ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน	วิศวกรรมชลประทาน
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินทรัพยากรน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

Water Resource Assessment by SWAT Model in Sedone River Basin, Lao's People Democratic Republic

นามผู้วิจัย นายวิโรจน์ กิมาลา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, Dipl. Docteur)

หัวหน้าภาควิชา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินทรัพยากรน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

Water Resource Assessment by SWAT Model in Sedone River Basin Lao's People Democratic Republic

โดย

นายวิโรจน์ กิมาลา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิโรจน์ กิมาลา 2557: การประเมินทรัพยากรน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน) สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, Dipl. Docteur. 239 หน้า

งานวิจัยนี้ นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สปป ลาว ซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 7,217 ตร.กม. โดยใช้ข้อมูลปี ค.ศ. 1996 ถึง ค.ศ. 2010 การศึกษาประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำเซโดน ส่วนที่สองเป็นการจำลองระบบลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT และส่วนที่สามเป็นการวิเคราะห์สมดุลน้ำและบัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน การจำลองแบ่งเป็น 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย การใช้น้ำฝนอย่างเดียว การใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวตามสภาพปัจจุบัน และการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ โดยแบบจำลองสามารถแยกองค์ประกอบของสมดุลน้ำได้ละเอียดถึงระดับ HRUs ของลุ่มน้ำย่อยและการใช้แบบจำลองร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถแสดงผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจนและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น แต่ด้วยแบบจำลองจัดเก็บผลของการจำลองเป็นค่าเฉลี่ยรายปี จึงมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์บัญชีน้ำในแบบรายเดือนและแบบรายฤดูกาล การวิเคราะห์บัญชีน้ำ พบว่า จากปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ทั้งหมด 15,600 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี มีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำประมาณ 38% เทียบกับปริมาณน้ำไหลเข้าและปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำคิดเป็น 62% เทียบกับปริมาณน้ำไหลเข้าผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำสรุปได้ว่าลุ่มน้ำเซโดนอยู่ในสถานะเปิดกล่าวคือ เป็นลุ่มน้ำที่มีทรัพยากรน้ำเหลือสำหรับการใช้น้ำที่เพิ่มได้อีก

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Viloth KIMALA 2014: Water Resource Assessment by SWAT Model in Sedone River Basin Lao's People Democratic Republic. Doctor of Engineering (Irrigation Engineering), Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Assitant Professor Ekasit Kositsakulchai, Dipl. Docteur. 239 pages.

This research demonstrated the application of SWAT model for water accounting analysis in Sedone River Basin in Lao PDR, where there was the drainage area of 7,217 km^2. The available data from 1996 to 2010 were selected. The study composed of 3 main parts: analysis of the Sedone water resource system, modeling of the system by SWAT model, and analysis of water balance and water accounting in Sedone river basin. The simulation was based on three case studies: without irrigation, current irrigation, and full potential irrigation. The result showed that the model was applicable for the analysis of water balance components at the hydrologic response unit (HRU) scale of sub-basin and the application of GIS could enhance the result visualization. The SWAT model simulated water balance components on daily time step, but recorded results of each HRU as an annual mean. Therefore it was limiting for the analysis of accounting water on monthly or seasonal basis. The water accounting analysis demonstrated the net inflow into the basin of about 15,600 MCM annually, with depleted water from evapotranspiration of about 38% of the inflow and outflow to stream of about 62%. Finally, water accounting analysis showed the current status of the Sedon River Basin to be an open basin, which implied that there were adequate water resources for further usages.

_______________ _______________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ ประธานการสอบ และ ผศ.ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณา ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนด้วยดีตลอดมา รวมถึงบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ต่อข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมายัง ศูนย์นานาชาติสิรินธรเพื่อการพัฒนาการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสนับสนุนทุนสำหรับการศึกษานี้จนกระทั่งเสร็จการศึกษา

ด้วยคุณความดีและสิ่งที่เป็นประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด ให้การศึกษา ครู อาจารย์ผู้ให้ความรู้ ญาติพี่น้อง เพื่อนๆ ทุกท่าน และประเทศชาติที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาในระดับนี้ จนสามารถสำเร็จการศึกษาเป็นดุษฎีบัณฑิตได้

วิโรจน์ กิมาลา

กุมภาพันธ์ 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	34
ผลและวิจารณ์	43
สรุปและข้อเสนอแนะ	116
สรุป	116
ข้อเสนอแนะ	118
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	119
ภาคผนวก	128
ภาคผนวก ก ผลจากแบบจำลอง SWAT แยกตาม Sub-basin และ HRU	129
ภาคผนวก ข การเผยแพร่ผลงานวิชาการ	178
ภาคผนวก ค การเตรียมข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง SWAT	222
ภาคผนวก ง ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง SWAT	227
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	239

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติทางกายภาพดิน	29
2	เนื้อที่ของแต่ละจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	45
3	ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	45
4	ระดับความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	45
5	สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำเซโดน	49
6	ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดในลุ่มน้ำเซโดน ช่วงปี 1996 ถึง 2010	49
7	อุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดในลุ่มน้ำเซโดน ช่วงปี 1996 ถึง 2010	49
8	จำนวนประชากรของแต่ละจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	57
9	พื้นที่ชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน ข้อมูลปี 2011	58
10	จำนวนโรงงานของแต่ละจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	59
11	เขื่อนไฟฟ้าในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	60
12	ผลของการกำหนดขอบเขตพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยของแบบจำลอง	79
13	สมดุลน้ำรายฤดูกาลเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ	90
14	สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนมากเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ	90
15	สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนน้อยเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ	90
16	สมดุลน้ำรายฤดูกาลเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ	91
17	สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนมากเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ	91
18	สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนน้อยเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ	91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า

19 สมดุลน้ำรายฤดูกาลเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ 92
20 สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนมากเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ 92
21 สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนน้อยเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ 92
22 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ 105
23 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าว สภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ 106
24 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ 107
25 บัญชีน้ำรายปีโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน พื้นที่ตอนกลาง และพื้นที่ตอนล่าง กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ 108
26 บัญชีน้ำรายปีโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน พื้นที่ตอนกลาง และพื้นที่ตอนล่าง กรณีพิจารณาการใช้ในสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ 109
27 บัญชีน้ำรายปีโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน พื้นที่ตอนกลาง และพื้นที่ตอนล่าง กรณีพิจารณาการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ 110

ตารางผนวกที่

ก1 ปริมาณน้ำท่าของ 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation 131
ก2 ปริมาณการไหลของน้ำท่าของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation 137

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก3	ปริมาณการใช้น้ำของพืชของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation	143
ก4	ค่าเฉลี่ยรายปีปริมาณฝนและปริมาณการใช้น้ำของพืช แยกตาม HRUs ของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation	149
ค1	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางการใช้ที่ดิน	223
ค2	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางชนิดของดิน	224
ค3	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางเชิงตำแหน่ง (localtion file)	225
ค4	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางฝน	225
ค5	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด	225
ค6	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางพลังงานแสงอาทิตย์	226
ค7	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางความเร็วลม	226
ค8	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางความชื้นสัมพัทธ์	226

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	5
2	ค่าเฉลี่ยรายเดือนข้อมูลภูมิอากาศของลุ่มน้ำเซโดน ช่วงปี 1996 ถึง 2010	5
3	องค์ประกอบของบัญชีน้ำ	9
4	Digital elevation model ของลุ่มน้ำเซโดน	25
5	ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดน้ำท่าของสถานี Suvannakilli ในลำน้ำเซโดน	27
6	ปริมาณการไหลเฉลี่ยรายเดือนของสถานี Suvannakilli ช่วงปี 1996 ถึง 2010	27
7	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำเซโดน	28
8	แผนที่ชุดดินของลุ่มน้ำเซโดน	30
9	ขั้นตอนสำหรับงานวิจัย	34
10	ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ	38
11	การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา	38
12	ขั้นตอนนำเข้าข้อมูลตาราง	39
13	ลักษณะสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำเซโดน	46
14	ระดับความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	46
15	ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน	50
16	ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของ 4 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ช่วงปี 1996 ถึง 2010	50
17	ปริมาณฝนและอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีปากเซ ช่วงปี 1996 ถึง 2010	51
18	ปริมาณฝนและอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีปากซ่อง ช่วงปี 1996 ถึง 2010	51
19	ปริมาณฝนและอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีสาละวัน ช่วงปี 1996 ถึง 2010	52
20	ปริมาณฝนและอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีคงเซโดน ช่วงปี 1996 ถึง 2010	52
21	ลำน้ำสายหลักและลำน้ำสาขาในลุ่มน้ำเซโดน	54
22	ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉี่ยของสถานี Suvannakilli ช่วงปี 1996 ถึง 2010	55
23	สถานที่ชลประทานในลุ่มน้ำเซโดน	59
24	ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ	65
25	การกำหนด Land use definition and soil definition	66
26	การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา	67
27	ขั้นตอนนำเข้าข้อมูลตาราง	68

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาพที่		หน้า
28	การแก้ไขฐานข้อมูล SWAT	68
29	การแก้ไขฐานข้อมูล SWAT ก่อนการจำลอง	69
30	การ Run SWAT	70
31	ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 1,500 เฮกตาร์	74
32	ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 2,500 เฮกตาร์	74
33	ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 5,000 เฮกตาร์	75
34	ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 7,500 เฮกตาร์	75
35	ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 10,000 เฮกตาร์	76
36	ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 15,000 เฮกตาร์	76
37	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 1,500 เฮกตาร์	80
38	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 2,500 เฮกตาร์	80
39	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 5,000 เฮกตาร์	81
40	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 7,500 เฮกตาร์	81
41	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 10,000 เฮกตาร์	82
42	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 15,000 เฮกตาร์	82

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	กราฟแสดงค่าของปริมาณการไหลเฉลี่ยรายเดือนระหว่างค่าการจำลอง และค่าของการตรวจวัด กับค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน ช่วงปี 1997 ถึง 2010	85
44	กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าของการตรวจวัด ช่วงปี 1997 ถึง 2010	85
45	ปริมาณการคายระเหยของพืชในลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ	93
46	ปริมาณการคายระเหยของพืชในลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ	93
47	ปริมาณการคายระเหยของพืชในลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ	94
48	ปริมาณการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ	94
49	ปริมาณการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ	95
50	ปริมาณการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด	95
51	การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนเพื่อการวิเคราะห์บัญชีน้ำ	96
52	บัญชีน้ำรายปี กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ	111
53	บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ	111
54	บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดนในลุ่มน้ำ	112
55	บัญชีบัญชีน้ำรายปี กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็น (a) upper sedone, (b) middle sedone and (c) lower sedone	113
56	บัญชีน้ำรายปี กรณีพิจารณาการใช้ในสภาพปัจจุบันโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็น (a) upper sedone (b) middle sedone (c) lower sedone	114
57	บัญชีน้ำรายปี กรณีพิจารณาการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็น (a) upper sedone (b) middle sedone (c) lower sedone	115

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ข1	การประเมินปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, ณ โรงแรม เซ็นทารา แกรนด์แอนคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ อุดรธานี	180
ข2	การวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, ณ โรงแรมดิเอ็มเพลสเชียงใหม่	188
ข3	Estimation of Streamflow by SWAT Model in Sedone River Basin, LAO PDR. International Conference Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia, Thailand.	195
ข4	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับวิเคราะห์บัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	216
ง1	การกำหนดพื้นหนดพื้นที่ลุ่มน้ำของโปรแกรม ArcSWAT	228
ง2	การกำหนด Land use definition and soil definition	229
ง3	การกำหนด Slope definition and HRU definition	230
ง4	การนำเข้าข้อมูล Weather data definition	231
ง5	การกำหนด User soil edit	232
ง6	การกำหนด Land cover edit	233
ง7	การกำหนด Edit general watershed parameter	234
ง8	การกำหนด Plant/begin. growing season	235
ง9	การกำหนด Auto irrigation initialization	236
ง10	การกำหนด Havest and kill operation	237
ง11	การ Setup and run SWAT model simulation	238

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินทรัพยากรน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

Water Resource Assessment by SWAT Model in Sedone River Basin, Lao's People Democratic Republic

คำนำ

สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป ลาว) เป็นประเทศที่ใช้ทรัพยากรแหล่งน้ำ (water resource) เป็นปัจจัยหลักในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศที่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตของประชาชนเช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรมและการเดินทาง ดังนั้นการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญมากในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ

ทรัพยากรน้ำของ สปป ลาว นับว่ายังมีความอุดมสมบูรณ์และเพียงพอต่อความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆทางด้านการเกษตรกรรม การอุปโภค-บริโภคการอุตสาหกรรม และการท่องเที่ยว จากข้อมูลแห่งชาติ (2009) สปปลาว มีทรัพยากรน้ำประมาณ 272 km^3 แบ่งเป็นลุ่มน้ำหลัก 11 ลุ่มน้ำด้วยกัน ลุ่มน้ำเซโดน (Sedon river) เป็นหนึ่งในลุ่มน้ำหลักครอบคลุมพื้นที่ของเมืองปากซ่อง หรือคนลาวเรียกกันว่าแผ่นดินทองด้วยลักษณะเฉพาะของภูมิประเทศที่มีคุณลักษณะเฉพาะแตกต่างจากลุ่มน้ำอื่น ๆ โดยพื้นที่ของลุ่มน้ำส่วนใหญ่ อยู่ในเขต Boloven plateau ซึ่งเป็นเขตของภูเขาไฟจึงทำให้ลุ่มน้ำมีอุดมด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ ในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งทำให้พื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ทั้งผืนป่า และพืชเกษตรที่สำคัญเป็นต้น กาแฟเป็นพืชที่เป็นที่รู้จักและมีคุณค่าต่อเศรษฐกิจอย่างมาก นอกจากนี้ ลุ่มน้ำเซโดนยังมีแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติหลายแห่ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของ สปป ลาว

ลุ่มน้ำเซโดนเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของ สปป ลาว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เศรษฐกิจทางภาคใต้ของประเทศ แต่ด้วยสภาวการณ์ปัจจุบัน ลุ่มน้ำเซโดนมีแนวโน้มการเพิ่มปริมาณความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ที่สูงขึ้นไม่ว่าจะเป็น ด้านการเกษตรอุปโภค-บริโภคอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว เป็นต้นเนื่องจากการขยายตัวของชุมชนจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การขยายตัวของธุรกิจท่องเที่ยว ซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณความต้องการการใช้น้ำในอนาคต ในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนมีอยู่อย่างจำกัดดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยแนวทางในการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่เพียงพอกับความต้องการมากที่สุด ฉะนั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำเซโดน จึงมีความจำเป็นอย่างมากในการเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำให้ได้รับประโยชน์สูงสุด

การประเมินทรัพยากรน้ำ (water resource assessment) เป็นเครื่องมือในการประเมินแหล่งน้ำ ในความสัมพันธ์กับกรอบอ้างอิงหรือการประเมินศักยภาพของทรัพยากรน้ำ (water resource) ในความสัมพันธ์จากผลกระทบ หรือความต้องการของมนุษย์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญช่วยให้ทราบถึงสถานภาพของลุ่มน้ำในปัจจุบันเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำในอนาคต

แบบจำลองคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ถูกใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับงานน้ำมานาน โดยเฉพาะการนำใช้แบบจำลองในการ การประเมินปริมาณน้ำท่าซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำ ในปัจจุบันมีการนำใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาเพื่อใช้สำหรับการประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าหลายแบบจำลอง แต่โดยส่วนใหญ่เป็นแบบจำลองในกลุ่มของแบบจำลองประเภทลัมพ์ (lumped parameter model) มีลักษณะของการรวมและเฉลี่ยค่าพารามิเตอร์ทั้งลุ่มน้ำ แต่แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภทการกระจายพารามิเตอร์ (distributed parameter model) โดยสามารถประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าในสภาพลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนทางอุทกวิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะนำแบบจำลอง SWAT มาใช้ในการจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า สำหรับใช้เป็นเครื่องมือประเมินทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป ลาว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยมีเป้าหมายที่จะประเมินสถานภาพทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนซึ่งมีข้อจำกัดในด้านข้อมูลที่มีการตรวจวัด ด้วยการใช้แบบจำลอง Soil and Water assessment Tool (SWAT) สามารถแยกเป็นวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานได้ ดังนี้

1. การประยุกต์เทคนิควิเคราะห์ทั้งระบบสำหรับการวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำเซโดน
2. การจำลองระบบลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT สำหรับการประมาณค่าขององค์ประกอบทางอุทกวิทยาในระดับลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำเซโดน
3. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์สมดุลน้ำและการจัดทำบัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการการประเมินทรัพยากรน้ำ โดยพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบทางอุทกวิทยาผิวดินในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนที่มีขนาดพื้นที่ 7,217 km^2 คลอบคลุม 3 จังหวัด 13 ตัวเมืองด้วยการใช้แบบจำลอง SWAT และข้อมูลสภาพภูมิอากาศชนิดรายวัน เริ่มต้นปี ค.ศ 1996 ถึงปี ค.ศ. 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

