ดังภาพ 3-10



ภาพ 3-10 ปริมาณน้ำในดินจากแบบจำลองต่าง ๆ เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงของกรมพัฒนาที่ดิน

ตาราง 3-12 ปริมาณน้ำในดิน

สัปดาห์	*น้ำฝน	*การระเหย	*น้ำท่า	*การซึมรวม	*$SW_{(A)}$	*$SW_{(B)}$	*$SW_{(C)}$	*$SW_{(D)}$	*$SW_{(E)}$	*$SW_{(F)}$	*$SW_{(G)}$	*$SW_{(REF)}$
1 (ม.ค.)	2.2	39.5	0.0	-37.2	-37.2	-37.2	-37.2	-37.2	-37.2	-37.2	-37.2	-30.1
5 (ก.พ.)	1.2	44.7	0.0	-43.4	-43.4	-43.4	-43.4	-43.4	-43.4	-43.4	-43.4	-40.1
9 (มี.ค.)	7.3	51.6	0.1	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-48.3
14 (เม.ย.)	21.4	64.8	1.0	-43.2	-43.2	-43.2	-43.2	-43.2	-43.2	-43.2	-43.2	-47.3
18 (พ.ค.)	43.4	65.6	5.5	-23.8	-3.5	-0.4	-0.6	-2.7	-44.9	0.3	-25.6	3.7
23 (มิ.ย.)	66.4	54.9	14.5	6.5	-29.3	0.3	-2.3	-23.6	-443.4	6.6	-269.2	6.5
27 (ก.ค.)	74.6	45.5	20.4	21.6	-20.9	13.5	10.4	-14.7	-506.0	20.5	-304.0	13.0
32 (ส.ค.)	92.7	46.5	30.9	33.6	-16.3	22.3	19.3	-8.7	-573.9	29.5	-341.2	33.2
36 (ก.ย.)	110.7	41.7	44.6	49.8	-2.9	37.5	34.6	5.3	-590.2	44.3	-344.5	46.8
41 (ต.ค.)	33.2	46.5	3.6	-13.8	-10.1	-1.0	-1.8	-8.8	-151.0	1.1	-97.6	-3.8
45 (พ.ย.)	9.0	44.6	0.3	-35.1	-35.1	-35.1	-35.1	-35.1	-35.1	-35.1	-35.1	-35.6
49 (ธ.ค.)	6.0	43.2	0.1	-36.9	-36.9	-36.9	-36.9	-36.9	-36.9	-36.9	-36.9	-31.0
รวม	468.0	589.1	121.1	111.5	0.0	73.6	64.3	5.3	0.0	102.3	0.0	97.0

ตาราง 3-13 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

Statistic*	$SW_{(A)}$	$SW_{(B)}$	$SW_{(C)}$	$SW_{(D)}$	$SW_{(E)}$	$SW_{(F)}$	$SW_{(G)}$	$SW_{(REF)}$
sum	0.00	73.60	64.28	5.33	111.51	102.26	111.51	97.00
%	0.00	15.73	13.73	1.14	23.82	21.85	23.82	26.50
R	0.86	0.99	0.99	0.93	0.96	0.99	0.96	
R^2	0.74	0.98	0.98	0.86	0.92	0.98	0.92	
SSE	7589.41	402.69	582.50	5355.16	1073.97	244.55	1073.97	
MSE	632.45	33.56	48.54	446.26	89.50	20.38	89.50	