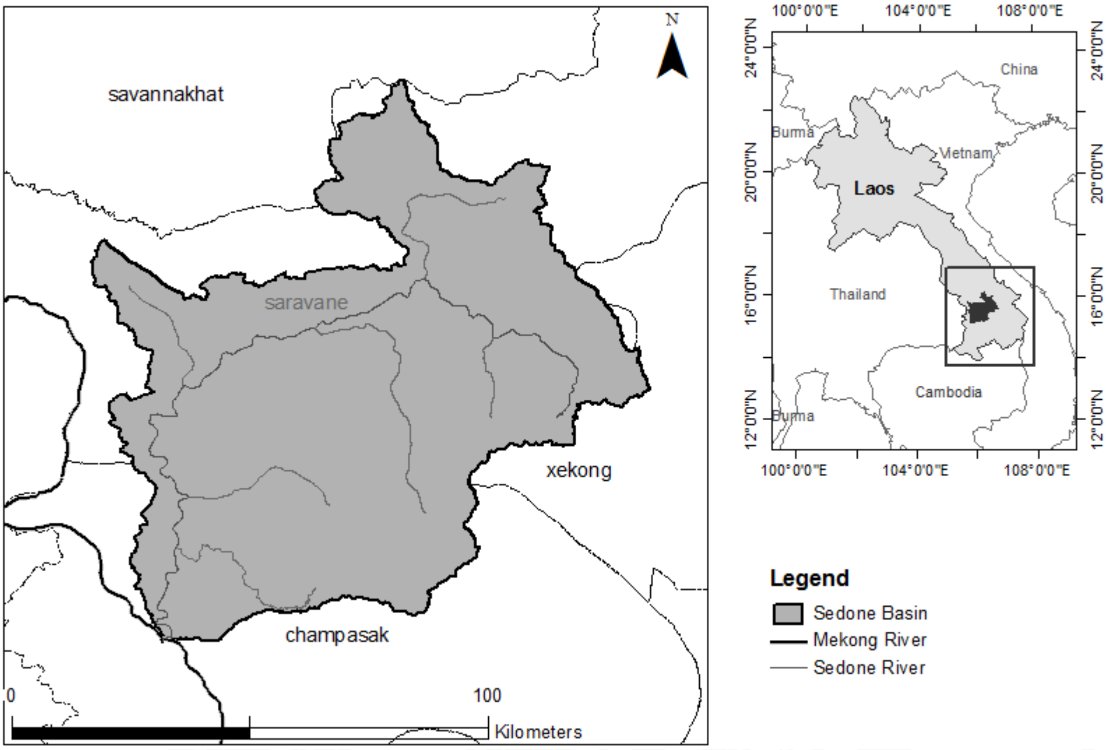
พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำเซโดนตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 15° 23′ 00″ ถึง 16° 28′ 00″ เหนือ และลองจิจูด 105° 35′ 00″ ถึง 106° 40′ 00″ ตะวันออก ซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 7,217 ตร.กม. อยู่ในเขตจังหวัดสาละวัน จังหวัดจำปาสัก และจังหวัดเซกอง (ภาพที่ 1) โดยลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำมีสภาพเป็นเทือกเขาสูงและสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้ มีที่ราบลุ่มตามแหล่งชุมชนเมืองซึ่งมีเซโดนเป็นลำน้ำสายหลักที่ไหลผ่าน มีต้นน้ำที่อยู่บริเวณเมืองท่าแตงของจังหวัดเซกองก่อนที่จะไหลไปรวมกับแม่น้ำโขงที่เมืองปากเซ จังหวัดจำปาสัก

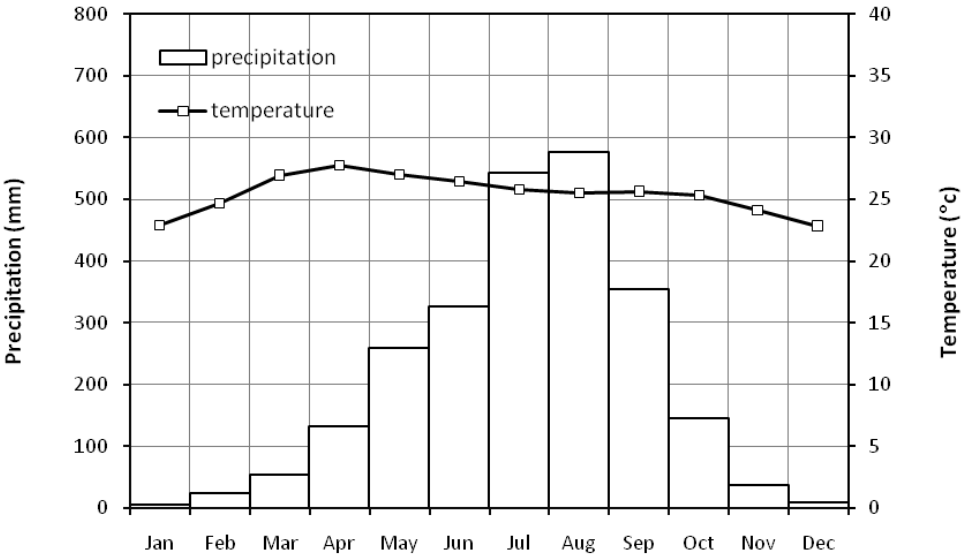
ทิศเหนือ	ติดกับจังหวัดสะหวันนะเขต
ทิศใต้	ติดกับจังหวัดจำปาสัก
ทิศตะวันออก	ติดกับจังหวัดเซกอง
ทิศตะวันตก	ติดกับจังหวัดสาละวัน

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของลุ่มน้ำร้อนและชื้นฤดูฝนส่วนใหญ่อยู่ภายใต้อิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อนนอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชั่นซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ทำให้มีฝนตกชุกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมและกลุ่มน้ำเซโดนมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดสาละวัน จากข้อมูลสถิติของสภาพภูมิอากาศในช่วง 15 ปีซึ่งเก็บรวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยาของ สปป ลาว ลุ่มน้ำเซโดนมีอุณหภูมิอยู่ที่ค่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง 24-28°C ดังแสดงในภาพที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน



ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยรายเดือนข้อมูลภูมิอากาศของลุ่มน้ำเซโดน ช่วงปี 1996 ถึง 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การประเมินทรัพยากรน้ำ

การประเมินทรัพยากรน้ำ (water resources assessment) เป็นวิธีการพื้นฐานสำหรับการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำ ด้วยการใช้ข้อมูลในอดีตในการประเมินเพื่อช่วยให้ทราบถึงสถานภาพของลุ่มน้ำในปัจจุบันเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำในอนาคตให้ได้รับประโยชน์สูงสุด การประเมินทรัพยากรน้ำเป็นการกำหนดแหล่งที่มาขอบเขตคุณลักษณะของทรัพยากรน้ำโดยพื้นฐานของการประเมิน ความเป็นไปได้สำหรับการใช้ประโยชน์ และการควบคุมทรัพยากรน้ำ (UNESCO and WMO, 1988) การประเมินทรัพยากรน้ำยังนิยามถึง ทรัพยากรน้ำที่มี หรือที่สามารถทำให้มี โดยให้พอเพียงสำหรับการใช้ ทั้งด้านปริมาณ และคุณภาพ ของสถานที่ และระยะเวลาที่เหมาะสมกับความต้องการ (UNESCO and WMO, 1992)

การประเมินทรัพย์กรน้ำเป็นเครื่องมือในการประเมินแหล่งน้ำ ในความสัมพันธ์กับกรอบอ้างอิงหรือการประเมินศักยภาพของทรัพยากรน้ำ ในความสัมพันธ์จากผลกระทบ หรือความต้องการของมนุษย์โดยการประเมินทรัพยากรน้ำถูกนำใช้อยู่ในขอบเขตของลุ่มน้ำและลุ่มน้ำย่อย (Miloradov and Marjanovic, 1998)

การประเมินทรัพยากรน้ำได้ถูกนำใช้ในปี 1956 และปี 1978 ในการวิเคราะห์สถานการณ์ความต้องการและปริมาณของทรัพยากรน้ำในประเทศ สหรัฐอเมริกา และอีกหลายประเทศ อาทิเช่น ยุโรบตะวันตก ญี่ปุ่น อินเดีย และประเทศอื่น ๆ (Jiao and Shi, 1998)

การประเมินทรัพยากรน้ำไม่เพียงแต่เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาทรัพยากรน้ำแบบยั่งยืนเท่านั้น แต่ยังเป็นการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำอีกด้วย โดยในอดีตการประเมินทรัพยากรน้ำเป็นวิธีการประเมินสำหรับลุ่มน้ำโดยเฉพาะลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่ โดยใช้หลักการสมดุลน้ำในการวิเคราะห์ จากข้อมูลแบบอนุกรมเวลา ของข้อมูลการเฝ้าสังเกต (Xu and Singh, 2004)

ในข้อตกลงดับลิน(Dublin)ปี ค.ศ.1992โดยเน้นถึงความสำคัญของการประเมินทรัพยากรน้ำ (water resources assessment) และตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาการประเมินทรัพยากรน้ำจึงได้กลายเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการที่สำคัญและถูกนำใช้อย่างแพร่หลายในการเป็นเครื่องมือในการวางแผนการจัดการ (Wang *et al.,* 2006)

Hamouda *et al*. (2009) ได้ดำเนินวิธีการวิจัยในการประเมินทรัพยากรน้ำ(water resources assessment)ในลุ่มน้ำในตะวันตกของลุ่มน้ำ Nile นอกจากนี้ยังมีหลายงานวิจัยที่ได้ใช้วิธีการประเมินทรัพยากรน้ำถูกนำใช้ในประเทศจีน (Yan *et al.,* 2004; Chen *et al.,* 2006; Zhang *et al.,* 2004)

แนวความคิดของการประเมินทรัพยากรน้ำ (water resources assessment) ในลุ่มน้ำเชโดน เป็นการประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT (Soil and Water assessment Tool) และจัดทำบัญชีการใช้น้ำในลุ่มน้ำเชโดน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจัดทำบัญชีน้ำ

การจัดทำบัญชีน้ำ (water accounting) เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยสถาบันการจัดการน้ำนานาชาติ (International Water Management Institute, IWMI) มีเป้าหมายเพื่อทำความเข้าใจถึงกิจกรรมการใช้น้ำในด้านต่าง ๆ และเพื่อให้ทราบถึงแนวทางที่สามารถปรับปรุงในการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มกิจกรรมต่างๆให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้นนอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบถึงผลิตผลที่ได้จากน้ำในภาพรวมทั้งนี้การจัดทำบัญชีน้ำจะพิจารณาจำแนกกิจกรรมการใช้น้ำต่างๆโดยผนวกแนวความคิดทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางการจัดการน้ำเช่นสิทธิการใช้น้ำชนิดของผลประโยชน์จากการใช้น้ำเพิ่มเข้ามาวิเคราะห์ (เอกสิทธิ์และบัญชา, 2545)

1. หลักการของการจัดทำบัญชีน้ำ

Molden (1997) ได้เสนอการจัดการน้ำโดยใช้วิธีการจัดทำบัญชีน้ำซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาการใช้น้ำการสูญหายและผลผลิตจากน้ำในหน่วยที่พิจารณาซึ่งการจัดทำบัญชีน้ำมีหลักการพื้นฐานคล้ายกับการทำสมดุลของน้ำ (water balance) ซึ่งพิจารณาถึงปริมาณน้ำไหลเข้า (inflow) ปริมาณไหลออก (outflow) จากขอบเขตพื้นที่ที่พิจารณา (domain) การจัดทำบัญชีน้ำสามารถวิเคราะห์ได้ 3 ระดับได้แก่ ระดับลุ่มน้ำ (basin level) ระดับโครงการชลประทาน (irrigation service level) และระดับแปลงเพาะปลูก (field level) ซึ่งแสดงสมการสมดุลน้ำดังนี้

$$\Delta S = \Sigma I - \Sigma O \qquad (1)$$

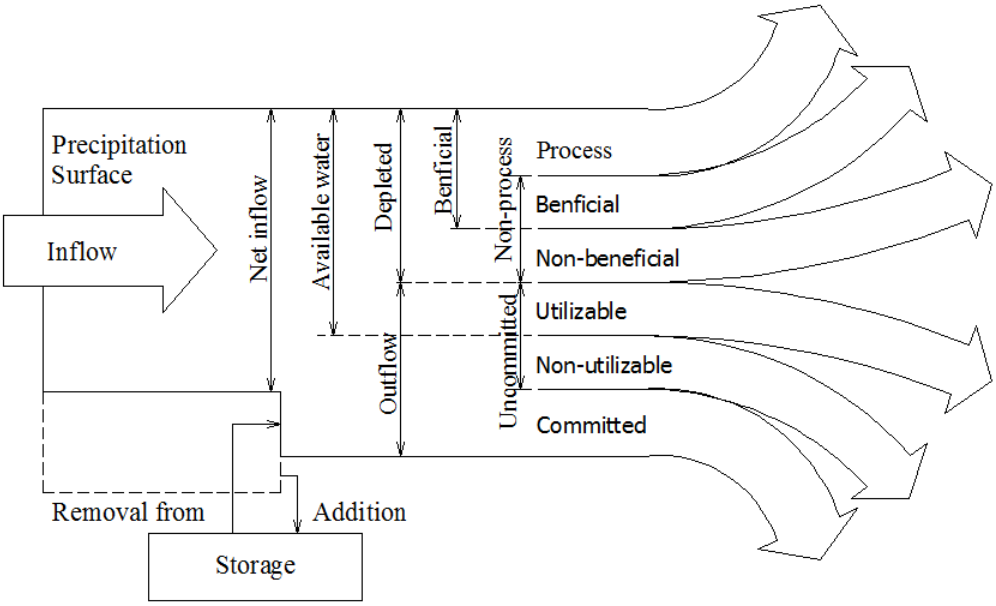
โดยที่ ΔS คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

ΣI คือ ผลรวมปริมาณน้ำไหลเข้า

ΣO คือ ผลรวมปริมาณน้ำไหลออก

การทำบัญชีน้ำต่างจากการทำสมดุลน้ำซึ่งการทำบัญชีน้ำจะพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลออก (depletion และ outflow) จากระบบโดยจำแนกตามกิจกรรมการใช้น้ำในด้านต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของบัญชีน้ำ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Molden (1997)

2. คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องการทำบัญชีน้ำ

การจัดทำบัญชีน้ำเป็นการแยกส่วนในกิจกรรมการใช้น้ำต่างๆซึ่งพิจารณาปริมาณน้ำในพื้นที่และจัดประเภทต่างๆ (เอกสิทธิ์และบัญชา, 2545) ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมด (gross inflow, GI) เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลเข้าในพื้นที่หรือบริเวณที่พิจารณาประกอบด้วยน้ำฝน-น้ำท่าผิวดินและน้ำท่าใต้ดิน

2. ปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิ (net inflow, NI) เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดรวมกับการเปลี่ยนแปลงของแหล่งกักเก็บในพื้นที่

3. ปริมาณน้ำที่สูญหายไป (water depletion, WD) เป็นน้ำที่ใช้หรือสูญหายไปโดยไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกซึ่งประกอบด้วย 4 กลุ่มคือ

- การระเหย (evaporation) เป็นน้ำที่สูญหายไปโดยระเหยจากผิวดินผิวน้ำและการคายน้ำจากพืช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- การไหลลงแอ่ง (flow to sink) เป็นน้ำที่ไหลลงพื้นที่ที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้หรือไม่คุ้มค่าที่จะนำกลับมาใช้อีกอาทิพื้นที่ที่มีความเค็มสูง

- การปนเปื้อนมลพิษ (pollution) เป็นน้ำที่คุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่จะนำมาใช้

- การรวมเข้าไปในผลิตผล (incorporation into product) เป็นน้ำที่ถูกรวมเข้าไปในผลิตผลทั้งทางเกษตรและอุตสาหกรรมเช่นน้ำที่บรรจุขวดหรือรวมเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของพืช

4. น้ำถูกใช้ไป (process consumption, P) เป็นน้ำที่ถูกใช้ไปเพื่อเกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์

5. น้ำไม่ถูกใช้ (non-process depletion, NP) เป็นน้ำที่หมดไปแต่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามต้องการของมนุษย์ซึ่งน้ำส่วนนี้อาจสูญหายไปโดยมีประโยชน์ (beneficial depletion) หรือไม่มีประโยชน์ (non-beneficial depletion) ก็ได้

6. น้ำที่มีข้อผูกพัน (committed water, C) เป็นส่วนหนึ่งของน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่หรือบริเวณที่พิจารณาแต่น้ำส่วนนี้เป็นปริมาณที่กำหนดไว้ตามข้อตกลงต่างๆเช่นเพื่อรักษาสมดุลนิเวศหรือสิทธิผู้ใช้น้ำด้านท้ายน้ำเป็นต้น

7. ปริมาณน้ำที่ไหลออกไปโดยไม่มีข้อผูกพัน (uncommitted outflow, UC) เป็นน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่หรือบริเวณที่พิจารณาโดยน้ำส่วนนี้เป็นส่วนที่เหลือจากการสูญหายและไม่มีข้อกำหนดผูกพันซึ่งสามารถแยกได้เป็นน้ำที่ยังนำมาใช้ได้ (utilizable outflow, UO) และน้ำที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้ (non-utilizable outflow, NUO) โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการบริหารจัดการและเครื่องมือต่างๆ

8. ปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ (available water, AW) เป็นปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิหักปริมาณน้ำไหลออกที่มีข้อผูกพันและปริมาณน้ำที่ไหลออกโดยไม่มีข้อผูกพันที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ดังสมการ

$$AW = NI - C - NOU \quad (2)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ NI คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิ
C คือ น้ำที่มีข้อผูกพัน
NUO คือ น้ำที่ไม่มีข้อผูกพันที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ไม่ได้

หรือผลรวมของน้ำที่สูญหายไปทั้งที่ถูกใช้ไปและไม่ถูกใช้กับน้ำไหลออกที่ยังนำมาใช้ได้ดังสมการที่ (3)

$$AW = P + NP + UO \tag{3}$$

โดยที่ P คือ น้ำถูกใช้ไป
NP คือ น้ำไม่ถูกใช้
UO คือ น้ำที่ไม่มีข้อผูกพันที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

3. ดัชนีของทำบัญชีน้ำ

ดัชนีที่ใช้สำหรับการจัดทำบัญชีน้ำจะอยู่ในรูปอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่อยู่ในเทอมต่างๆได้แก่อัตราส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไปอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไปและอยู่ในรูปของผลผลิตที่ได้จากน้ำเป็นต้น (Molden, 1997) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีของพื้นที่ที่พิจารณาซึ่งประกอบด้วย

1. อัตราส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไป (depletion fraction, DF) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าที่มีการสูญหายเนื่องจากมีการนำใช้ไปตามวัตถุประสงค์ต่างๆและนอกเหนือความต้องการโดยกำหนดอัตราส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไปให้อยู่ในเทอมของปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมดปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิและปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ซึ่งสมการแสดงไว้ดังนี้

$$DF_{net} = \frac{Depletion}{Net\ Inflow} \tag{4}$$

$$DF_{gross} = \frac{Depletion}{Gross\ Inflow} \tag{5}$$

$$DF_{available} = \frac{Depletion}{Available\ Water} \tag{6}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. อัตราส่วนปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไป (process fraction, PF) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่สูญหายเนื่องจากถูกใช้ไปโดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่สูญหายทั้งหมดและปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ ซึ่งสมการแสดงไว้ดังนี้

$$PF_{depleted} = \frac{\text{Process Depletion}}{\text{Total Depletion}} \tag{7}$$

$$PF_{available} = \frac{\text{Process Depletion}}{\text{Available Water}} \tag{8}$$

3. ผลผลิตที่ได้จากน้ำ (productivity of water, PW) ซึ่งสัมพันธ์กันระหว่างผลผลิตหรือมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยเทียบกับปริมาตรน้ำหนึ่งหน่วยผลผลิตที่ได้จากน้ำสามารถวัดอยู่ในรูปปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิหรือปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมดปริมาณน้ำที่สูญหายไปและปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้เป็นต้นซึ่งสมการแสดงไว้ดังนี้

$$PW_{inflow} = \frac{\text{Productivity}}{\text{Net Inflow}} \tag{9}$$

$$PW_{depleted} = \frac{\text{Productivity}}{\text{Depletion}} \tag{10}$$

$$PW_{process} = \frac{\text{Productivity}}{\text{Process Depletion}} \tag{11}$$

จากความสัมพันธ์ข้างต้นจะได้

$$PW_{depleted} = \frac{PW_{netinflow}}{DF_{net}} \tag{12}$$

$$PW_{process} = \frac{PW_{depleted}}{PF_{net}} \tag{13}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์หาดัชนีสมรรถนะของพื้นที่จะนำองค์ประกอบของบัญชีน้ำต่างๆมาประกอบในการวิเคราะห์เพื่อทำให้ทราบถึงสถานะของพื้นที่ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 สถานะคือ

1. ลุ่มน้ำปิด (a close basin) เป็นลุ่มน้ำที่ไม่มีแหล่งน้ำที่จะนำมาใช้ได้เพิ่มอีก
2. ลุ่มน้ำกำลังปิด (a closing basin) เป็นลุ่มน้ำที่มีแหล่งน้ำเหลือให้ใช้เพิ่มอีกไม่มาก
3. ลุ่มน้ำเปิด (an open basin) เป็นลุ่มน้ำที่ยังมีแหล่งน้ำที่จะมาใช้ได้อีก

การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Molden (1997) ได้นำเสนอการใช้บัญชีน้ำซึ่งงานวิจัยนี้เป็นงานหนึ่งของของSWMI โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดทำรูปแบบมาตรฐานในการวิเคราะห์บัญชีน้ำเพื่อให้สามารถนำไปใช้กับพื้นที่อื่นๆได้สำหรับการศึกษานี้ได้จำแนกเป็นตัวอย่างของพื้นที่ศึกษาออกเป็น 3 ระดับดังนี้

1. ระดับแปลงนา (field level) ในพื้นที่ศึกษา ของระบบชลประทาน Sirsa Chisa ของประเทศอินเดียในปีค.ศ. 1991 ผลการศึกษาพบว่ามีการส่งน้ำให้พื้นที่ทางการเกษตรน้อยกว่าความต้องการใช้น้ำของพืชที่สามารถปลูกได้นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้อัตราส่วนของมวลผลผลิตต่อปริมาณน้ำที่ส่งให้หรือปริมาณการใช้น้ำสำหรับพืชชนิดเดียวกันแต่ถ้าเป็นการเปรียบเทียบกับพืชหลายๆชนิดควรใช้วิธีการเปรียบเทียบราคาผลผลิตแทน

2. ระดับพื้นที่ชลประทาน (service level) ในพื้นที่ศึกษา Chisa of the Bhakra system ของประเทศอินเดียในปีค.ศ 1977-1990 สำหรับกรณีนี้ปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ถูกกำหนดโดยความต้องการน้ำด้านท้ายน้ำและไม่ได้ทำการแยกการใช้น้ำนอกกระบวนการให้คิดเป็นการใช้น้ำในกระบวนการทั้งหมดดังนั้นอัตราส่วนของ water depletion ต่อ process depletion จึงมีค่าเท่ากับหนึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเก็บกักของน้ำใต้ดินเท่ากับสิบห้าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำไหลเข้าโดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำใต้ดินเฉลี่ยประมาณ 0.6 ม.ต่อปี

3. ระดับลุ่มน้ำ (basin level) ในพื้นที่ศึกษา High Aswan Dam ประเทศอียิปต์ทางด้านท้ายน้ำมีปริมาณน้ำไหลเข้าจากปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อน 53,200 ล้าน ลบ.ม.และจากน้ำใต้ดิน 500 ล้าน ลบ.ม. มีการใช้น้ำในกระบวนการจากการคายระเหยประมาณ 34,800 ล้าน ลบ.ม. การใช้น้ำในชุมชนและอุตสาหกรรม 1,600 ล้าน ลบ.ม. การใช้น้ำนอกกระบวนการประมาณ 3,200 ล้าน ลบ.ม. รวมการใช้น้ำทั้งหมด 39,600 ล้าน ลบ.ม.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sakthivadivel and Molden (2000) ได้มีการจัดทำบัญชีน้ำอีก 5 ประเทศประกอบด้วย ประเทศจีนจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำ Fuyang, ประเทศศรีลังกา จัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำ DeduruOya ประเทศเนปาล จัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำ East Rapti ประเทศอินโดนีเซียจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำ Singkarak-Ombilin และประเทศฟิลิปปินส์จัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำ Pampaga ตอนบนจากนั้น Molden *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาใน 4 ลุ่มน้ำของภูมิภาคเอเชียใต้ซึ่งประกอบไปด้วยลุ่มน้ำ Bhakra อยู่ในประเทศอินเดียลุ่มน้ำ Chishtian อยู่ในประเทศปากีสถานลุ่มน้ำ Huruluwewa และลุ่มน้ำ Kirindi Oya อยู่ในทางตอนเหนือและทางตอนใต้ของประเทศศรีลังกา

Taesombut *et al.* (2002) ได้มีการจัดทำบัญชีน้ำซึ่งได้แบ่งลุ่มน้ำบางปะกงออกเป็น 7 ลุ่มน้ำย่อยคือลุ่มน้ำคลองพระสะทึง คลองพระปรง แม่น้ำหนุมานปราจีนบุรีสายหลัก นครนายกและบางปะกงสายหลักรวมกับท่าลาดโดยที่ไม่นำปริมาณน้ำท่าใต้ดินเข้ามาในการวิเคราะห์บัญชีน้ำซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าในพื้นที่มีการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพได้ถึง 90% ของปริมาณน้ำทั้งหมดที่นำมาใช้ได้

Peranginaangin *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษา บัญชีน้ำเพื่อการจัดการน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน โดยพื้นที่ศึกษา คือ ลุ่มน้ำ Singkakrak ombilin ประเทศอินโดนีเซีย เนื่องจาก ในปี ค.ศ. 1998 ได้มีการผันน้ำจาก Singkakrak Lake ซึ่งอยู่ด้านเหนือน้ำ เพื่อนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าส่งผลกระทบกับผู้ใช้ทางด้านท้าย และผลกระทบต่อระบบนิเวศน์บริเวณทะเลสาบ ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำบัญชีน้ำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การผันน้ำจาก Singkakrak Lake มีผลกระทบการใช้น้ำในด้านอื่นๆ สำหรับแนวคิดบัญชีน้ำในการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่ส่งให้กับผู้ใช้น้ำด้านท้ายน้ำเพิ่มขึ้น และสามารถใช้น้ำในฤดูแล้ง (มิถุนายน-กันยายน) ได้ ตัวอย่างเช่น สามารถเพิ่มพื้นที่ชลประทานในฤดูฝน (มกราคม-เมษายน) หรือการดึงน้ำจากชั้นน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ในฤดูแล้ง โดยที่ยังคงรักษาระดับน้ำใต้ดินไว้คงที่

Shilpaker (2003) ได้ประยุกต์การจัดทำบัญชีน้ำโดยใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศ (Geo-information) เพื่อศึกษาในลุ่มน้ำ East Rapti ประเทศเนปาลซึ่งใช้วิธี SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) ในการประเมินหาค่าการคายระเหยผลการวิเคราะห์พบว่าลุ่มน้ำEast Raptiอยู่ในสถานะลุ่มน้ำเปิด (an open basin) คือเป็นลุ่มน้ำที่ยังมีแหล่งน้ำที่จะมาใช้ได้อีก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสิทธิ์และบัญชา (2545) ได้จัดทำบัญชีน้ำโดยแยกการวิเคราะห์การจัดทำบัญชีน้ำออกเป็น 3 ส่วนคือการจัดทำบัญชีน้ำรายปีผลการวิเคราะห์พบว่าลุ่มน้ำแม่กลองอยู่ในสถานะกำลังปิด (closing basin) คือมีน้ำเหลือให้นำไปใช้เพิ่มได้ไม่มากการจัดทำบัญชีรายฤดูกาลทั้งลุ่มน้ำพบว่าอ่างเก็บน้ำมีส่วนที่สำคัญในการเก็บน้ำช่วงฝนตกชุกไว้ใช้ในช่วงฤดูแห้งและการจัดทำบัญชีน้ำรายปีของลุ่มน้ำย่อยซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าตอนบนของลุ่มน้ำอยู่ในสถานะเปิด (open basin) ตอนกลางอยู่ในสถานะกำลังปิดและตอนล่างอยู่ในสถานะปิด

ไชยวัฒน์และเอกสิทธิ์ (2548) ได้จัดทำบัญชีน้ำของโครงการชลประทานพลเทพโดยการจัดทำบัญชีน้ำและประเมินดัชนีเป็นรายฤดูกาลและรายปีโดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยระหว่างปี 2542 ถึง 2545 ซึ่งผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงสถานะของน้ำต้นทุนและปริมาณการใช้น้ำของโครงการพลเทพซึ่งพบว่าในปัจจุบันโครงการพลเทพเป็นโครงการที่มีน้ำต้นทุนไหลเข้าโครงการเป็นปริมาณมากสามารถเพิ่มศักยภาพในการใช้น้ำได้อีกในอนาคตการจัดทำบัญชีน้ำเป็นวิธีการที่ช่วยประเมินการบริหารจัดการน้ำและเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เข้าใจถึงกิจกรรมการใช้น้ำภายในโครงการมากขึ้น

ไชยวัฒน์ (2548) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์บัญชีน้ำระดับโครงการโดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนปี 2542 ถึง 2545 เสนอผลลัพธ์เป็นรายปีในการวิเคราะห์ได้แยกพื้นที่เป็นรายโครงการชลประทานและพื้นที่ย่อยโดยได้พิจารณาเลือกโครงการศึกษาคือโครงการในโครงการชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกตอนบนประกอบด้วยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลเทพท่าโบสถ์สามชุกและดอนเจดีย์การวิเคราะห์บัญชีน้ำใช้หลักการของสมดุลน้ำแต่มีการจำแนกน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่ตามกิจกรรมการใช้น้ำผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าแต่ละโครงการส่วนใหญ่เป็นน้ำผิวดินปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากพื้นที่มีสัดส่วนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำไหลออกโดยส่วนใหญ่เป็นการสูญหายจากการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกโดยเฉพาะโครงการพลเทพและสามชุกมีปริมาณค่อนข้างสูงในภาพรวมพื้นที่ศึกษาเป็นโครงการต้นน้ำจึงมีปัญหาการขาดแคลนน้ำไม่มากนักยกเว้นโครงการดอนเจดีย์ที่อยู่ด้านท้ายของคลองมะขามเฒ่า-อู่ทองนอกจากนี้ในแต่ละโครงการยังมีน้ำส่วนเกินโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน

ภัสสร (2548) ได้ทำการวิเคราะห์บัญชีน้ำระดับลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยเน้นการประเมินปริมาณน้ำใต้ดินซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์บัญชีน้ำโดยใช้แบบจำลอง MIKE SHE ในการจำลองสภาพอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนปี 2543 ซึ่งจากการวิเคราะห์บัญชีน้ำได้ดัชนีของบัญชีน้ำสำหรับการประเมินสถานการณ์ลุ่มน้ำได้แก่ DF_{GI} มีค่า 0.59 ในฤดูฝนและมีค่า 1.90 ในฤดูแล้งแสดงให้เห็นว่าในช่วงฤดูแล้งมีการใช้น้ำมากกว่าปริมาณน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ไหลเข้าซึ่งมีการนำน้ำจากส่วนที่กักเก็บมาใช้ DF_{Aw} มีค่า 0.96 นั่นคือมีการใช้น้ำอย่างเต็มความสามารถเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ PW_{AW} พบว่ามีค่าน้อยกว่า DA_{Aw} อยู่ประมาณ 66% เนื่องจากมีการใช้น้ำนอกกระบวนการมาก

เอกสิทธิ์และคณะ (2550) ได้จัดทำบัญชีน้ำพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีนโดยพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากจากหน่วยที่พิจารณาและได้พิจารณาพื้นที่ส่วนที่ระบายน้ำเข้าสู่ลุ่มน้ำ โดยใช้แบบจำลอง WEAP ร่วมกับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า GR2M จากผลการประเมิน depetion fraction ของปริมาณรายปี พบว่า ลุ่มน้ำท่าจีนมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปเทียบกับน้ำที่เข้ามา เท่ากับ 72% และเมื่อเทียบกับน้ำที่นำมาใช้ได้ จะมีอัตราส่วนเป็น 80% ส่วนการประเมิน process fraction ของปริมาณรายปี พบว่า น้ำที่ถูกใช้ไปเพื่อก่อให้เกิดผลผลิต คิดเป็น 84% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไป และ คิดเป็น 64% เมื่อเทียบกับน้ำที่นำมาใช้ได้

วิศิษฎ์และเอกสิทธิ์ (2552) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพในการบริหารจัดการน้ำของกลุ่มผู้ใช้น้ำ 6 กลุ่มในฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีโดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วงเวลาได้แก่ในช่วงรายปีช่วงฤดูฝน 2550 และช่วงฤดูแล้ง 2551 โดยใช้ดัชนีบัญชีน้ำในการเปรียบเทียบการเปรียบเทียบผลการจัดทำบัญชีน้ำเป็นรายปีรายฤดูกาล (ฤดูฝน) และรายฤดูกาล (ฤดูแล้ง) ในพื้นที่ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 พบว่าบัญชีน้ำฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 ทั้ง 3 ช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณน้ำส่วนใหญ่เป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลักดันน้ำเค็มและมีปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆได้แก่การเกษตรกรรมการอุปโภค-บริโภคการปศุสัตว์และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นลำดับรองลงมาและปริมาณน้ำในลำดับสุดท้ายเป็นปริมาณน้ำไหลออกที่ไม่มีข้อผูกพัน

ธรรมพงศ์ เนาวบุตร (2552) ได้ทำการวิเคราะห์บัญชีน้ำลุ่มน้ำสะแกกรังโดยใช้แบบจำลอง MIKE BASIN โดยทำการจำลองสภาพระบบอ่างเก็บน้ำทับเสลาและอ่างเก็บน้ำแม่วงเพื่อศึกษาถึงปริมาณการใช้น้ำของพื้นที่ชลประทานการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอ่างเก็บน้ำทับเสลาและแม่วงปริมาณน้ำบริเวณจุดออกของลุ่มน้ำเพื่อประกอบการจัดทำบัญชีน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งในการศึกษาได้กำหนดไว้ 2 สถานการณ์คือกรณีสภาพปัจจุบันของลุ่มน้ำสะแกกรังและกรณีสภาพที่มีการก่อสร้างเขื่อนแม่วงก์การศึกษาพบว่ากรณีปัจจุบันลุ่มน้ำสะแกกรังสามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ 65% ของปริมาณน้ำที่มีทั้งหมดและประสิทธิภาพการใช้น้ำของลุ่มน้ำแม่วงอยู่ในสถานภาพปานกลางเพราะยังเหลือปริมาณน้ำที่ใช้งานได้แต่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์อีก 35% สำหรับกรณีมีการก่อสร้างเขื่อนแม่วงก์สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ 68% ของปริมาณน้ำและยังเหลือปริมาณน้ำที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใช้งานได้แต่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์อีก 32% แสดงถึงการก่อสร้างเขื่อนแม่วงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำได้ 3%

การวิเคราะห์บัญชีน้ำเป็นเครื่องมือเพื่อทำความเข้าใจถึงกิจกรรมการใช้น้ำในส่วนต่างๆของลุ่มน้ำเพื่อเป็นแนวทางที่สามารถจะนำปรับปรุงการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆนอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือในการวางแผนการบริหารทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำในสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคต ให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้นการวิเคราะห์บัญชีน้ำได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำต่างๆแต่สำหรับ สปป ลาว ที่เป็นประเทศที่ต้องอาศัยทรัพยากรน้ำในการพัฒนาแล้วในกาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์บัญชีน้ำนั้นถือว่าเป็นเลื่องที่ใหม่และยังไม่มีการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ลุ่มน้ำที่ สปป ลาว โดยผู้วิจัยขอถือโอกาสนี้ที่จะนำเสนอการจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดนเพื่อเป็นข้อมูล และนำวิธีการไปประยุกต์ใช้ในลุ่มน้ำต่าง ๆ ในประเทศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลองทางอุทกวิทยา

แบบจำลองทางอุทกวิทยา (hydrology model) เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญสำหรับการประเมินทรัพยากรน้ำสำหรับการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำในปัจจุบันและอนาคต โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองทางอุทกวิทยาได้ถูกพัฒนาบนพื้นฐานของการเลียนแบบวัฏจักรทางอุทกวิทยา (hydrologic cycle) เพราะฉะนั้นแบบจำลองจึงมีส่วนประกอบต่างๆ ในกระบวนการเช่น interception infiltration depression storage evaporation subsurface flowgroundwater flow overland flow and channel flow (Chow *et al*., 1988) ปัจจุบันวิทยาการคอมพิวเตอร์ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วนั้นได้นำไปสู่วิธีการคำนวณแบบใหม่ ในสาขาวิทยาศาสตร์ทางอุทกวิทยาและแบบจำลองคอมพิวเตอร์ โดยมีแบบจำลองทางอุทกวิทยาได้รับการพัฒนาขึ้นด้วยลักษณะและวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน (Gosain *et al*., 2009; Jajarmizadeh *et all*., 2012)