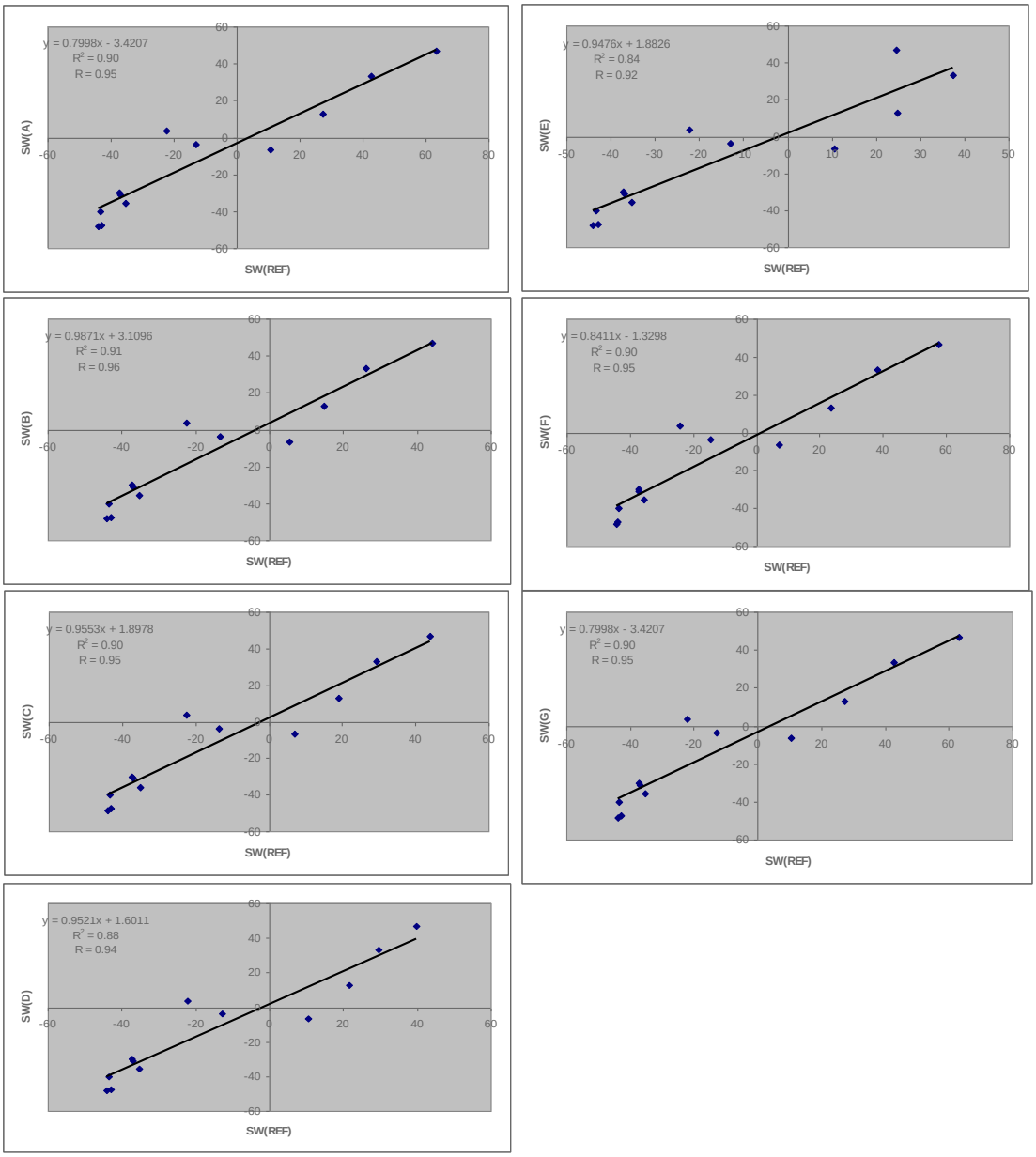
หมายเหตุ * : SUM = ผลรวมของปริมาณน้ำในดิน