โดยทั่วไปแบบจำลองทางอุทกวิทยาแต่ละแบบจำลองจะมีลักษณะของแบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้รวมถึงกระบวนการทำงานแตกต่างกันสามารถแบ่งแบบจำลองได้ 3 ประเภทคือ แบบจำลองกล่องดำ (black box model) แบบจำลองประเภทลัมพ์ (lumped parameter model) และแบบจำลองทางกายภาพ (distributed parameter model) (Wang*et al*., 1996) ดังนี้

1. แบบจำลองกล่องดำ (black box model) เป็นแบบจำลองที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงมาใช้คำนวณค่า เป็นแบบจำลองที่นำเข้าข้อมูลฝนมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำท่า โดยไม่นำเอากระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวโยงกับพื้นที่ของลุ่มน้ำมาคำนวณแต่จะวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเข้าและข้อมูลออกแบบ time series (Nor *et al*., 2007) ตัวอย่างแบบจำลองกล่องดำเช่น nonlinear auto-regressive moving average และ artificial neural network model (Chen *et al*., 1990)

2. แบบจำลองประเภทลัมพ์ (lumped parameter model) ซึ่งมีพื้นฐานของการเฉลี่ยตามพื้นที่ (spatial averaging) โดยเป็นการเฉลี่ยแบบทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่พิจารณาโดยกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยเป็นหนึ่งหน่วยในการประเมินน้ำท่า เป็นแบบจำลองที่แทนขั้นตอนขององค์ประกอบทางกายภาพในลุ่มน้ำซึ่งจะมีตัวแปรที่ใช้แทนค่าต่างๆที่อยู่ในกระบวนการของลุ่มน้ำที่อธิบายกระบวนการทางอุทกวิทยาโดยใช้สมการสมดุลของน้ำในการคำนวน (Ghandhari และ Moghaddam, 2011) ยกตัวอย่างได้แก่ TANK model (Sugawara, 1974) HEC-HMS (HEC, 2000) และ NAM (DHI, 1990)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. แบบจำลองทางกายภาพ (distributed parameter model) เป็นแบบจำลองลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำเป็นการกระจายพารามิเตอร์ตามสภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งอธิบายถึงระบบของธรรมชาติใช้สมการเกี่ยวกับพลังงานและการไหลของน้ำในจุดย่อยๆมารวมกันซึ่งแบบจำลองจะประกอบด้วยชุดของสมการที่มีการเชื่อมระหว่างจุดที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกันในการคำนวณจะใช้ข้อมูลจากการวัด (Leon *et al.*, 2002) ยกตัวอย่างเช่น TOPMODEL (Beven *et al.*, 1984) SLURP model (Kite, 1978) IHDM model (Morris, 1980) และ SWAT model (Arnold *et al.*, 2009)

แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ผ่านมาในอดีตเป็นการจำลองน้ำท่าในลักษณะของการรวมและเฉลี่ยค่าพารามีเตอร์ทั้งลุ่มน้ำ แต่ปัจจุบันการใช้ในแบบจำลองทางอุทกวิทยา ที่สามารถวิเคราะห์ลุ่มน้ำด้วยลักษณะพารามิเตอร์แบบกระจาย (distributed parameter model) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สนใจ เพราะสามารถประเมินลุ่มน้ำย่อยต่อเนื่องเป็นโครงข่ายลุ่มน้ำขนาดใหญ่ได้ ซึ่งแบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองชนิดกึ่งกระจายพื้นที่ สามารถปริมาณสภาพลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนทางอุทกวิทยาได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงนำแบบจำลอง SWAT มาใช้ในการจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าในลุ่มน้ำ

แบบจำลอง SWAT

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model ได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยความร่วมมือกันระหว่าง USDA Agricultural Research Service และ Blackland Research & Extension Center ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเป็นแบบจำลองอุทกวิทยาระดับลุ่มน้ำที่ใช้ในการทำนายผลกระทบของการบริหารจัดการการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำ และคุณภาพน้ำ ใช้ในการศึกษาเพื่อวางแผนการบริหารจัดการระยะยาว โปรแกรม ArcSWAT มีลักษณะเป็น public domain model สามารถนำไปใช้งาน โดยดาวน์โหลดโปรแกรม และคู่มือการใช้โปรแกรมนอกจากนี้ในเวบไซต์ http://swat.tamu.edu/ ซึ่งมีเวปบอร์ดสำหรับใช้เป็นที่ปรึกษาและนำเสนอการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม ArcSWAT จากทุกมุมโลก

แบบจำลอง SWAT รุ่นแรกสร้างขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1990 เพื่อวิเคราะห์สภาพทางกายภาพลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนทางด้านอุทกวิทยา แบบจำลองสามารถทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ GIS (Arnold *et al.*, 1998) โดยแบบจำลองเองได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมาเป็นเวอร์ชันล่าสุด SWAT2012 (Arnold *et al.*, 2012)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันแบบจำลอง SWAT ได้ถูกนำใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าการเคลื่อนย้ายตะกอน และและวงจรสารอาหาร สำหรับใช้เป็นเครื่องมือในงานทรัพยากรน้ำ สำหรับการวางแผนการจัดการลุ่มน้ำในพื้นที่ต่างๆ ตามสภาพทางภูมิศาสตร์ และเงื่อนไข ซึ่งมีวิธีปฏิบัติที่แตกต่างกันเช่น (โอฬาร 2548; สุวิทย์และสุภักดิ์ 2556; Rosenthal and Hoffman 1999; Arnold *et al*., 2001; Huang 2003; Xue-song *et al*., 2003; Shrivastava *et al*., 2004; Gosain *et al*., 2005; Ndomba *et al*., 2008; Shimelis *et al*., 2008; Hoanh *et al*., 2010; Puwadon *et al*., 2010; Raneesh *et al*., 2010; Reungsang *et al*., 2010; Thampi *et al*., 2010; Fadil *et al*., 2011; Ayana *et al*., 2012; Celine and James 2013) และแบบจำลองได้ใช้อย่างกว้างขวางทั่วสหรัฐอเมริกาสำหรับการการจำลองการไหลและการเคลื่อนย้ายตะกอน (Arnold and Allen, 1999) และสำหรับการนำใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำที่ สปป ลาว แล้วยังมีจำนวนที่น้อยมาก

Rosenthal and Hoffman (1999) ใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับการพยากรณ์ปริมาณการไหลของน้ำท่าอัตราการนำพาตะกอน และวงจรสารอาหารในลุ่มน้ำที่ central Texas ที่สหรัฐอเมริกา โดยใช้ข้อมูลของปี 1970-1984 เป็นการประเมิณผลแบบรายเดือนผลของการจำลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองได้การพยากรณ์ปริมาณการไหลของน้ำท่า อัตราการนำพาตะกอน และวงจรสารอาหารแบบรายเดือนมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงระหว่างค่าของการเลียนแบบและค่าของการเฝ้าสังเกตโดยได้ค่าของการประเมิมประสิทธิภาพของแบบจำลองในค่าที่ดี

Arnold *et al*. (2001) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT พยากรณ์ปริมาณการไหลของน้ำท่า และอัตราการนำพาตะกอนและวงจรสารอาหารในสองลุ่มน้ำ Hico and Valley Mills North Bosque River ที่สหรัฐอเมริกา ใช้ข้อมูลปี 1960-1998 สำหรับการสอบเทียบปริมาณการไหล และใช้ข้อมูลปี 1993-1997 ในการสอบเทียบอัตราการนำพาตะกอนและวงจรสารอาหาร และข้อมูลปี 1998 สำหรับตรวจพิสูจน์ ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสอดคล้องกันตามความเป็นจริงระหว่างค่าของการเลียนแบบและค่าของการเฝ้าสังเกตสำหรับการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

Huang (2003) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อจำลองปริมาณน้ำท่า และอัตราการนำพาตะกอนในลุ่มน้ำ Malian river ที่ประเทศจีนโดยใช้ coefficient of determination and Nash Sutcliffe efficiency ประเมิมประสิทธิภาพของแบบจำลอง ผลของการจำลองเป็นที่น่าพอใจโดยความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สอดคล้องในทิศทางเดียวกัน ระหว่างค่าของการเลียนแบบและค่าของการเฝ้าสังเกต และการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ในค่าที่ดี

Xue-song *et al.* (2003) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการประเมินปริมาณน้ำท่าและอัตราการนำพาตะกอนพื้นที่ศึกษาคือ Huanghe yellow river basin ที่ประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองมีความแม่นยำในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าและตะกอน ผลการศึกษา พบว่า ค่าประสิทธิภาพการแบบจำลอง R^2 = 0.7 และ NSE = 0.6 ด้วยผลการประเมิณแสดงให้เห็นถึงแบบจำลองเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับใช้ในงานทรัพยากรน้ำ สำหรับการวางแผนการจัดการในลุ่มน้ำ

Shrivastava *et al.* (2004) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ร่วมกับการใช้ข้อมูลดาวเทียม และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าและอัตราการนำพาตะกอนในลุ่มน้ำขนาดเล็ก ประมาณ 17.43 ตร.กม. ที่ Chhokeranala watershed, India โดยการประเมินผลแบบรายวันและรายเดือนผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าและอัตราการนำพาตะกอนด้วยความสอดคล้องกันระหว่างค่าของการจำลอง และค่าของการเฝ้าสังเกต

Gosain *et al.* (2005) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมิน return flows ในพื้นที่ชลประทานใน Krishna river ในประเทศ India ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองได้ มีความสอดคล้องระหว่างค่าของการเลียนแบบ และค่าของการเฝ้าสังเกต สำหรับการประเมิน return flows โดยมีการสรุปผลว่าแบบจำลองนั้นยังมีความสามารถในการจำลองลุ่มน้ำที่ซับซ้อนได้ดี

Ndomba *et al.* (2008) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาคือ Pangani River Basin Tanzania ซึ่งเป็นพื้นที่มีความจำกัดของข้อมูล และความซับซ้อนของพื้นที่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสามารถในการจำลองในพื้นที่ที่มีความจำกัดของข้อมูล และความซับซ้อนของสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำ ด้วยความสอดคล้องของการเลียนแบบและข้อมูลของการเฝ้าสังเกตที่ได้จากผลของแบบจำลอง

Shimelis *et al.* (2008) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ทดสอบประสิทธิภาพของและความสามารถของแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในทะเลสาบ Tana Basin of Ethiopia โดยใช้ข้อมูลปี 1981-1992 ในการสอบเทียบและข้อมูลปี 1993-2004 สำหรับการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการจำลองน้ำท่า และมีความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สอดคล้องกันดีระหว่างค่าของการเลียนแบบและค่าของการเฝ้าสังเกตโดยได้ค่าของการประสิทธิภาพของแบบจำลองในค่าที่ดี

Hoanh *et al.* (2010) ใช้แบบจำลอง SWAT แบบจำลอง IQQM และแบบจำลอง ISIS เพื่อคาดการณ์ผลกระทบของการเปรี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำโขง โดยการศึกษานี้ ได้ใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับการ generatedof sub-basins และ ประเมินปริมาณน้ำ โดยใช้แบบจำลอง IQQM ในการ simulatedflow และ การสกัดพื้นที่ชลประทานสำคัญ และใช้แบบจำลอง ISIS ในการ generated water level

Puwadon *et al.* (2010) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการทำนายปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ agricultural watershed in central Thailand ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการจำลองปริมาณการไหลของน้ำท่ารายเดือนด้วย R^2 และ NSE ได้ในค่าที่สูงโดยภาพรวมผลการทำนายอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือน

Raneesh *et al.* (2010) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ทำการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองในการคาดการณ์ปริมาณการไหล อัตราการนำพาตะกอน และวงจรสารอาหารของลุ่มน้ำที่ Chaliyar ใน Kerala, India โดยใช้ข้อมูลปี 1995-2001 ในการสอบเทียบส่วนข้อมูลปี 2002-2004 ใช้สำหรับตรวจพิสูจน์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นประสิทธิภาพแบบจำลองที่มีความสมารถในการจำลองปริมาณการไหลของน้ำท่า อัตราการนำพาตะกอน และวงจรสารอาหารของลุ่มน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการจัดการการกัดเซาะ ความสกปรกของลุ่มน้ำ

Reungsang *et al.* (2010) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการทำนายปริมาณน้ำท่าที่ Chi River Subbasin II located in northeastern Thailand ใช้ข้อมูลตรวจวัดน้ำท่า 4 สถานิเป็นข้อมูลของปีค.ศ. 2000 ถึงปี ค.ศ. 2003 ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยใช้ coefficient of determination (R^2) และ Nash Sutcliffe efficiency (NSE) ประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง ผลการศึกษา พบว่า แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการทำนายปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำด้วยผลของ R^2 และ NSE ในค่าที่ดี

Thampi *et al.* (2010) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยวิธีการใช้ขนาดพื้นลุ่มน้ำที่แตกต่างกันระหว่าง 2,361.58 ตร.กม. และ 1,013.15 ตร.กม.พื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำ Chaliyar river basin in Kerala, India โดยใช้ coefficient of determination (R^2) และ Nash Sutcliffe

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

efficiency (NSE) ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำที่ขนาดเล็กกว่าได้ค่าความถูกต้องมากกว่าพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

Fadil *et al*. (2011) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณการไหลของน้ำท่ารายเดือนและพิสูจน์สมดุลน้ำสู่เขื่อน พื้นที่ศึกษาคือ Bouregregwatershed on North central of Morocco โดยใช้ข้อมูลปี 1989-1997 สอบเทียบแบบจำลอง ส่วนข้อมูลช่วงปี 1998-2005 สำหรับตรวจพิสูจน์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการจำลอง สำหรับผลของการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์ที่ได้ และแบบจำลองมีความสอดคล้องกันดีระหว่างค่าของการเลียนแบบ และค่าของการเฝ้าสังเกตแบบรายเดือนโดยได้ค่าของการประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ที่ R^2 และ NSE เท่ากับ 0.8 ส่วนผลองค์ประกอบของสมดุลน้ำเข้าสู่เขื่อนนั้นได้อย่างถูกต้อง

Ayana *et al*. (2012) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ในการทำนายอัตราการนำพาตะกอนพื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำ Fincha ประเทศ Ethiopia โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดน้ำท่า ปี 1987-1996 ในการสอบเทียบและใช้ข้อมูล 1997-2006 สำหลับตรวจพิสูจน์ผลของแบบจำลอง ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย coefficient of determination (R^2) และ Nash Sutcliffe efficiency (NSE) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการทำนายอัตราการนำพาตะกอนของลุ่มน้ำ Fincha ด้วยผลของ R^2 และ NSE ในค่าที่ดี

Celine and James (2013) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณการไหลของน้ำท่าที่ Meenachil river basin in Kerala, India โดยใช้ข้อมูลของการเฝ้าสังเกตของสามสถานีในการสอบเทียบและสำหลับตรวจพิสูจน์ และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยการใช้ coefficient of determination (R^2) และ Nash Sutcliffe efficiency (NSE) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการจำลองปริมาณการไหลของน้ำท่าที่ Meenachil river basin ด้วย R^2 และ NSE ได้ในค่าที่สูง

โอฬาร (2548) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยกำหนดกรณีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันอีก 3 กรณี คือกรณีพื้นที่ป่าเพิ่มขึ้น กรณีพื้นที่การเกษตรเพิ่มขึ้นและกรณีพื้นที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นโดยผลจากการใช้แบบจำลองพบว่าปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าการตรวจวัดในขนาดที่ยอมรับได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุวิทย์ และสุภักดิ์ (2556) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ร่วมกับแบบจำลอง CA-Markov เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตที่ลุ่มน้ำห้วยตุงลุง จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2543 และ 2551 ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2543 และ 2551 จากผลการศึกษาพบว่าประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณน้ำท่า

Netnapa and Pongthep (2013) ได้ใช้แบบจำลอง ArcSWAT2009 จำลองปริมาณการไหลของน้ำท่า พื้นที่ศึกษาคือ Upper Lam Takong, a part of the Moolbasin in Northeastern region of Thailand ขนาดพื้นลุ่มน้ำ 581 ตร.กม.โดยใช้ข้อมูลการเฝ้าสังเกตช่วงปี 2007-2008 สอบเทียบ ส่วนข้อมูล 2009 ใช้สำหรับตรวจพิสูจน์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับการจำลองปริมาณการไหลของน้ำท่าแบบรายเดือนด้วย R^2 และ NSE เท่ากับ 0.86 และ 0.85 สำหรับ calibration ส่วน validation เท่ากับ 0.92 และ 0.63 โดยแบบจำลอง SWAT สมารถใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการทรัพยกรของลุ่มน้ำ

SWAT เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการไหลของน้ำท่า ในสภาพลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนทางด้านอุทกวิทยาได้ดีจึ่งถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในลุ่มน้ำต่างๆ และสำหรับการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการนำใช้แบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์บัญชีน้ำซึ่งปัจจุบันก่อได้มีการนำใช้แบบจำลองอุทกวิทยาเป็นเคื่องมือสำหรับการวิเคราะห์บัญชีน้ำกันอย่างแผ่หลายแต่จะใช้แบบจำลองในประเภทลัมพ์ (lumpedparameter model) แต่สำหรับแบบจำลองประเภทการกระจายพารามิเตอร์ (distributed-parameter model) นั้นถือว่าเป็นเรื่องที่ใหม่ และยังไม่มีการนำแบบจำลองประเภทนี้มาใช้ในการวิเคราะห์บัญชีน้ำด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยขอถือโอกาสที่จะนำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับการจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดน สปป ลาว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

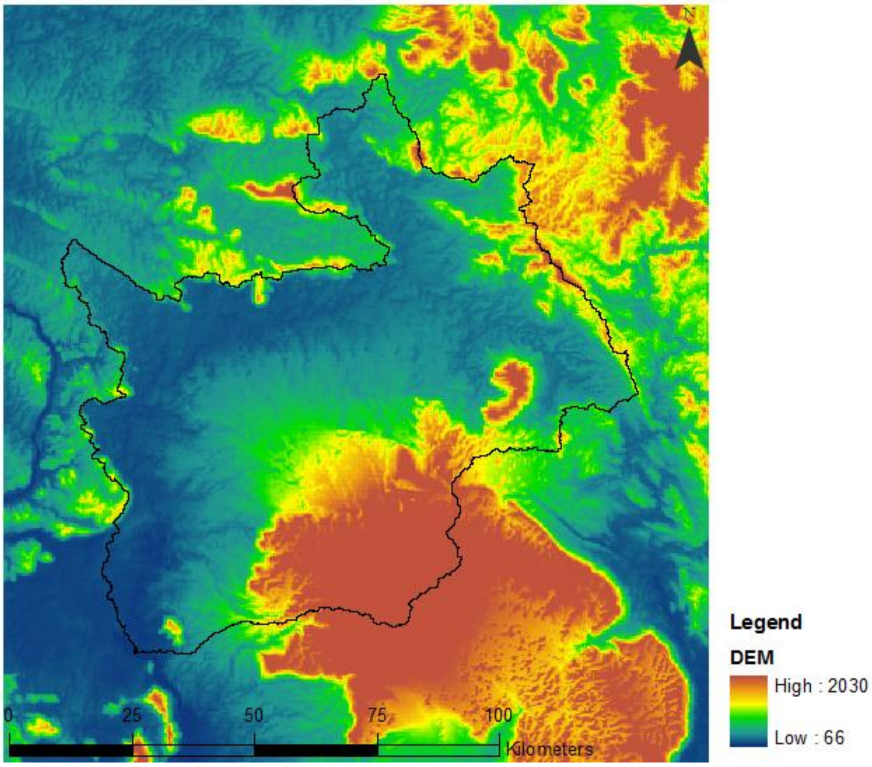
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

ข้อมูลที่ใช้

1. DEM (digital elevation model)

DEM (digital elevation model) คือแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขชนิดแรสเตอร์ เป็นข้อมูลที่ได้จากกรมแผนที่ของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวโดยขนาดของพื้นที่ถูกกำหนดด้วย pixel ซึ่งมีขนาด 50x50 ม. ระบบอ้างอิงทางภูมิศาสตร์คือ WGS 1984 UTM Zone 48N (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้สร้างแบบจำลอง SWAT โดยใช้ในการจำลองสภาพทางกายภาพโดยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำจากแบบจำลองเช่น ความลาดชันของพื้นที่ ขอบเขตสันปันน้ำ เพื่อกำหนดพื้นที่รับน้ำ เป็นต้น



ภาพที่ 4 Digital elevation model ของลุ่มน้ำเซโดน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

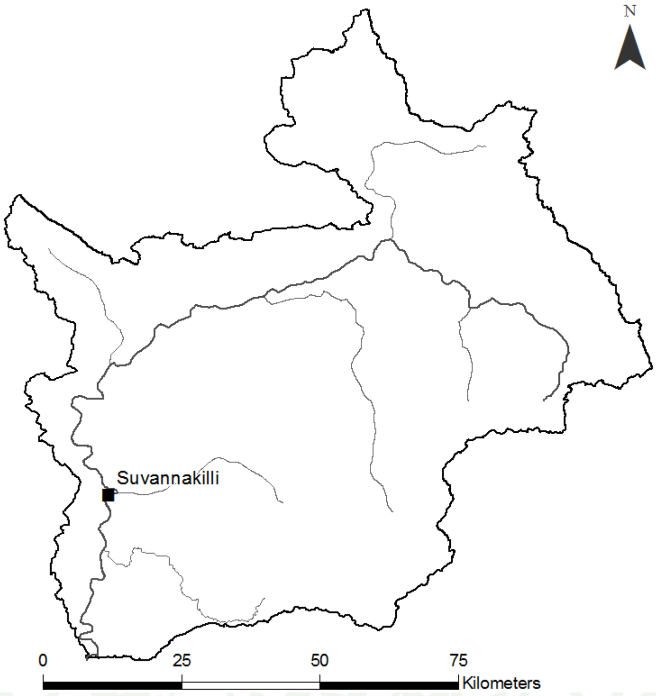
2. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (climate data)

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศเป็นข้อมูลที่เก็บบันทึกเป็นตัวเลขชนิดรายวัน (daily) เริ่มต้นปี ค.ศ. 1996 ถึงปี ค.ศ. 2010 โดยรวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของ สปป ลาว ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (precipitation) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) อุณหภูมิ (temperature) ความเร็วลม (wind speed) รังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) ได้จากสถานีตรวจอากาศ 4 สถานี คือสถานีเมืองปากเซ สถานีปากช่อง สถานีเมืองสาละวัน และสถานีเมืองคงเซโดนที่กระจายอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน โดยก่อนหน้าที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ และจัดเตรียมไฟล์นั้นควรต้องมีการตรวจสอบข้อมูลก่อนการนำเข้าแบบจำลอง เป็นข้อมูลที่สำคัญมากสำหรับแบบจำลอง SWAT ที่ใช้ในการจำลองความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่าในลุ่มน้ำเซโดน

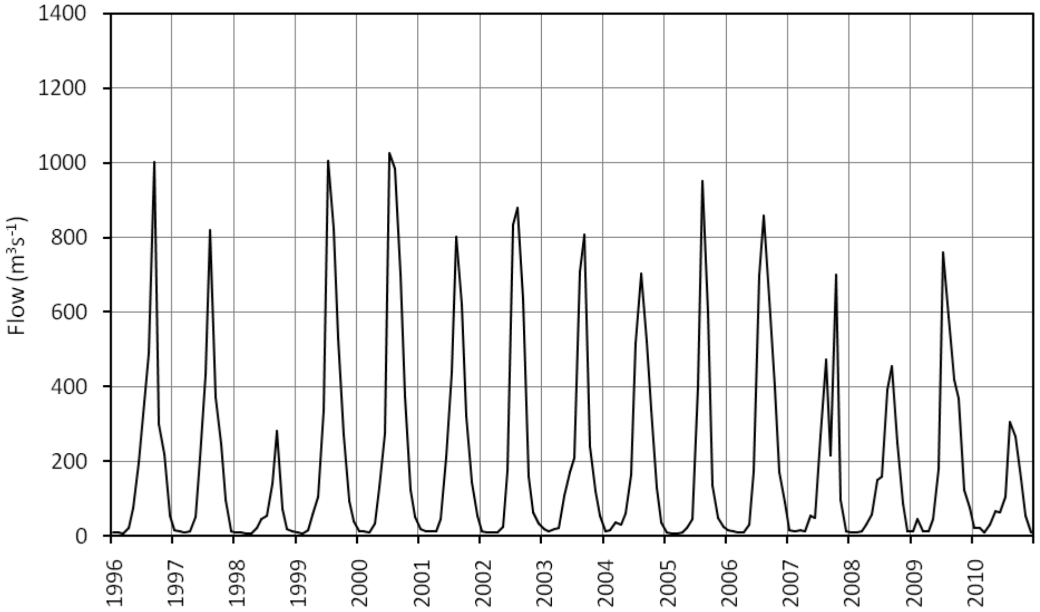
3. ข้อมูลปริมาณน้ำท่า (observed runoff)

ข้อมูลปริมาณน้ำท่า (observed runoff) ของลุ่มน้ำมีความความจำกัดอย่างมาก โดยลุ่มน้ำเองมีสถานีเดียวคือสถานีสุวันนะคีลี (Suvannakilli) ที่ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด15°23′00″ เหนือ และลองจิจูด 105°49′ 00″ ตะวันออก (ภาพที่5) โดยเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบรายวัน และต่อเนื่องแบบอนุกรมเวลา (time series) ข้อมูลวันที่ 1 เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 1997 ถึง วันที่ 31 เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 รวมระยะเวลา 15 ปี (ภาพที่ 6) โดยรวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของ สปป ลาว จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าพบว่าลุ่มน้ำเซโดน โดยมีอัตราการไหลสูงสุดอยู่ที่ 1,200 ลบ.ม.ต่อวินาที และต่ำสุดอยู่ที่ 8 ลบ.ม.ต่อวินาที ซึ่งข้อมูลการตรจดวัด (observed) จะถูกนำใช้สำหรับการประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง ของแต่ละกรณีศึกษาด้วยสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ Coefficient of determination (R^2) and Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) กับค่าของการจำลอง (simulate) ที่ได้โดยผลของแบบจำลอง SWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดน้ำท่าของสถานี Suvannakilli ในลำน้ำเซโดน

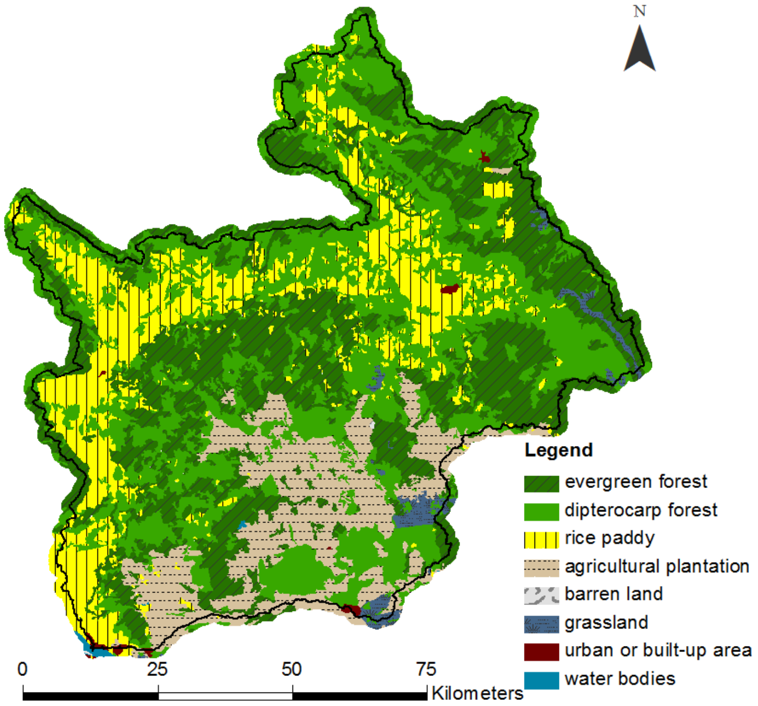


ภาพที่ 6 ปริมาณการไหลเฉลี่ยรายเดือนของสถานี Suvannakilli ช่วงปี 1996 ถึง 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land-use data)

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land-use data) เป็นข้อมูลของปี ค.ศ. 2008 โดยได้จากกระทรวงเกษตรและป่าไม้ของ สปป ลาว (ภาพที่ 7) ซึ่งส่วนใหญ่ 70% ของลุ่มน้ำทั้งหมดเป็นพื้นที่ป่าไม้ เป็นพื้นที่เกษตรกรรมประมาณ 30% โดยการประโยชน์ที่ดินประกอบด้วย ป่าโคก (dipterocarp forest) มีพื้นที่ประมาณ 2,679 ตร.กม. ประมาณ 37% ป่าดิบแล้ง (evergreen forest) ประมาณ 2,267 ตร.กม. ประมาณ 31% พื้นที่นา (rice paddy) ประมาณ 1,248 ตร.กม. ประมาณ 17% พื้นที่เกษตร (agricultural plantation) ประมาณ 911 ตร.กม. ประมาณ 13% และพื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ พื้นที่โล่งและหิน (barren land) พื้นที่ทุ่งหญ้า (grassland) พื้นที่ปลูกสร้าง (urban or built-up area) พื้นที่น้ำ (water bodies) รวมกันมีประมาณ 2% เท่านั้น โดยเป็นข้อมูลที่ต้องใช้ร่วมกับของมูลดินเพื่อให้แบบจำลองกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ซึ่งกำหนดลักษณะการใช้ที่ดินตามรหัสของแบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าของลุ่มน้ำเซโดน



ภาพที่ 7 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำเซโดน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

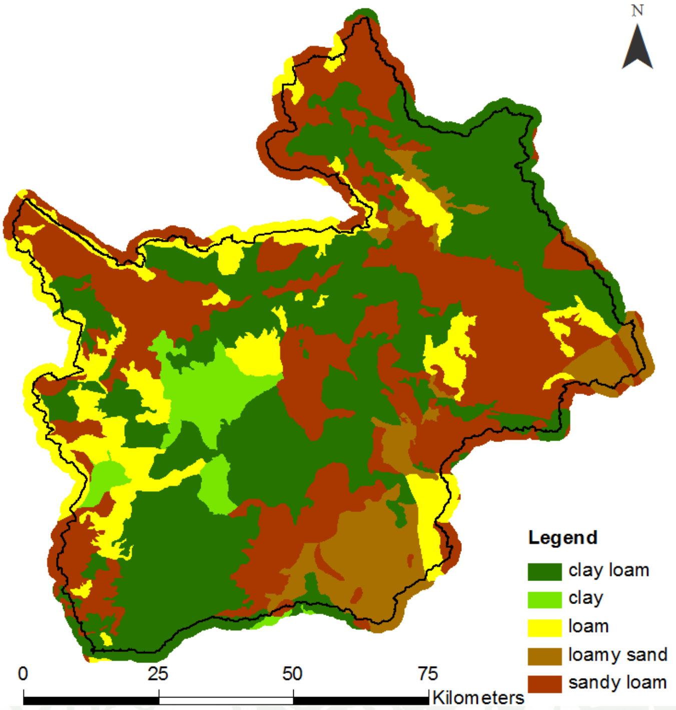
5. ข้อมูลดิน (soil data)

ข้อมูลดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้โดยได้จากกระทรวงเกษตรและป่าไม้ของ สปป ลาว (ภาพที่ 8) ประกอบด้วย ดินร่วนเหนียว (clay loam) มีพื้นที่ 2,995 ตร.กม. ประมาณ 41% ดินร่วนปนทราย (sandy loam) มีพื้นที่ 2,447 ตร.กม. ประมาณ 40% ดินร่วน (loam) มีพื้นที่ 872 ตร.กม. ประมาณ 12% ดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) มีพื้นที่ 577 ตร.กม. ประมาณ 8% และ ดินเหนียว (clay) มีพื้นที่ 324 ตร.กม. ประมาณ 4% และจาก Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 1997) and Major Soils of the world (FAO, 2002) ซึ่งมีรายละเอียดคุณสมบัติทางกายภาพของดินได้แก่ ร้อยละของเนื้อดิน (soil texture) ความลึกดินแต่ละชั้น (soil dept) ค่าศักย์ของการนำน้ำในดิน (saturated hydraulic conductivity: Ksat) ค่าความหนาแน่นของดิน (soil bulk density: BD) ค่า AWC (available water capacity) (ตารางที่ 1) เป็นข้อมูลหลักในการคำนวณสมบัติทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง SWAT

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพดิน

No.	Soil name	layer	Depth (mm)	Texture (%)			Soil physical properties		
				Sand	Silt	Clay	AWC (mm/mm)	BD (g/cm3)	Ksat (mm/h)
1	loam	1	200	40.5	34.3	25.2	0.12	1.8	65.4
		2	415	35.3	33.2	31.4	0.11	0.8	60.7
		3	825	32.5	38.2	30.3	0.13	0.5	55.3
		4	1525	34.2	36.3	29.5	0.12	0.3	45.8
2	clay loam	1	178	4.3	45.5	50.2	0.13	1.4	8.5
		2	432	6.2	35.3	58.5	0.20	0.8	5.8
		3	534	10.4	30.2	60.4	0.22	0.5	4.1
		4	1650	5.3	39.5	55.2	0.25	0.3	3.2
3	Loamy sand	1	200	58.2	27.3	10.5	0.12	1.5	68.5
		2	460	60.4	26.2	13.4	0.12	0.5	64.8
		3	760	59.2	31.2	9.6	0.10	0.3	69.2
		4	1830	61.2	25.5	13.2	0.10	0.1	65.9
4	sandy loam	1	100	50.4	26.2	23.4	0.13	2.1	60.1
		2	155	45.2	27.2	29.6	0.12	1.4	55.3
		3	660	42.2	30.5	27.3	0.10	1.1	53.3
		4	1780	50.1	29.6	19.3	0.12	0.2	58.7
5	clay	1	180	11.3	26.2	62.5	0.20	1.5	5.8
		2	915	7.4	27.4	65.2	0.2 2	0.6	4.7
		3	1170	8.5	18.3	75.2	0.18	0.2	3.5
		4	1570	10.2	19.6	70.2	0.13	1.32	4.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 แผนที่ชุดดินของลุ่มน้ำเซโดน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เครื่องมือและทฤษฎี

1. แบบจำลอง SWAT

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยา ซึ่งสามารถใช้ทำงานร่วมกับข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Arnold *et al*., 1998) โดย SWAT เป็นแบบจำลองประเภท continuous-time basin-scale hydrologic model ซึ่งมีความสามารถในการจำลองแบบที่มีความซับซ้อน ทั้งทางด้านอุทกวิทยา (hydrology) ยาฆ่าแมลง (pesticide) วงจรสารอาหาร (nutrient cycling) การกัดเซาะและการเคลื่อนย้ายตะกอน (erosion and sediment transport) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นประเภท river basin scale model (Arnold and Fohrer, 2005; Behera and Panda, 2006; Gassman *et al*., 2007) โดยได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบในเชิงปริมาณของการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่พื้นและซับซ้อน ซึ่งทำขึ้นโดย Agricultural Research Service ที่ Grassland Soil and Water Research Laboratory สหรัฐอเมริกา (Neitsch *et al*., 2005) เป็นแบบจำลองที่เป็นสาธารณสิทธิ์ (public domain model) แบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลที่สำคัญ เช่นข้อมูลประเภทดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำ โดยแบบจำลองจะทำการคำนวณปริมาณการไหลจาก HRUs ของ watershed และ sub-watershed ตามลำดับ

แบบจำลอง SWAT การทำงานออกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนพื้นดิน (land phase) และส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (routing phase) ซึ่งการศึกษานี้ได้พิจารณาเฉพาะส่วนพื้นดินเท่านั้น