% = ร้อยละของน้ำฝน

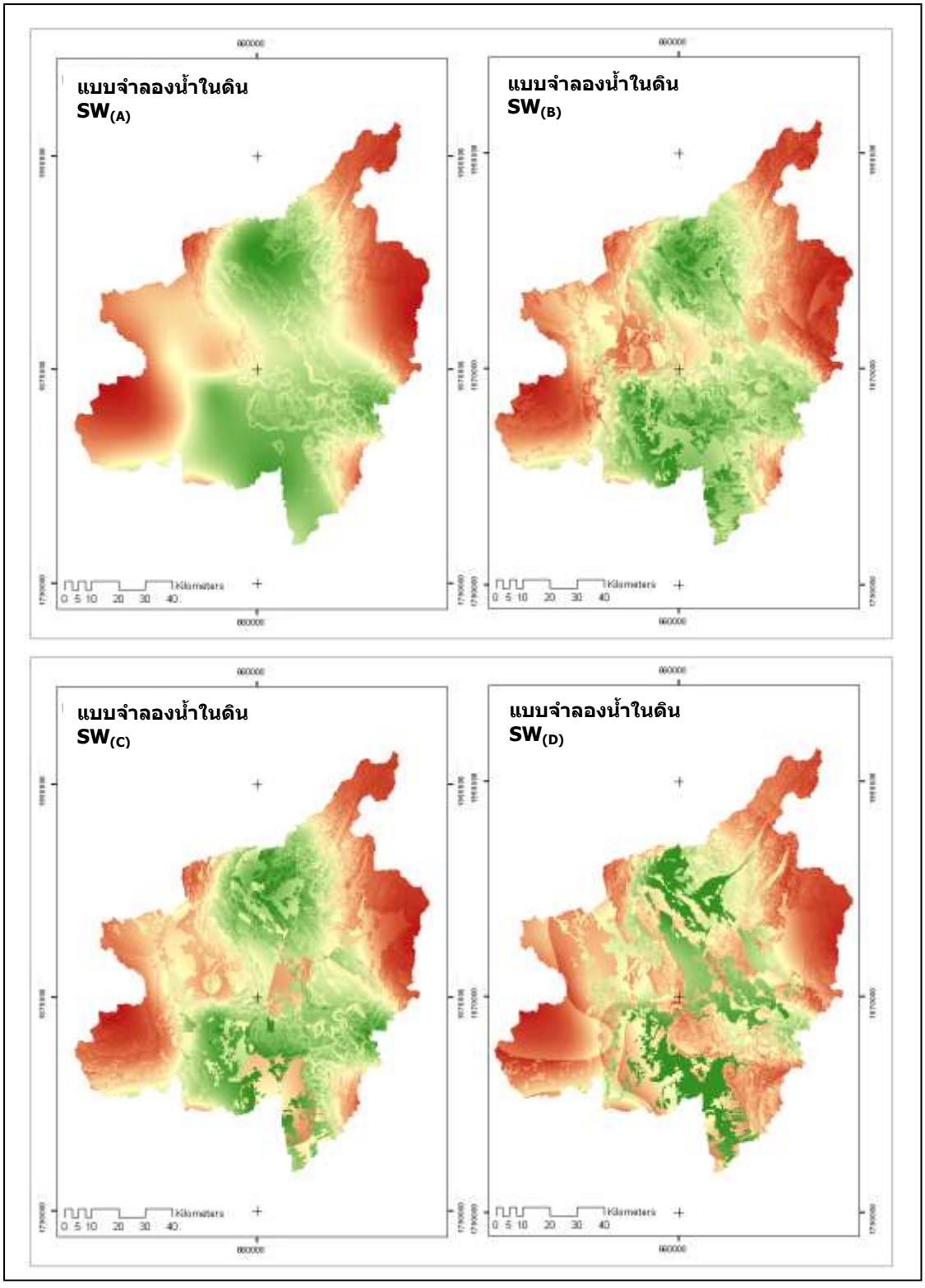
R = สหสัมพันธ์

SSE = sum squares error

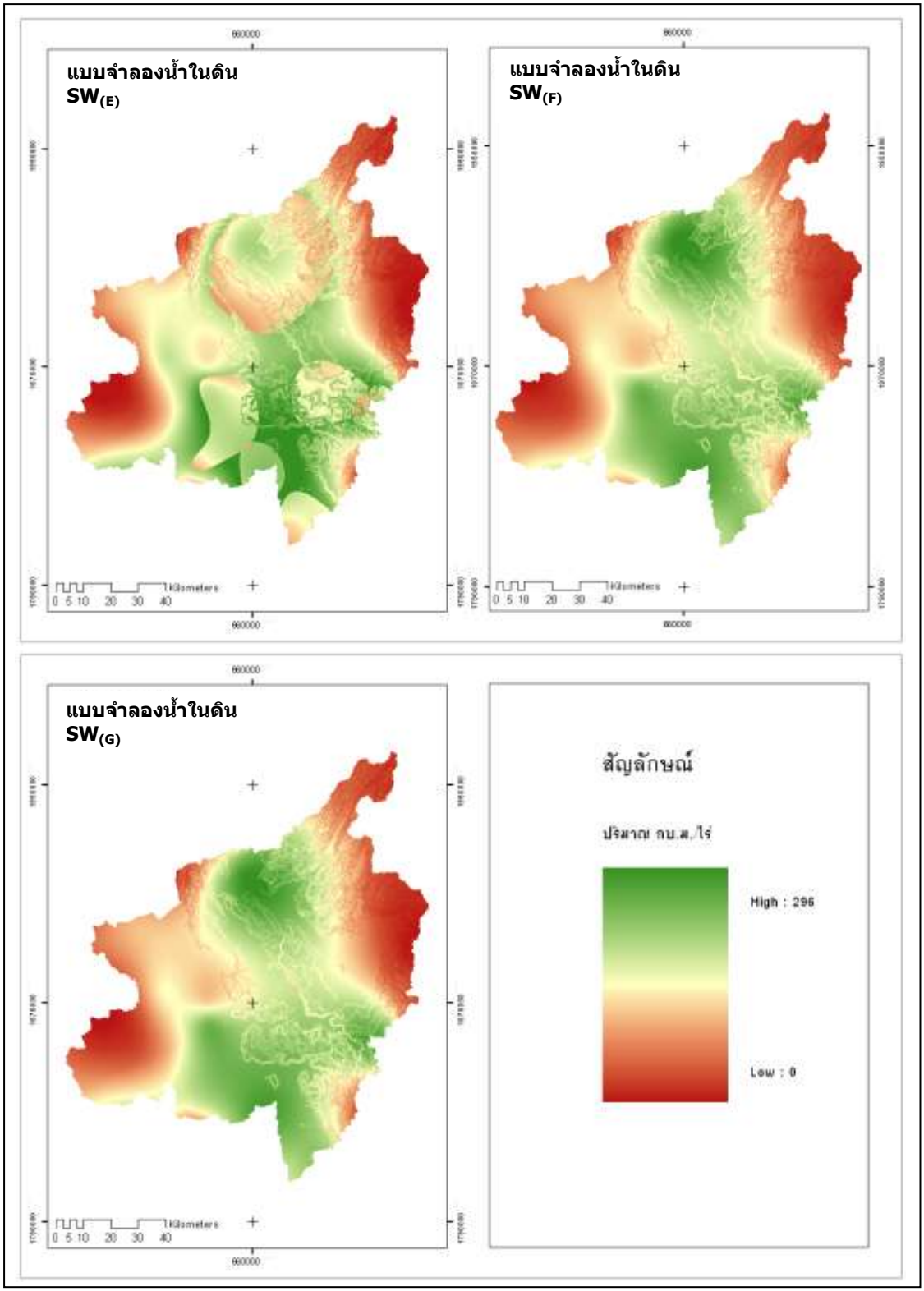
MSE = mean squares error



ภาพ 3-11 สมการถดถอยเส้นตรงระหว่างปริมาณน้ำในดินจากแบบจำลองต่าง ๆ กับค่าอ้างอิงของกรมพัฒนาที่ดิน