ส่วนพื้นดิน (land phase) จะเป็นการศึกษาวงจรอุทกวิทยา เพื่อประเมินหาปริมาณน้ำท่า การวิเคราะห์ของส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำจะคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำตลอดทั้งโครงข่ายระบบลำน้ำของลุ่มน้ำ ซึ่งในบทความนี้ได้พิจารณาเฉพาะส่วนพื้นดินเท่านั้น ซึ่งใช้สมการสมดุลน้ำ มาพิจารณากระบวนทางอุทกวิทยา ขั้นตอนการจำลองกระบวนการของ วงจรอุทกวิทยา จะกำหนดให้ปริมาณฝนที่จะตกลงสู่พื้นดินถูกพืชกักไว้เป็นบางส่วนปริมาณฝนส่วนที่เหลือจะไหลซึม ลงสู่ผิวดินเหลือขังอยู่ตามผิวดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำ จนกระทั่งอยู่ในลำน้ำ กลายเป็นน้ำท่า สำหรับปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่ดินส่วนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ในเนื้อดินซึ่งต่อมาจะระเหยคืนสู่บรรยากาศโดยพืช และอีกส่วนหนึ่งจะไหลซึมต่อลงไปยังชั้นน้ำใต้ดิน กลายเป็นน้ำใต้ดิน ซึ่งจะไหลกลับลงสู่แม่น้ำ เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งด้วยการไหลไปทางด้านข้างของน้ำใต้ดิน ซึ่งใช้สมการสมดุลน้ำ มาพิจารณากระบวนทางอุทกวิทยา ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \tag{14}$$

เมื่อ SW_t คือ ปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (mm)

SW_0 คือ ปริมาณน้ำในดินเริ่มต้น (mm)

t คือ เวลา (days)

R_{day} คือ ปริมาณฝนในวันที่ i (mm)

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดินในวันที่ i (mm)

E_a คือ ปริมาณการคายระเหยในวันที่ i (mm)

W_{seep} คือ ปริมาณน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดินในวันที่ i (mm)

Q_{gw} คือ ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i (mm)

น้ำท่าผิวดินเกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลเข้าของน้ำในพื้นที่รับน้ำสู่พื้นดินมีอัตราเกินกว่าอัตราการซึม โดยอัตราการซึมจะเริ่มลดลงเมื่อ ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำที่เข้าสูงกว่าอัตราการซึมมาก จะเกิดการดักที่ผิวดินและเมื่อเต็มพื้นที่เก็บกักของการดักที่ผิวดินแล้ว น้ำที่ไหลต่อมาจะเป็นน้ำท่าผิวดิน ในแบบจำลอง SWAT สามารถเลือกคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดินและอัตรากรไหลของน้ำท่าสูงสุดได้ 2 วิธี ได้แก่ (USDA Soil Conservation Service 1972) และวิธี Green &Ampt infiltration (Green and Ampt, 1911) การคำนวณปริมาณของน้ำท่าผิวดินโดยใช้ข้อมูล น้ำฝนรายวัน โดยในการศึกษานี้ได้ ประเมินน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) โดย ใช้วิธี SCS Curve Number เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แสดงดังสมการ ดังนี้

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \tag{15}$$

เมื่อ Q_{surf} คือ ปริมานน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (m^3/s)

R_{day} คือ ปริมาณน้ำฝนรายวัน (mm)

S คือ Retention parameter (mm)

I_a คือ Initial abstrction (mm)

โดยตัวแปร S จะมีความสัมพันธ์กับค่า Curve number (CN) ดังสมการนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \tag{16}$$

เมื่อ CN คือ ค่า Curve number, The initial abstraction $I_a = 0.2S$ ด้วยเหตุนี้ Curve number (CN) ดังสมการนี้

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)} \tag{17}$$

ปริมาณน้ำเกิดขึ้นเมื่อ $R_{day} > I_a$

2. SCS Curver number

SCS Curver number มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในดิน ลักษณะการใช้ที่ดิน เงื่อนไขความชื้นในดินเริ่มต้น (Antecedent soil moisture conditions) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3กรณี คือ I – dry (wilting point), II – average moisture and III – wet (field capacity) โดยค่า CN ที่มีเป็นค่าของ average moisture เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องปรับแก้ค่า CN ให้เป็นกรณี dry (wilting point) และ wet (field capacity) ตามเงื่อนไขความชื้นในดินก่อนหน้าที่คำนวณได้ โดยใช้สมการดังนี้

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20(100 - CN_2)}{(100 - CN_2 + \exp[2.533 - 0.0636(100 - CN_2)])} \tag{18}$$

$$CN_3 = CN_2 \times \exp\left[0.00673(100 - CN_2)\right] \tag{19}$$

เมื่อ CN_1 คือ Soil moisture condition I

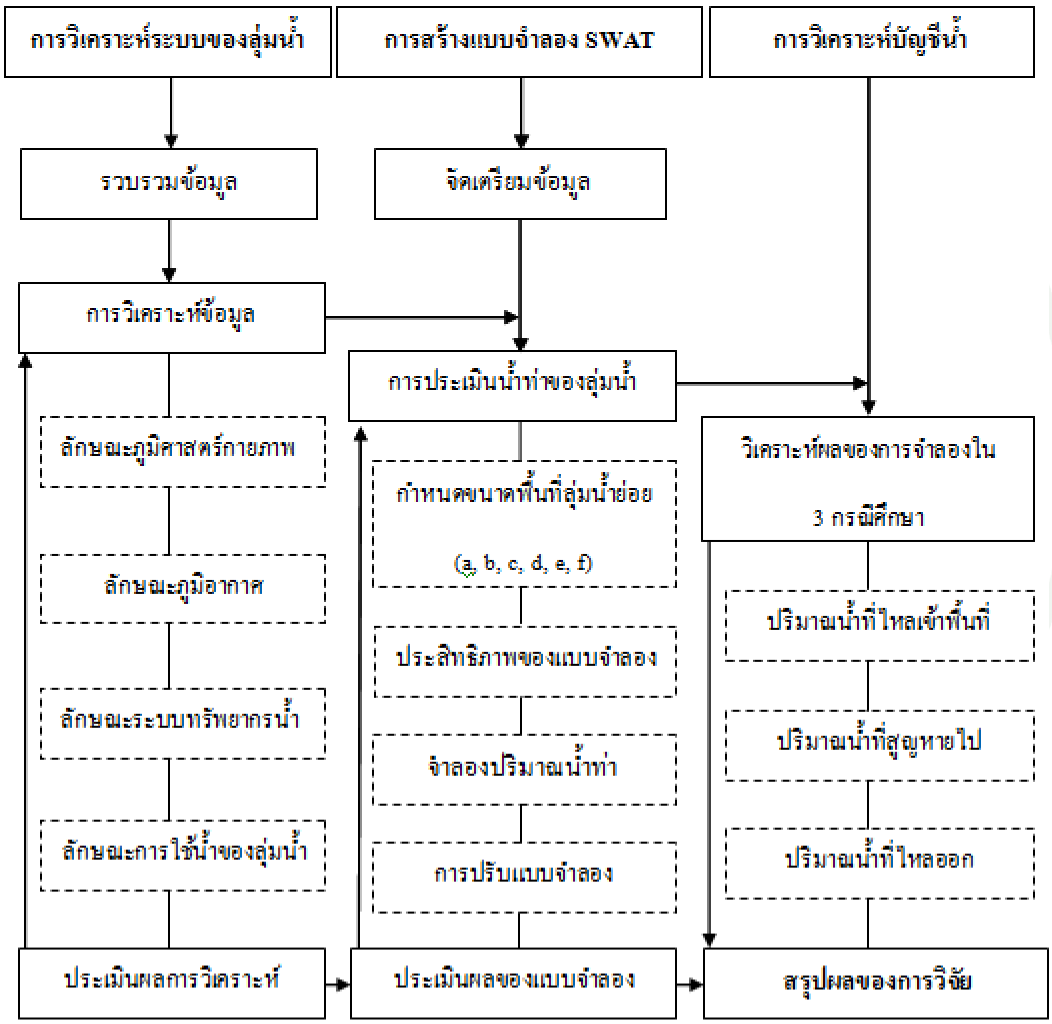
CN_2 คือ Soil moisture condition II

CN_3 คือ Soil moisture condition III

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

สำหรับงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำทั้งระบบของลุ่มน้ำเซโดน 2) การจำลองระบบลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT สำหรับการประเมินน้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน 3) การวิเคราะห์สมดุลน้ำ และการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน ซึ่งรายละเอียดของแต่ละส่วน (ภาพที่ 9) มีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 9 ขั้นตอนสำหรับงานวิจัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. การวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำทั้งระบบของลุ่มน้ำเซโดน

การวิเคราะห์ระบบของลุ่มน้ำ (system analysis) เป็นการศึกษาถึงโครงสร้างของลุ่มน้ำ นับได้ว่าเป็นขั้นตอนแรกของการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจในระบบของลุ่มน้ำที่กำลังศึกษาอยู่ โดยการรวบรวมข้อมูลและผลการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ลักษณะภูมิศาสตร์กายภาพ ลักษณะภูมิอากาศ ระบบทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำ ความต้องการใช้ บทบาทขององค์กร และความสัมพันธ์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ลักษณะภูมิศาสตร์กายภาพของลุ่มน้ำ

- ศึกษาและการรวบรวมข้อมูลผลการศึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึง การนำ GIS มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของลุ่มน้ำ

- วิเคราะห์ลักษณะภูมิศาสตร์กายภาพของลุ่มน้ำ โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ ขนาดขอบเขตลุ่มน้ำ ระดับความสูงของลุ่มน้ำ ลำน้ำสายหลัก ลำน้ำสาขา การใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

- ศึกษาและจัดเตรียมข้อมูลลักษณะภูมิอากาศ (climate data) ของสถานีตรวจอากาศของจังหวัดเซกอง จังหวัดสาละวัน และจังหวัดจำปาสัก ได้แก่ ฝน อุณหภูมิ ที่ควบคุมในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

- วิเคราะห์ข้อมูล เปรียบเทียบลักษณะภูมิอากาศในรูปของค่าเฉลี่ย ของแต่ละสถานีตรวจอากาศที่ใช้ในลุ่มน้ำ

1.3 ลักษณะระบบทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำ

- ศึกษาและจัดเตรียมข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานได้แก่ พื้นที่ต้นน้ำลำน้ำเซโดนและลำน้ำสาขาที่สำคัญ และข้อมูลปริมาณน้ำท่า (observed runoff) จากสถานีตรวจวัดในลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- วิเคราะห์ระบบลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี และลักษณะการไหล อัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุดในลำน้ำเซโดน

1.4 ลักษณะการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

- ศึกษาข้อมูลจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ ตัวเลขของจำนวนนักท่องเที่ยว ภาคส่วนของโรงงานอุตสาหกรรม การสร้างเขื่อน พื้นที่ชลประทานโดยการศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

- วิเคราะห์ ลักษณะการใช้น้ำในกิจกรมต่างๆ เช่น การใช้น้ำประปาจากลำน้ำ เพื่ออุปโภค-บริโภค การใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรมในลำน้ำเซโดน

1.5 บทบาทขององค์กร และความสัมพันธ์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการน้ำ

- ศึกษาข้อมูลจากเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการลุ่มน้ำ เช่น ดำรัสการจัดตั้งปฏิบัติกฎหมายน้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การจำลองระบบลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT สำหรับการประเมินน้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ

การประเมินปริมาณน้ำท่าของแบบจำลอง SWAT มีกระบวนการของการนำเข้าข้อมูลอยู่สองรูปแบบคือ การนำเข้าข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่แบบ (grid) และการนำเข้าข้อมูลที่เป็นตาราง (dbf) โดยมีขั้นตอนหลักๆในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

2.1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed delineation)

- เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพโดยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำจากแบบจำลอง ซึ่งต้องนำเข้าข้อมูล DEM มาวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 10 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

- DEM setup เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพโดยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำจากแบบจำลองเช่น ความลาดชันของพื้นที่ ขอบเขตสันปันน้ำเพื่อกำหนดพื้นที่รับน้ำเป็นต้น และระบบอ้างอิงทางภูมิศาสตร์คือ WGS 1984 UTM Zone 48N

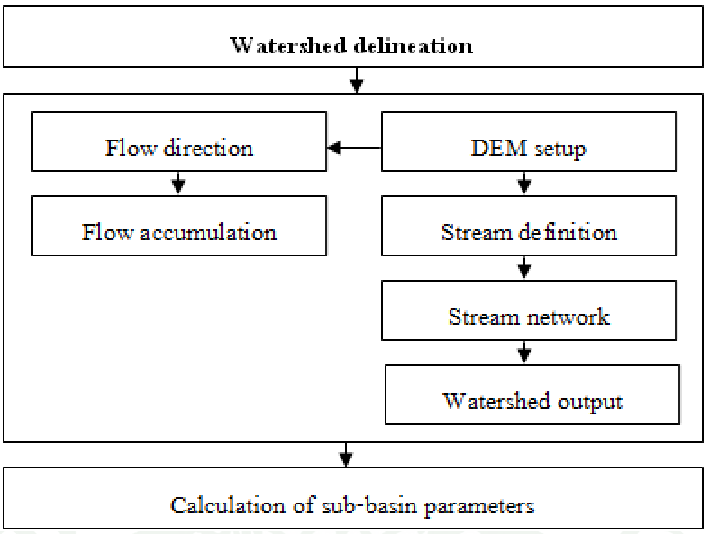
- การกำหนดเส้นทางน้ำ (stream definition) โปรแกรมจะประมวลผลข้อมูล DEM ประกอบด้วยการคำนวณทิศทางการไหล (flow direction) และการไหลสะสม (flow accumulation) ของน้ำสำหรับแต่ละกริต

- การกำหนดรายละเอียดโครงข่ายเส้นทางน้ำ (stream network) ซึ่งกำหนดขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยการตั้งค่า Threshold area จากขั้นตอนของการกำหนดเส้นทางน้ำ

- การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นการกำหนดจุดออก Outlet ของเส้นทางน้ำย่อยต่าง ๆ และการกำหนดจุดปลายสุดของลำน้ำของพื้นที่ศึกษา

- การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพื้นที่ลุ่มน้ำและเส้นลำน้ำ (calculation of sub-basin parameters) ได้แก่ ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความลาดชัน เส้นลำน้ำเป็นต้น

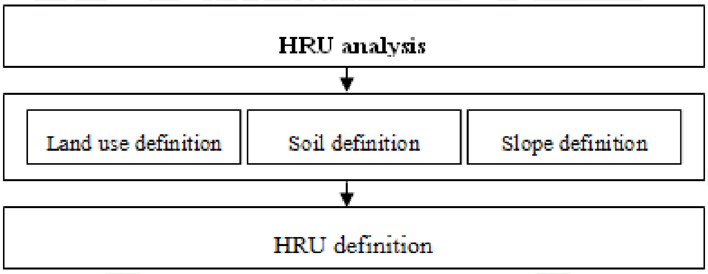
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ

2.2 การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU analysis)

เป็นการนำเข้าข้อมูลของสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพชนิดดิน ที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา สำหรับการศึกษานี้เลือกการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทิกวิทยาแบบ Multiple Hydrologic Response Units เป็นการกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยมีหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาที่สอดคล้องตามเปอร์เซนต์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดดิน ดังแสดงในภาพที่ 11



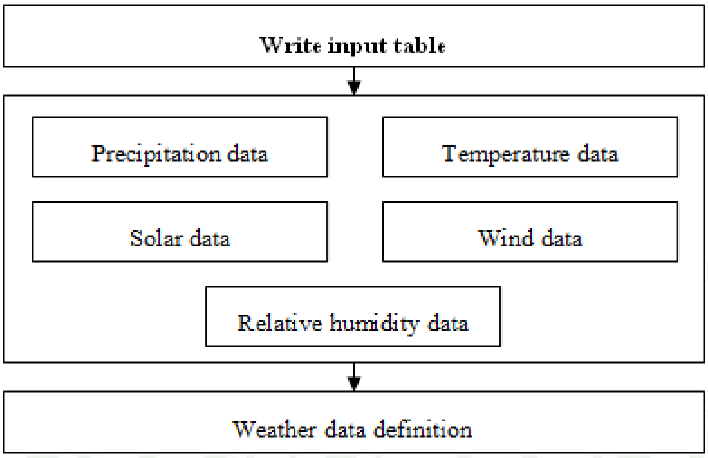
ภาพที่ 11 การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

2.3 นำเข้าข้อมูลตาราง (write input table)

การนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ คือข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย ฝน อุณหภูมิ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ จากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ปากเซ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปากช่อง คงเซโดน และสาละวัน โดยใช้ข้อมูลรายวันเริ่มต้น วันที่ 1 เดือนมกรคม ปี ค.ศ. 1996 ถึง วันที่ 31 เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 รวมระยะเวลา 15 ปี ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ขั้นตอนนำเข้าข้อมูลตาราง

2.4 การแก้ไขฐานข้อมูลนำเข้า (edit SWAT input)

การประยุกต์ใช้ในพื้นที่ศึกษา พารามิเตอร์บางอย่าง จึงต้องทำการเพิ่มเข้าไปในฐานข้อมูล ซึ่งในการศึกษานี้ได้เพิ่มรายละเอียดคุณสมบัติของชนิดดินตำแหน่งสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศให้ตอบสนองในพื้นที่ศึกษาลงไปในฐานข้อมูลของแบบจำลอง

2.5 การรันแบบจำลอง (SWAT simulation)

ขั้นตอนการสั่งให้มีการคำนวณค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่นำเข้าไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า เท่านั้น โดยประมวลผลเป็นรายวันเริ่มต้น วันที่ 1 เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 1997 ถึง วันที่ 31 เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 รวมระยะเวลา 14 ปี

2.6 การประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง (model performance)

เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลองโดยการพิจารณาความสอดคล้องกัน (goodness of fit) ของค่าจากผลการจำลองและค่าสังเกตที่ได้มีการบันทึกไว้ โดยการตรวจสอบกราฟที่พล๊อตเปรียบเทียบค่าทั้งสองโดยการคำนวณค่าความผิดพลาด (error) ระหว่างค่าจาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลอง และค่าสังเกตที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งใช้เกณฑ์การประเมินเชิงประสิทธิภาพ (efficiency criteria) เช่น สัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) (Nash and Sutcliffe, 1970)

Coefficient of determination (R^2) ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ หมายถึงสัดส่วนของค่าจากผลการจำลองและค่าสังเกตที่ได้มีการบันทึกไว้ โดย R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองเข้ากันได้มาก ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ตามนัยของนิยามนี้ ค่า R^2 สามารถคำนวณได้ดังสมการ ดังนี้