ภาพ 3-12 ปริมาณน้ำในดินก่อนการปรับแก้


แบบจำลองน้ำในดิน
SW(E)
แบบจำลองน้ำในดิน
SW(F)
แบบจำลองน้ำในดิน
SW(G)
Kilometers
0 5 10 20 30 40
สัญลักษณ์
ปริมาณ ลบ.ม./ไร่
High : 296
Low : 0

ภาพ 3-12 (ต่อ)

ผลการศึกษาปริมาณของน้ำในดินที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง $SW_{(B)}$ และ ปริมาณน้ำในดินอ้างอิง พบว่าผลรวมของปริมาณน้ำในดินที่ได้มีปริมาณใกล้เคียงกัน คือมีปริมาณเฉลี่ย 99.0 และ 98.7 ลูกบาศก์เมตร/ปี (คิดจากปริมาณน้ำในดินสัปดาห์แรกของเดือนระยะเวลา 1 ปี) ตามลำดับ และมีช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำในดินมากที่สุดในช่วงเวลาเดียวกันคือ สัปดาห์ที่ 36 คือมีปริมาณน้ำในดินเท่ากับ 47 และ 44 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ ปริมาณในดินปรากฏตั้งแต่เดือนมิถุนาคมถึงเดือนกันยายน

ผลการศึกษาปริมาณน้ำในดินของจังหวัดพิษณุโลก พบว่า ปริมาณน้ำในดินเกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 18 ถึง 44 (ยกเว้นสัปดาห์ที่ 42) และจะเริ่มขาดน้ำในดินในสัปดาห์ที่ 45 ถึงสัปดาห์ที่ 17 (สัปดาห์ที่ 17 ของปีต่อมา) ซึ่งสัปดาห์ที่ 36 มีปริมาณของน้ำในดินมากที่สุด คือ 89,158,300 ลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 13.39 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ แต่เมื่อคิดเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกมีปริมาณน้ำในดินเท่ากับ 43,869,100 ลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 11 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ผลรวมของปริมาณน้ำในดินตลอดทั้งปีสำหรับพื้นที่ทั้งหมด เท่ากับ 645 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 97 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ แต่เมื่อคิดเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกเท่ากับ 309 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 88 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (ตาราง 3-14) ปริมาณน้ำในดินของจังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า ปริมาณน้ำในดินเกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 18 ถึง 44 (ยกเว้นสัปดาห์ที่ 25 และ 42) และจะเริ่มขาดน้ำในดินในสัปดาห์ที่ 45 ถึงสัปดาห์ที่ 17 (สัปดาห์ที่ 17 ของปีต่อมา) ซึ่งสัปดาห์ที่ 35 มีปริมาณของน้ำในดินมากที่สุด คือ 56,315,000 ลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 11 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ แต่เมื่อคิดเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกมีปริมาณน้ำในดินเพียง 9,527,420 ลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 4 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ผลรวมของปริมาณน้ำในดินตลอดทั้งปีสำหรับพื้นที่ทั้งหมด เท่ากับ 384 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 79 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ แต่เมื่อคิดเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกเท่ากับ 81 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณเฉลี่ย 37 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (ตาราง 3-15) ภาพ 3-13 และภาพ 3-14 แสดงการกระจายของปริมาณน้ำในดินทั้งจังหวัดและเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกของจังหวัดพิษณุโลกและอุตรดิตถ์

ตาราง 3-14 ปริมาณน้ำในดินของจังหวัดพิษณุโลก

สัปดาห์ที่	พื้นที่ทั้งหมด (6,659,500 ไร่)			พื้นที่เพาะปลูก (4,000,068 ไร่)		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
1-17	-	-	-	-	-	-
18	7	-	17,965	4	-	15
19	24	0	1,378,240	23	-	30,278
20	30	1	5,050,620	30	1	2,066,910
21	14	0	546,951	11	-	1,037
22	28	1	4,732,730	28	0	1,252,090
23	17	0	1,067,060	16	0	408,471
24	16	0	227,521	16	-	116,521
25	9	-	10,939	9	-	9,869
26	37	1	7,355,510	36	1	3,097,310
27	51	4	27,414,700	51	4	15,452,600
28	21	0	2,214,420	21	0	1,379,140
29	66	3	19,881,500	66	3	10,075,500
30	42	3	16,696,500	42	2	7,426,060
31	60	11	71,155,600	59	9	34,599,700
32	53	7	46,166,700	53	5	21,172,300
33	53	6	40,738,900	53	4	17,077,500
34	80	13	83,905,500	75	9	34,357,100
35	52	10	64,144,100	52	9	35,142,700
36	66	13	89,158,300	66	11	43,869,100
37	61	13	88,225,200	56	11	43,827,700
38	61	10	67,854,600	61	8	33,531,000

ตาราง 3-14 (ต่อ)

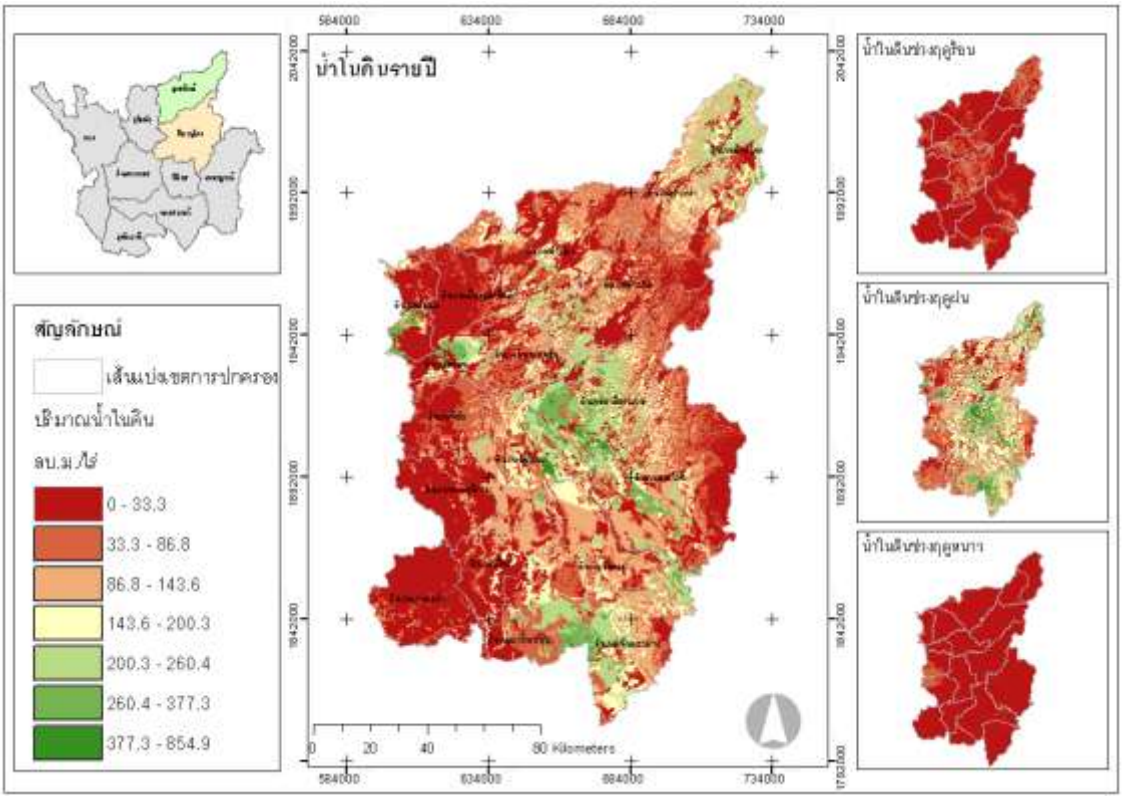
สัปดาห์ที่	พื้นที่ทั้งหมด(6,659,500 ไร่)			พื้นที่เพาะปลูก (4,000,068 ไร่)		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
39	30	0	2,020,720	28	0	528,024
40	50	1	4,513,690	36	1	3,099,050
41	9	0	90,456	9	-	822
42	-	-	-	-	-	-
43	22	0	452,093	14	0	350,991
44	2	-	673	2	-	354
45	-	-	-	-	-	-
รวม		97	645,021,186		77	308,872,140

ตาราง 3-15 ปริมาณน้ำในดินของจังหวัดอุตรดิตถ์

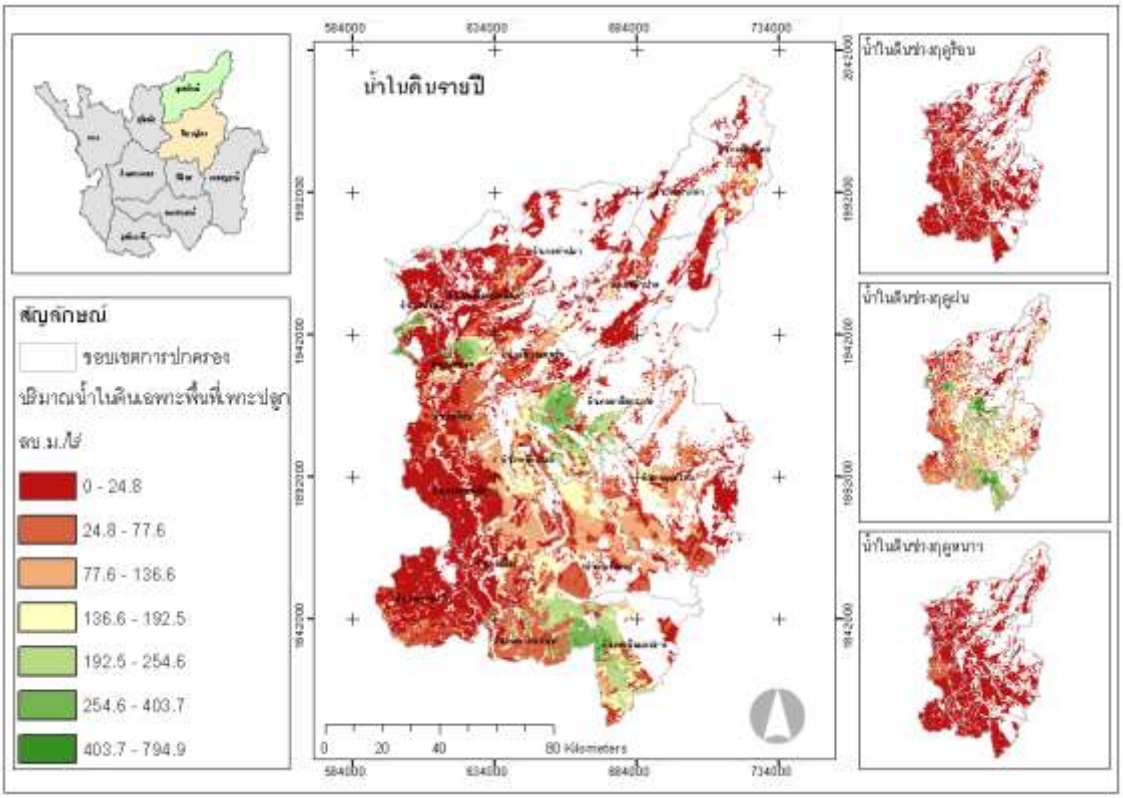
สัปดาห์ที่	พื้นที่ทั้งหมด (4,872,975 ไร่)			พื้นที่เพาะปลูก (2,183,350 ไร่)		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
1-17	-	-	-	-	-	-
18	18	-	3,027	3	-	3
19	53	1	2,468,640	44	1	1,368,910
20	47	2	7,721,440	47	1	1,524,880
21	21	0	117,816	19	-	54,054
22	26	0	1,927,500	22	0	193,124
23	48	0	1,925,270	36	1	1,046,290
24	10	0	65,423	10	-	913
25	-	-	-	-	-	-
26	27	0	1,118,790	27	0	279,850
27	33	1	4,107,500	25	0	859,660
28	21	0	956,709	21	0	216,019