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \left[(Q_{obs} - \overline{Q}_{obs})(Q_{sim} - \overline{Q}_{sim}) \right]}{\left[\sum_{i=1}^{n} (Q_{obs} - \overline{Q}_{obs})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^{n} (Q_{sim} - \overline{Q}_{sim})^2 \right]^{0.5}} \right]^2 \qquad (20)$$

เมื่อ Q_{obs} คือ ค่าจากการวัด (observations)

$\overline{Q}_{obs}$ คือ ค่าเฉลี่ยค่าจากการวัด (observations)

Q_{sim} คือ ค่าจากแบบจำลอง (simulated)

$\overline{Q}_{sim}$ คือ ค่าเฉลี่ยค่าจากการวัด (simulated)

Nash and Sutcliffe efficiency (NSE) คือดรรชนีที่ใช้ในการบอกประสิทธิภาพของแบบจำลอง (model performance) โดยการประเมินผลการปรับเทียบของข้อมูลสองกลุ่ม เพื่อยอมรับข้อมูลทั้งสองกลุ่มเข้าด้วยกันได้และเป็นในแนวทางเดียวกัน ซึ่งมีสมการ ดังนี้

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^{n} (Q_{obs} - \overline{Q}_{obs})^2} \qquad (21)$$

เมื่อ Q_{obs} คือ ค่าจากการวัด (observations)

$\overline{Q}_{obs}$ คือ ค่าเฉลี่ยค่าจากการวัด (observations)

Q_{sim} คือ ค่าจากแบบจำลอง (simulated)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การวิเคราะห์สมดุลน้ำ และการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

การวิเคราะห์สมดุลน้ำ และการวิเคราะห์บัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดน จะพิจารณาผลจากแบบจำลอง SWAT เฉพาะข้อมูลความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าเท่านั้น โดยการจำลองพิจารณาเป็น 3 กรณีคือ 1) กรณีที่หนึ่งการใช้น้ำฝนอย่างเดียว (without irrigation) เป็นการวิเคราะห์บัญชีน้ำโดยใช้ผลที่ได้จาก แบบจำลองที่คำนวณค่าต่างๆ จากข้อมูลพื้นฐานที่นำเข้า ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในสภาพที่ไม่ได้มีการตั้งค่าให้แบบจำลองมีการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้ในพื้นที่ปลูกข้าว 2) กรณีที่สอง มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวตามสภาพปัจจุบัน (current irrigation) เป็นการวิเคราะห์บัญชีน้ำโดยใช้ผลที่ได้จากแบบจำลอง ด้วยการตั้งค่าให้แบบจำลองมีการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้เพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวในฤดูแล้ง โดยใช้ข้อมูลจากพื้นที่ชลประทานจริงของลุ่มน้ำเซโดน 3) กรณีที่สาม มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดน (full potential irrigation) เป็นการวิเคราะห์บัญชีน้ำจากผลของแบบจำลอง โดยให้แบบจำลองมีการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้เพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นการจำลองในสถานการณ์ที่มีการเพิ่มพื้นที่ชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดของลุ่มน้ำเซโดน

ผลจากการจำลองของแบบจำลอง SWAT นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์สมดุลน้ำแบบรายฤดูกาล และวิเคราะห์บัญชีน้ำ สำหรับการวิเคราะห์บัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดนเป็นการวิเคราะห์ผลเฉลี่ยรายปีของ 3 กรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์สมดุลน้ำ (water balance)

การวิเคราะห์สมดุลน้ำได้กำหนดหน่วยพิจารณา (domain) เป็นระดับลุ่มน้ำ โดยการวิเคราะห์สมดุลน้ำแบบรายเดือน รายฤดูกาล โดยการจำลองพิจารณาเป็น 3 กรณีในการวิเคราะห์ได้ทำการประเมินองค์ประกอบของบัญชีน้ำที่ละส่วนและจัดทำบัญชีน้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณน้ำฝน (rainfall) เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำที่ไหลเข้า (inflow) สู่หน่วยที่พิจารณา และส่วนปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ (outflow) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยของพืช (evapotranspiration) และปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำ (runoff) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ผลจากการประเมินปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง SWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

การจัดทำบัญชีน้ำครั้งนี้ได้กำหนดหน่วยพิจารณา (domain) เป็นระดับลุ่มน้ำ เป็นการวิเคราะห์ผลเฉลี่ยรายปีทั้งลุ่มน้ำ โดยการจำลองพิจารณาเป็น 3 กรณี และได้แบ่งการวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน เป็นสามส่วน ประกอบด้วย พื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน (upper sedone) พื้นที่ตอนกลาง (middle sedone) และพื้นที่ตอนล่าง (lower sedone) โดยการแบ่งพื้นที่ได้พิจารณาตามตำแหน่งเมืองที่มีประชากรอยู่อย่างหนาแน่น คือ เมืองสาละวัน เมืองคงเซโดน และเมืองปากเซ ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ได้ทำการประเมินองค์ประกอบของบัญชีน้ำที่ละส่วนและจัดทำบัญชีน้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณน้ำฝน (rainfall) เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำที่ไหลเข้า (inflow) สู่หน่วยที่พิจารณาการประเมินองค์ประกอบอย่างแม่นยำนับได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของการจัดทำบัญชีน้ำ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ผลจากการประเมินปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง

ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือการใช้น้ำของพืชโดยการคายระเหย (evapotranspiration) และการใช้น้ำของมนุษย์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การใช้น้ำของพืชจากการคายระเหยในลุ่มน้ำจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินประกอบด้วย น้ำที่สูญหายไปเพื่อก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ (processed depletion) และน้ำที่สูญหายไปที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามต้องการของมนุษย์ (non-processed depletion) โดยผลการประเมินของแบบจำลอง

- การใช้น้ำเพื่ออุปโภค บริโภคและอุตสาหกรรม ประเมินโดยการการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจาก สปป ลาว

ปริมาณการไหลในลำน้ำ (stremflow) เป็นปริมาณการไหลออกจากลำน้ำสู่จุดออกที่แม่น้ำโขง ซึ่งวิเคราะห์ผลที่ได้โดยการวิเคราะห์สมดุลน้ำของแบบจำลอง SWAT

ปริมาณน้ำเพื่อรักษาสมดุลนิเวศในลุ่มน้ำ ประเมินจากองค์การวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมของ สปป ลาว ได้กำหนดปริมาณน้ำต่ำสุดที่ 15 ลบ.ม.ต่อวินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยมีเป้าหมายที่จะประเมินสถานภาพทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำเซโดนด้วยแบบจำลองทาง SWAT การนำเสนอผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) การวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำทั้งระบบของลุ่มน้ำ 2) การจำลองระบบลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าของลุ่มน้ำ 3) การวิเคราะห์สมดุลน้ำ และการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

1. การวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำทั้งระบบของลุ่มน้ำ

ลุ่มน้ำเซโดนมีความสำคัญอย่างมากด้วยเป็นลุ่มน้ำที่ครอบคลุมพื้นที่ของเมืองปากช่อง หรือคนลาวเรียกว่า “แผ่นดินทอง” ด้วยลักษณะเฉพาะของภูมิประเทศของลุ่มน้ำที่มีความแตกต่างจากลุ่มน้ำอื่น ๆ โดยพื้นที่ของลุ่มน้ำส่วนใหญ่ อยู่ในเขต Boloven plateau ซึ่งเป็นเขตของปากปล่องภูเขาไฟจึงทำให้ลุ่มน้ำมีอุดมด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ ในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งทำให้พื้นทีมีความอุดมสมบูณ์ทั้งพื้นป่า และพืชเกษตรที่สำคัญ กาแฟที่มีชื่อเสียงอย่างมาก ซึ่งสามารถปลูกได้ในพื้นที่เดียว นอกจากนี้ยังมีพืชการเกษตรอื่น ๆ ที่มีคุณค่าต่อเศรษฐกิจอีกด้วย ประกอบกับลุ่มน้ำเซโดนมีแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่มีมากมาย อาทิ ท่องเที่ยวน้ำตกที่มีอย่างมากมาย การเที่ยวชมพันธ์ไม้ การท่องเที่ยวชมอากาศหนาว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของ สปป ลาว

การวิเคราะห์ระบบของลุ่มน้ำ เป็นการศึกษาถึงองค์ประกอบของลุ่มน้ำเซโดน นับได้ว่าเป็นขั้นตอนแรกของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจในระบบของลุ่มน้ำที่กำลังศึกษาอยู่นั้นมีลักษณะทางกายภาพขอบเขตของลุ่มน้ำอย่างไร และมีลักษณะสภาพภูมิประเทศสภาพภูมิอากาศระบบทรัพยากรน้ำ รวมไปถึงกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และโดยมนุษย์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปสถานภาพของลุ่มน้ำโดยรวมในการนำไปเพื่อเป็นข้อมูลที่จะไปประยุกต์ใช้ในแบบจำลองสำหรับการประเมินสถานภาพทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำเซโดนด้วยแบบจำลองทาง SWAT สำหรับการวางแผน และหาแนวทางในการจัดการลุ่มน้ำเซโดนให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1 ลักษณะภูมิศาสตร์กายภาพ

ลุ่มน้ำเซโดนตั้งอยู่ทิศใต้ของ สปป ลาว มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 7,217 ตร.กม. พื้นที่ของลุ่มน้ำครอบคลุมทั้งหมด 13 ตัวเมือง ประกอบไปด้วย 7 เมือง ของจังหวัดสาละวัน (เมืองสาละวัน ตะโอ้ย เลางาม คงเซโดน ตุ้มลาน วาปี และนะคอนเพง) มีพื้นที่ประมาณ 5,168 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 72 ของลุ่มน้ำ โดยมี 4 ตัวเมือง ของจังหวัดจำปาสัก (เมืองปากช่อง บาเจียง สะนะสมบูน และปากเซ) มีพื้นที่ประมาณ 1,356 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 18 และ 2 ตัวเมือง ของจังหวัดเซกอง (เมืองท่าแตง และละนาม) ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 693 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นทีลุ่มน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2

ภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำเซโดน พื้นส่วนใหญ่มีสภาพเป็นเทือกเขาสูงสลับซับซ้อน ปกคลุมด้วยป่าไม้ที่มีความสมบูรณ์ และมีที่ราบลุ่มตามริมน้ำเซโดนซึงเป็นแหล่งชุมชน ความลาดชัน ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (ภาพที่ 13) และตารางที่ 3 ลุ่มน้ำมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 700 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งมียอดเขาสูงสุดที่ 2,000 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (อยู่บริเวณเมืองปากช่อง จังหวัดจำปาสัก) และต่ำสุดที่ 100 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (อยู่บริเวณเมืองปากเซ จังหวัดจำปาสัก) โดยลักษณะสภาพพื้นที่ของลุ่มน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

- สภาพพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 500 – 2,000 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง พื้นที่ดังกล่าวส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยป่าธรรมชาติ ทุ่งหญ้า และมีเขตปลูกพืชไร่ พืชอุตสาหกรรมเป็นต้น กาแฟ และชา

- สภาพพื้นที่ราบลุ่ม 100 - 500 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง เป็นที่ตั้งของตัวเมือง และที่อยู่อาศัยของประชากร สภาพพื้นที่เหมาะในการผลิตเกษตรกรรม พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ปลูกข้าวนาน้ำขัง โดยมีลำน้ำเซโดนไหลผ่าน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค ของประชากร

ลักษณะลุ่มน้ำมีเปอร์เซ็นต์ความลาดชัน (slope) ที่ความแตกต่างกันออกไป โดยพื้นที่ประมาณ ร้อยละ 45 มีความชันน้อยละหว่าง (0-2%) พื้นที่ประมาณ ร้อยละ 29 มีความชันค่อนข้างน้อยละหว่าง (2-8%) พื้นที่ประมาณ ร้อยละ 8 คือความชันปานกลางละหว่าง (8-16%) พื้นที่ประมาณ ร้อยละ 8 เป็นความชันค่อนข้างมากละหว่าง (16-30%) และมีพื้นที่ประมาณ ร้อยละ 9 โดยความชันมากกว่า (>30%) ดังแสดงในภาพที่ 14 และตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 เนื้อที่ของแต่ละจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ลำดับ	**จังหวัด**	**พื้นที่ (ตร.กม.)**	**ร้อยละ**
1	จำปาสัก	5,168.00	71.60
2	สาละวัน	1,356.00	18.80
3	เซกอง	693.00	9.60
	รวม	**7,217.00**	**100.00**

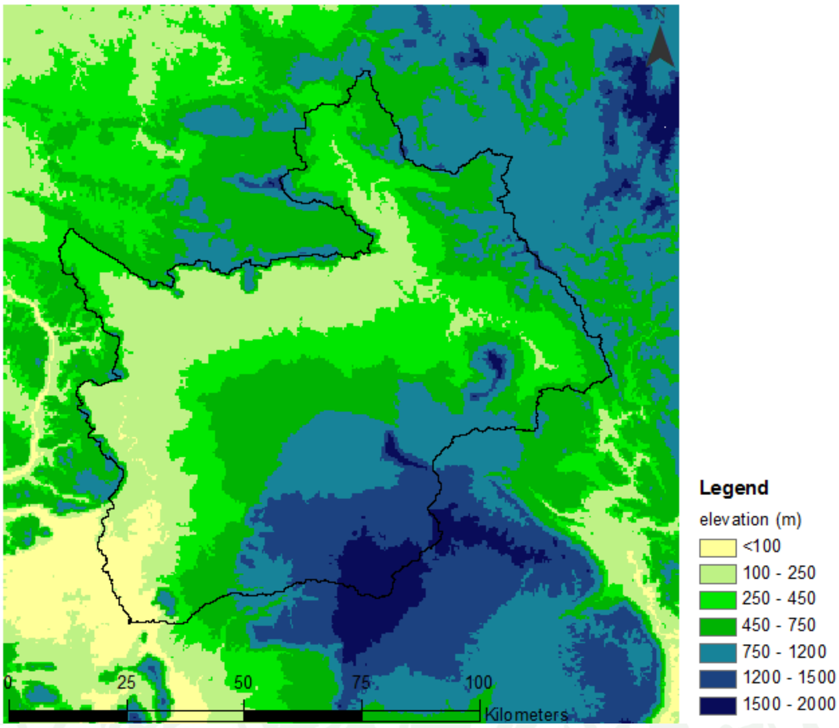
ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ลำดับ	**ลักษณะทางกายภาพ**	**หน่วย**	**ค่า**
1	พื้นที่ระบายน้ำ(watershed area)	ตร.กม.	7,217.00
2	เส้นรอบรูปขอบเขตลุ่มน้ำ (perimeter)	ก.ม.	752.30
3	ระดับสูงสุด (max. elevation)	ม.	2,000.00
4	ระดับต่ำสุด (min. elevation)	ม.	100.00
5	ความสูงเฉลี่ย (mean elevation)	ม.	700.00
6	ทิศด้านลาด (aspect)	-	ตะวันตก
7	รูปร่างของลุ่มน้ำ (shape)	-	trapezoid

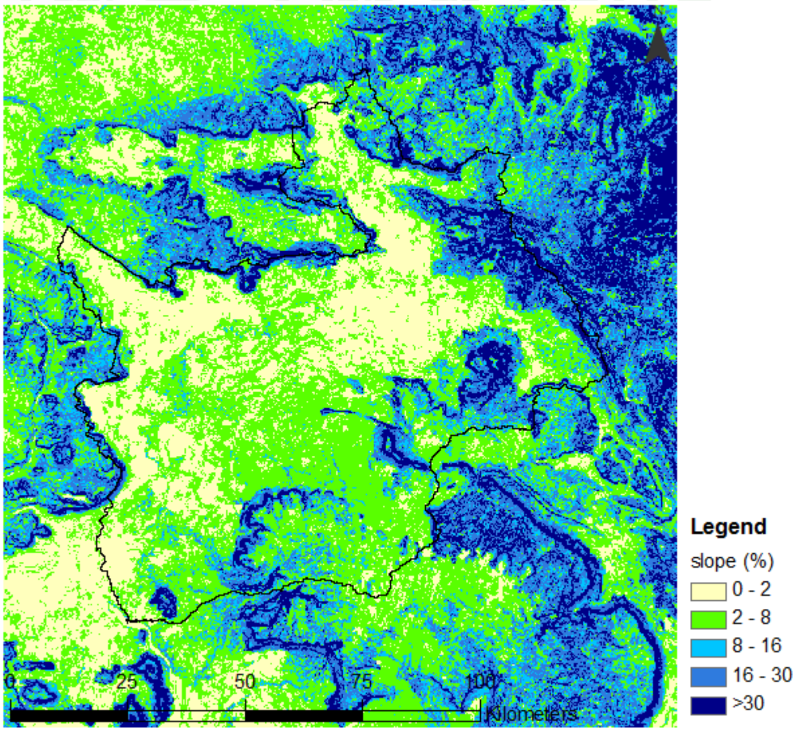
ตารางที่ 4 ระดับความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ลำดับ	**ระดับความลาดชัน**	**พื้นที่ (ตร.กม.)**	**ร้อยละ**
1	ความชันน้อย (0-2%)	3,261.45	45.19
2	ความชันค่อนข้างน้อย (2-8%)	2,097.42	29.06
3	ความชันปานกลาง (8-16%)	586.70	8.13
4	ความชันค่อนข้างมาก (16-30%)	607.40	8.42
5	ความชันมาก (>30%)	664.13	9.20
	รวม	**7,217.00**	**100.00**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 13 ลักษณะสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำเซโดน



ภาพที่ 14 ระดับความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำโดยทั่วไปร้อนชื้นฤดูฝนส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อนนอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชั่นซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ทำให้มีฝนตกชุกอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม ทำให้เกิดฤดูกาล 2 ฤดูอย่างชัดเจน ได้แก่ ฤดูฝนมีช่วงเวลาประมาณ 6 เดือน เริ่มแต่เดือนเมษายนถึงตุลาคมของปี และฤดูแล้งเริ่มแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคมของปี ในระยะนี้มีฝนตกน้อยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน และเดือนมกราคมมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด

ลุ่มน้ำเซโดนเป็นพื้นที่ที่มีสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ไม่มากหนัก ประกอบกับการเก็บรวบรวมข้อมูลของบางสถานีที่ไม่ต่อเนื่อง จึงเป็นพื้นที่ที่มีความจำกัดอย่างมาก สำหรับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากการศึกษาและรวบรวมแล้วลุ่มน้ำมีเพียง 4 สถานีตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อเนื่องแบบอนุกรมเวลา (time series) ดังแสดงในภาพที่ 15 และตารางที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของเมืองปากเซ สถานีเมืองปากซ่อง (ที่จังหวัดจำปาศัก) และสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศเมืองสาละวัน สถานีเมืองคงเซโดน (ที่จังหวัดสาละวัน) มีการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อเนื่องแบบรายวัน โดยเป็นข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 1996 ถึง วันที่ 31 เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 รวมระยะเวลา 15ปี

1.2.1 ปริมาณฝน

การวิเคราะห์ปริมาณฝนของลุ่มน้ำเป็นการสรุปรายปีจากข้อมูลของ 4 สถานี ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำ (ภาพที่ 16) พบว่า ลุ่มน้ำมีปริมาณฝนตกค่อนข้างมาก โดยปริมาณฝนของสถานีเมืองปากซ่องมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีที่สูงแตกต่างจากสถานีอื่น ๆ โดยฝนรายปีเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 2,130 ม.ม. ของปีค.ศ. 1998 และฝนรายปีสูงสุดอยู่ที่ 4,270 ม.ม. ของปีค.ศ. 2000 โดยในส่วนของฝนรายปีของสถานีเมืองปากเซ เมืองสาละวัน และเมืองคงเซโดน มีปริมาณที่ใก้เคียงกันที่ค่าประมาณ 2,000 ม.ม. ต่อปี

เมื่อพิจารณาข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนช่วงปี ค.ศ. 1996 ถึง 2010 ที่แสดงในภาพที่ 17 ภาพที่ 18 ภาพที่ 19 ภาพที่ 20 และตารางที่ 6 พบว่า ในช่วงฤดูฝนเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนมาก ซึ่งเดือนสิงหาคมมีปริมาณฝนตกมากที่สุดมีปริมาณมากกว่า 400 ม.ม.และช่วงที่มีฝนตกน้อยได้แก่เดือนมกราคมมีปริมาณต่ำสุดที่ 2 ม.ม. ของสถานีเมืองปากเซ เมืองสาละวัน เมืองคงเซโดน สำหรับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานีเมืองปากซ่องในเดือนสิงหาคมมีปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยมากกว่า 800 .ม.ม ส่วนช่วงที่มีฝนตกน้อยได้แก่เดือนมกราคมมีปริมาณต่ำสุดที่ 18 ม.ม.