ตาราง 3-15 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	พื้นที่ทั้งหมด (4,872,975 ไร่)			พื้นที่เพาะปลูก (2,183,350 ไร่)		
	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**	สูงสุด*	เฉลี่ย*	รวม**
29	20	0	2,093,780	17	-	15,622
30	18	0	1,796,300	15	0	140,694
31	70	11	55,738,900	65	7	14,751,900
32	60	8	37,678,500	53	3	6,130,450
33	57	6	28,091,000	44	3	5,837,380
34	73	11	54,643,500	67	6	14,011,000
35	70	12	56,315,000	69	4	9,527,420
36	56	8	39,556,300	53	3	6,259,820
37	56	8	38,083,600	56	3	6,527,500
38	68	9	42,903,000	67	5	10,629,500
39	35	1	5,883,220	34	1	1,760,100
40	15	0	200,664	14	-	105,478
41	11	0	89,223	8	-	3,293
42	-	-	-	-	-	-
43	17	0	702,231	15	0	553,830
44	6	-	3,288	2	-	2,379
45 - 52	-	-	-	-	-	-
รวม		79	384,190,622		37	81,800,069



ภาพ 3-13 การกระจายตัวของน้ำในดิน



ภาพ 3-14 การกระจายตัวของน้ำในดินเฉพาะพื้นที่เพาะปลูก

3.4.6 แบบจำลองสมดุลน้ำ

การศึกษาสมดุลน้ำในจังหวัดพิษณุโลก 52 สัปดาห์ พบว่ามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 2,094.39 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ปริมาณการระเหยจากถาดเฉลี่ย 2,539.75 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ปริมาณการระเหยจริงเฉลี่ย เท่ากับ 1,428.16 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 515.63 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ปริมาณการซึมทั้งหมดเฉลี่ย 247.06 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ซึ่งปริมาณการซึมทั้งหมดนี้กลายเป็นปริมาณน้ำซึมลึกเฉลี่ย 150.13 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี และเป็นปริมาณน้ำในดินเฉลี่ย 96.93 ลูกบาศก์เมตร /ไร่/ปี จากปริมาณน้ำฝนรวมทั้งปีที่ตกลงมาในจังหวัดพิษณุโลก ได้กลายเป็นส่วนของปริมาณการระเหยจริง ปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำซึมลึก และปริมาณน้ำในดิน เท่ากับ 68.19, 24.62, 7.17, และ 4.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 3-16)

ตาราง 3-16 สมดุลน้ำของจังหวัดพิษณุโลก

สัปดาห์	P	E	R	I	D	SW	SW_{acm}	E_{actual}
1	2.24	39.51	0.03	-	-	-	0.05	2.30
2	2.88	39.94	0.05	-	-	-	0.00	2.87
3	0.30	40.71	0.00	-	-	-	0.00	0.30
4	2.85	42.79	0.04	-	-	-	-	2.80
5	1.16	44.65	0.02	-	-	-	-	1.14
6	4.24	45.52	0.06	-	-	-	-	4.18
7	5.90	49.31	0.10	-	-	-	-	5.80
8	5.45	51.43	0.08	-	-	-	-	5.37
9	7.37	51.60	0.13	-	-	-	-	7.24
10	9.39	54.40	0.15	-	-	-	-	9.24
11	9.06	56.19	0.17	-	-	-	-	8.90
12	17.95	58.54	0.49	-	-	-	-	17.46
13	17.91	61.15	0.44	-	-	-	-	17.47
14	21.42	64.82	0.96	-	-	-	-	20.46
15	21.64	62.71	1.44	-	-	-	-	20.12
16	29.49	66.64	2.04	-	-	-	-	27.45
17	40.06	68.28	4.01	-	-	-	-	36.05
18	43.36	65.60	5.45	0.15	0.14	0.00	0.00	37.76
19	71.16	60.35	17.57	2.73	2.52	0.21	0.21	50.87
20	74.73	56.84	19.38	5.23	4.47	0.76	0.97	50.12
21	59.34	56.90	12.18	1.36	1.28	0.08	0.89	45.96
22	75.61	57.12	20.22	5.51	4.80	0.71	1.59	49.89
23	66.37	54.87	14.52	3.62	3.46	0.16	1.73	48.26
24	57.73	56.11	10.20	2.13	2.10	0.03	1.74	45.42
25	42.44	53.80	4.70	0.72	0.72	0.00	1.33	37.42

ตาราง 3-16 (ต่อ)

สัปดาห์	P	E	R	I	D	SW	SW_{acm}	E_{actual}
26	61.40	48.26	11.99	5.92	4.81	1.11	2.44	43.49
27	74.58	45.55	20.43	12.40	8.28	4.12	6.56	41.75
28	51.85	45.66	7.54	4.07	3.73	0.33	6.49	40.65
29	74.30	48.18	19.53	10.22	7.22	2.99	9.46	44.58
30	72.69	47.66	17.89	10.30	7.78	2.51	11.95	44.52
31	96.04	41.63	33.11	22.00	11.30	10.70	22.65	40.94
32	92.67	46.52	30.89	16.67	9.74	6.93	29.56	45.13
33	72.05	40.33	17.31	16.08	9.95	6.12	35.63	38.72
34	119.14	45.18	51.64	23.60	10.99	12.61	48.23	43.91
35	93.91	42.35	31.69	20.60	10.96	9.64	57.85	41.63
36	110.74	41.69	44.59	25.07	11.67	13.39	71.15	41.09
37	108.69	41.49	42.67	25.11	11.86	13.25	84.27	40.91
38	100.59	42.62	36.68	21.89	11.69	10.20	94.31	42.02
39	59.56	47.04	11.58	3.67	3.37	0.30	92.91	46.01
40	58.87	42.51	11.78	6.51	5.83	0.68	92.78	41.37
41	33.21	46.53	3.59	0.64	0.63	0.01	80.55	41.22
42	26.21	44.03	1.42	-	-	-	68.51	36.84
43	33.70	41.51	3.69	0.66	0.59	0.07	61.68	36.24
44	23.13	41.57	2.27	0.24	0.24	0.00	49.89	32.42
45	9.32	44.57	0.32	-	-	-	33.88	25.02
46	8.95	44.01	0.18	-	-	-	22.13	20.52
47	3.62	43.20	0.09	-	-	-	13.01	12.66
48	4.48	39.89	0.08	-	-	-	7.34	10.07
49	6.01	43.17	0.12	-	-	-	3.50	9.73
50	0.39	41.04	0.01	-	-	-	1.13	2.76
51	1.49	43.51	0.01	-	-	-	0.37	2.24
52	6.76	40.27	0.12	-	-	-	0.13	6.87
รวม m^3	2,094.39	2,539.75	515.63	247.06	150.13	96.93	1,016.85	1,428.16
mm.	1308.99	1587.34	322.27	154.41	93.83	60.58	635.53	892.60
%	100.00	121.26	24.62	11.80	7.17	4.63	48.55	68.19

หมายเหตุ : P = ปริมาณน้ำฝน (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่) E = ปริมาณการระเหย (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่)

R = ปริมาณน้ำท่า (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่) I = ปริมาณการซึมทั้งหมด (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่)

D = ปริมาณการซึมลึก (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่) SW = ปริมาณน้ำในดิน (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่)

SW_{acm} = ปริมาณน้ำในดินสะสม (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่)

E_{actual} = ปริมาณการระเหยจริง (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่) % = ร้อยละของปริมาณน้ำฝน

การศึกษาสมดุลน้ำในจังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,925.15 ลูกบาศก์เมตร /ไร่/ปี ปริมาณการระเหยจากถาดเฉลี่ย 2,363.29 ลูกบาศก์เมตร /ไร่/ปี ซึ่งปริมาณการระเหยจริงเฉลี่ย เท่ากับ 1,302.06 ลูกบาศก์เมตร /ไร่/ปี ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 537.10 ลูกบาศก์เมตร /ไร่/ปี ปริมาณการซึมทั้งหมดเฉลี่ย 196.50 ลูกบาศก์เมตร /ไร่/ปี ซึ่งในปริมาณน้ำซึมทั้งหมดนี้กลายเป็นปริมาณน้ำซึมลึกเฉลี่ย 117.66 ลูกบาศก์เมตร /ไร่/ปี และเป็นปริมาณน้ำในดินเฉลี่ย 78.84 ลูกบาศก์เมตร /ไร่/ปี จากปริมาณน้ำฝนรวมทั้งปีที่ตกลงมาในจังหวัดอุตรดิตถ์ ได้กลายเป็นส่วนของปริมาณการระเหยจริง ปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำซึมลึก และปริมาณน้ำในดิน เท่ากับ 67.63, 27.90, 6.11 และ 4.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 3-17)

ตาราง 3-17 สมดุลน้ำของจังหวัดอุตรดิตถ์

สัปดาห์	P	E	R	I	D	SW	SW_{acm}	E_{actual}
1	1.61	34.43	0.11	-	-	-	0.06	1.59
2	2.40	35.65	0.15	-	-	-	0.02	2.29
3	0.30	36.43	0.01	-	-	-	0.00	0.31
4	1.47	37.30	0.07	-	-	-	-	1.41
5	0.52	40.16	0.03	-	-	-	-	0.49
6	0.34	41.01	0.01	-	-	-	-	0.33
7	5.13	43.87	0.33	-	-	-	-	4.81
8	5.42	46.39	0.27	-	-	-	-	5.14
9	9.39	46.51	0.71	-	-	-	-	8.70
10	18.76	49.83	1.70	-	-	-	-	17.06
11	7.28	52.40	0.38	-	-	-	-	6.89
12	12.02	53.43	0.77	-	-	-	-	11.25
13	26.61	52.94	2.56	-	-	-	-	24.05
14	17.74	56.75	1.72	-	-	-	-	16.03
15	21.46	57.99	2.10	-	-	-	-	19.36
16	26.19	63.26	2.38	-	-	-	-	23.80
17	39.06	64.68	5.88	0.00	0.00	-	-	33.17
18	45.99	63.24	8.69	0.09	0.09	0.00	0.00	37.22
19	75.26	56.97	24.55	3.74	3.23	0.51	0.51	47.04
20	80.71	54.32	26.84	6.78	5.20	1.58	2.09	47.10
21	56.02	53.38	13.06	1.01	0.98	0.02	1.94	42.14
22	68.38	53.26	19.76	4.10	3.70	0.40	2.30	44.57
23	68.25	53.76	19.62	3.58	3.18	0.40	2.70	48.83
24	54.07	52.93	12.02	1.09	1.08	0.01	2.35	41.31
25	30.19	51.23	3.80	-	-	-	0.42	28.32
26	50.29	45.35	10.63	2.89	2.66	0.23	0.64	36.78
27	51.83	44.54	11.39	3.95	3.11	0.84	1.49	36.48

ตาราง 3-17 (ต่อ)

สัปดาห์	P	E	R	I	D	SW	SW_{acm}	E_{actual}
28	46.26	42.39	8.85	2.33	2.13	0.20	1.18	35.61
29	55.30	43.95	12.33	4.40	3.97	0.43	1.61	38.55
30	50.84	42.97	11.33	4.11	3.74	0.37	1.71	35.69
31	95.36	38.95	37.72	21.72	10.29	11.44	13.14	35.99
32	82.30	41.73	29.15	16.25	8.52	7.73	20.66	37.17
33	75.55	39.11	24.71	14.76	8.99	5.76	26.39	36.15
34	114.23	43.65	53.19	21.19	9.98	11.21	37.60	40.02
35	108.26	42.70	48.54	21.18	9.62	11.56	49.07	38.80
36	91.98	43.67	35.31	17.26	9.14	8.12	57.09	39.57
37	88.51	42.25	31.96	17.52	9.71	7.82	64.89	39.04
38	92.46	42.75	35.33	18.34	9.54	8.80	73.62	38.89
39	61.16	43.72	15.61	6.57	5.36	1.21	74.33	39.48
40	44.00	43.11	7.44	1.67	1.63	0.04	71.57	37.68
41	28.93	44.12	4.06	0.37	0.35	0.02	61.79	34.30
42	21.94	41.55	1.90	-	-	-	50.43	31.41
43	34.16	39.63	5.69	1.41	1.27	0.14	45.91	31.74
44	18.53	39.55	2.05	0.19	0.18	0.00	36.30	25.92
45	8.64	41.55	0.61	-	-	-	24.38	19.95
46	8.85	39.33	0.47	-	-	-	16.04	16.73
47	5.35	38.68	0.41	-	-	-	9.70	11.28
48	3.39	36.06	0.18	-	-	-	5.32	7.60
49	1.69	38.58	0.05	-	-	-	2.44	4.51
50	0.07	36.35	0.01	-	-	-	0.78	1.73
51	1.22	38.86	0.01	-	-	-	0.25	1.74
52	9.45	36.11	0.65	-	-	-	0.14	35.99
รวม m^3	1,925.15	2,363.29	537.10	196.50	117.66	78.84	760.83	1,302.06
mm.	1,203.22	1,477.06	335.69	122.81	73.54	49.28	475.52	813.78
%	100.00	122.76	27.90	10.21	6.11	4.10	39.52	67.63

หมายเหตุ : P = ปริมาณน้ำฝน (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่) E = ปริมาณการระเหย (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่)

R = ปริมาณน้ำท่า (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่) I = ปริมาณการซึมทั้งหมด (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่)

D = ปริมาณการซึมลึก (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่) SW = ปริมาณน้ำในดิน (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่)

SW_{acm} = ปริมาณน้ำในดินสะสม (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่)

E_{actual} = ปริมาณการระเหยจริง (เฉลี่ย ลบ.ม./ไร่) % = ร้อยละของปริมาณน้ำฝน