1.2.2 อุณหภูมิ

ลุ่มน้ำเซโดนมีความแตกต่างกันอย่างมากของระดับภูมิประเทศ ที่มีระดับต่ำสุดอยู่ที่ 100 ม. จนถึงระดับสูงสุด 2,000ม. เมื่อพิจารณาข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน (ตารางที่ 7) พบว่าอุณหภูมิในพื้นที่ราบลุ่มของลุ่มน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 27°C ซึ่งมีสถานีเมืองปากเซ เมืองคงเซโดนและเมืองสาละวัน โดยเดือนมกราคมเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดอยู่ที่ 25°C และเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิสูงสุดที่อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 30°C ในส่วนพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 1,000-2,000ม. ซึ่งเป็นสถานีเมืองปากช่องมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 19°C โดยเดือนมกราคมเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดอยู่ที่ 17°C และเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิสูงสุดที่อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 20°C

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำเซโดน

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	พิกัด	
			ละติจูด	ลองติจูด
1	17040000	สถานีเมืองปากเซ	15° 17′ 00″	105° 47′ 00″
2	17052002	สถานีเมืองปากช่อง	15° 11′ 00″	106° 14′ 00″
3	15060000	สถานีเมืองสาละวัน	15° 43′00″	106° 27′ 00″
4	15072001	สถานีเมืองคงเซโดน	15° 34′00″	105° 38′ 00″

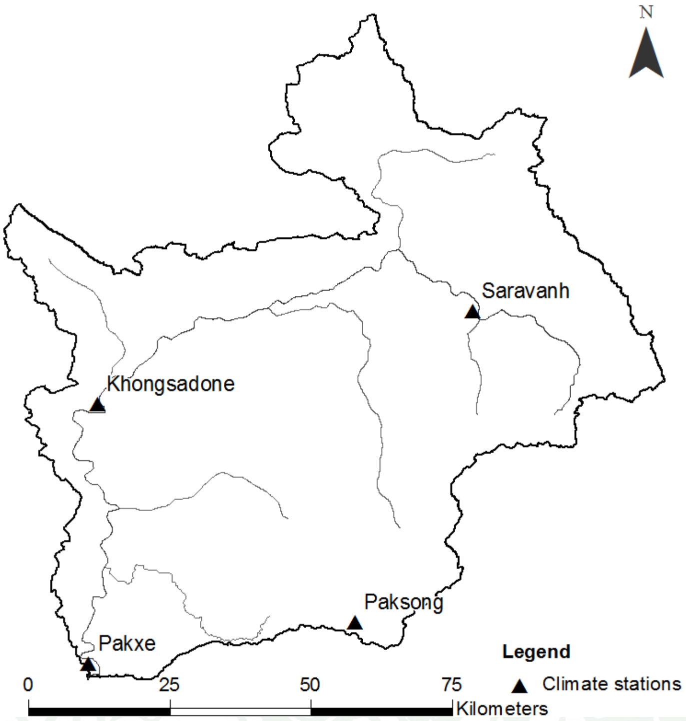
ตารางที่ 6 ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดในลุ่มน้ำเซโดน ช่วงปี 1996 ถึง 2010

ชื่อสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)												รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	(มม.)
ปากเซ	2	14	38	78	260	302	425	504	326	115	25	4	2,096
ปากช่อง	18	51	103	235	320	432	812	854	452	210	75	29	3,589
สาละวัน	2	15	32	70	221	254	414	485	319	113	20	3	1,950
คงเซโดน	2	13	31	68	215	239	402	465	316	104	15	2	1,880

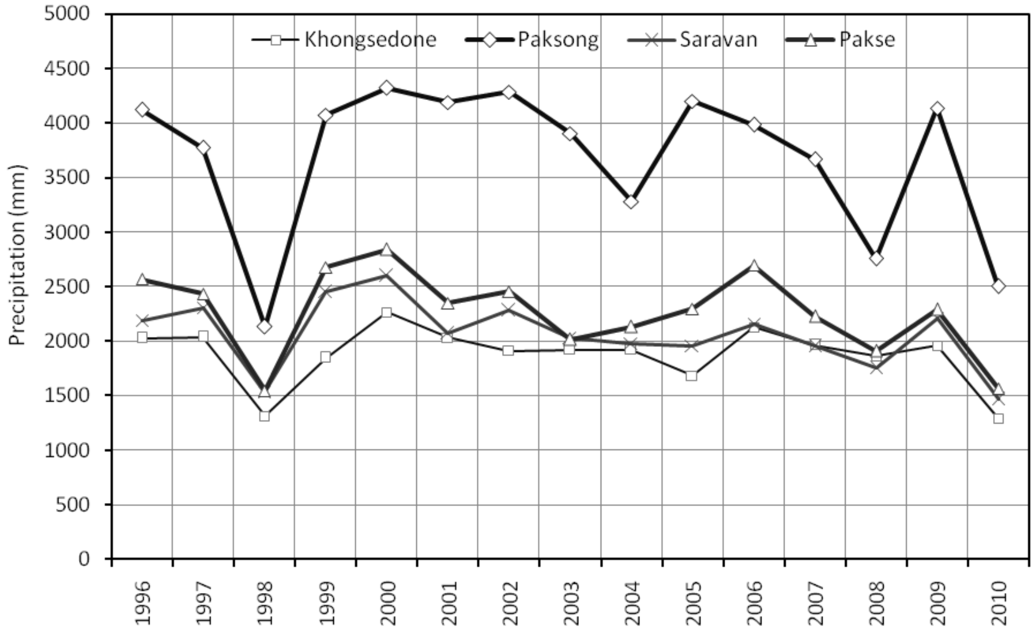
ตารางที่ 7 อุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดในลุ่มน้ำเซโดน ช่วงปี 1996 ถึง 2010

ชื่อสถานี	อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส)												เฉลี่ย
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ปากเซ	24.8	27.6	29.7	30.6	29.3	28.5	27.9	27.6	27.5	27.4	26.5	25.4	27.1
ปากช่อง	16.1	17.4	20.0	20.9	21.0	20.5	19.9	19.8	19.7	19.5	18.3	17.3	19.1
สาละวัน	25.3	27.3	29.9	30.7	29.4	28.7	27.4	27.5	27.7	26.8	26.6	24.8	27.3
คงเซโดน	25.5	27.5	29.7	30.8	29.1	28.8	27.9	27.6	27.5	27.4	26.2	24.5	27.6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

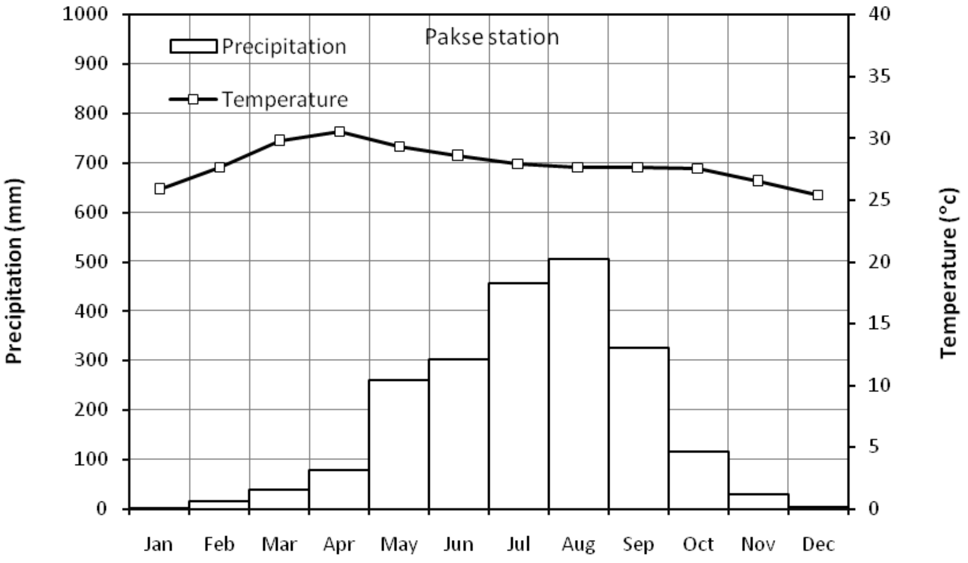


ภาพที่ 15 ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

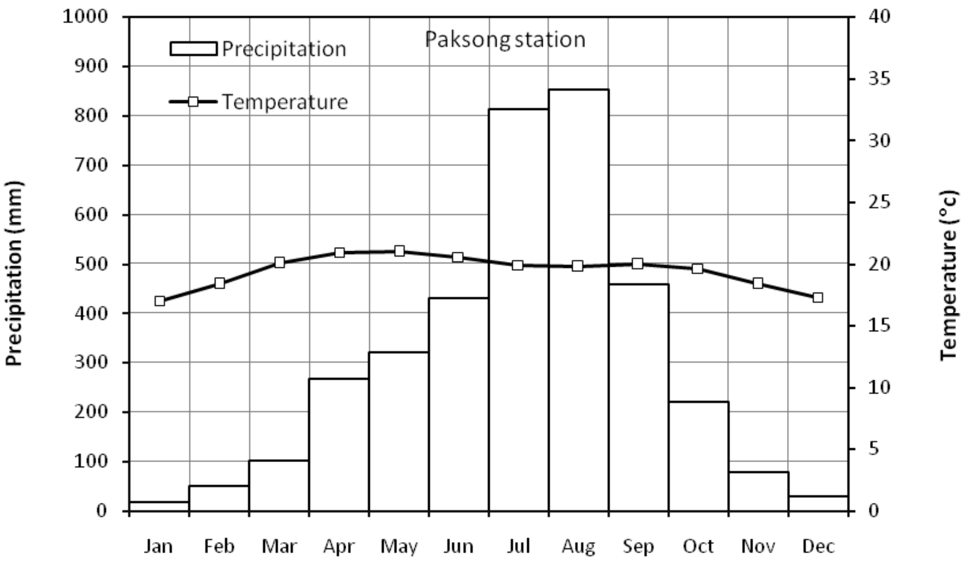


ภาพที่ 16 ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของ 4 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ช่วงปี 1996 ถึง 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

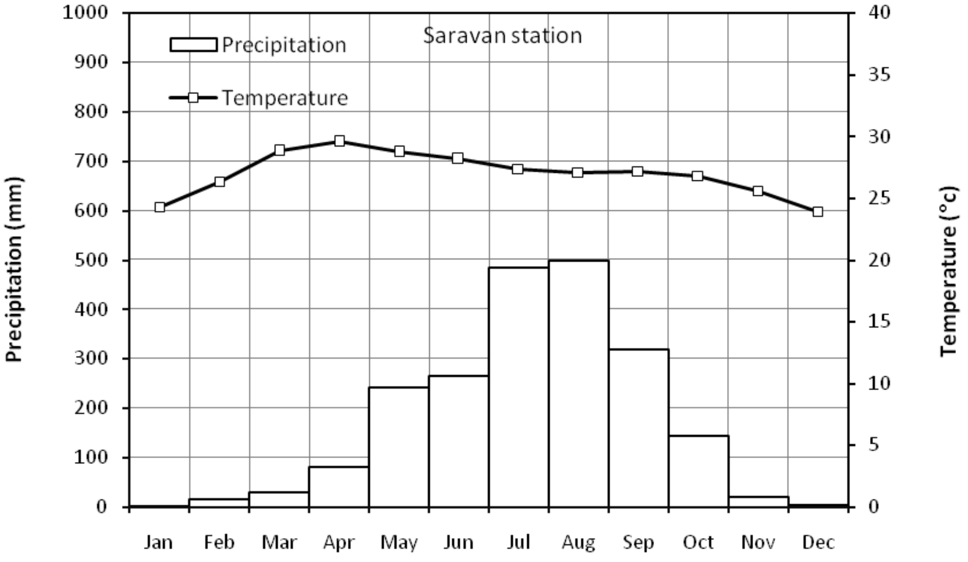


ภาพที่ 17 ปริมาณฝนและอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีปากเซ ช่วงปี 1996 ถึง 2010

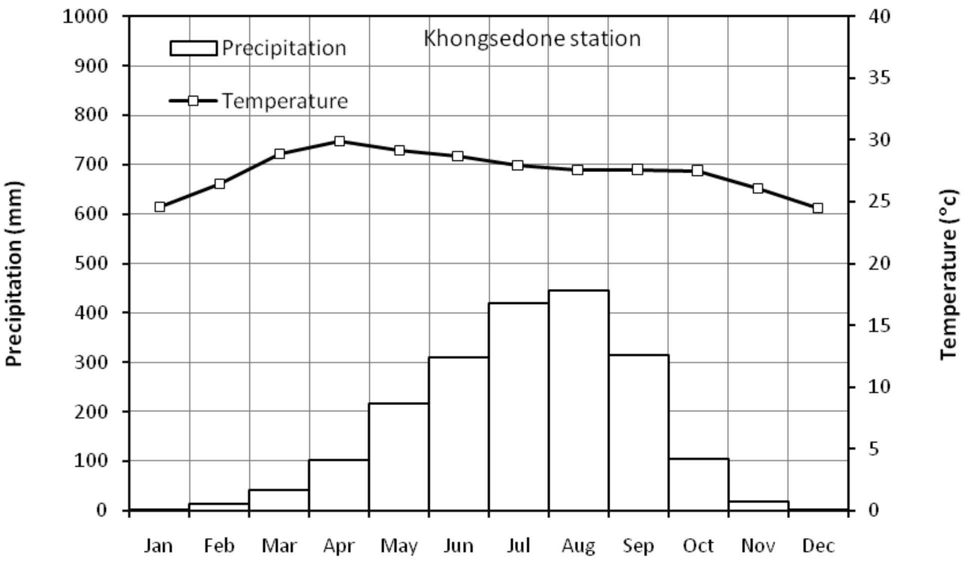


ภาพที่ 18 ปริมาณฝนและอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีปากซ่อง ช่วงปี 1996 ถึง 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 ปริมาณฝนและอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีสาละวัน ช่วงปี 1996 ถึง 2010



ภาพที่ 20 ปริมาณฝนและอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยของสถานีคงเซโดน ช่วงปี 1996 ถึง 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 ลักษณะระบบทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำเซโดน

ลุ่มน้ำเซโดนเป็นพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ โดยปริมาณฝนเป็นที่มาของทรัพยากรน้ำที่เข้าสู่ระบบ ทำให้มีแหล่งน้ำต้นทุนในการบริหารจัดการในพื้นที่ลุ่มน้ำ ในภาพรวมของลุ่มน้ำอยู่ในสถานภาพไม่ขาดน้ำเนื่องจากมีแม่น้ำเซโดนไหลผ่านลุ่มน้ำ และมีโครงข่ายลำน้ำสาขาที่กระจายทั้งพื้นที่ของลุ่มน้ำ มีระบบชลประทานที่ใช้น้ำในช่วงฤดูแล้ง และสำหรับน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคได้มีการวางรบบน้ำประปาเพื่อใช้ใน จังหวัดสาละวัน และจังหวัดจำปาสัก

1.3.1 ลำน้ำเซโดนและลำน้ำสาขาที่สำคัญ

แม่น้ำเซโดนเป็นลำน้ำสายหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำมีความยาวทั้งหมดประมาณ 228 ก.ม. ซึ่งมีต้นน้ำที่อยู่บริเวณเมืองท่าแตงของจังหวัดเซกอง อยู่ในเขตภูเพียงบริเวณ (Boloven plateau) เซโดนเป็นลำน้ำที่สำคัญของประชากรในลุ่มน้ำที่ใช้สำหรับการอุปโภค-บริโภค เกษตรกรรม เลี้ยงสัตว์ และใช้ในการคมนาคมขนส่งทางน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยลำน้ำไหลผ่านตัวเมืองที่มีความสำคัญเช่น เมืองสาละวัน เมืองวาปี เมืองคงเซโดน (จังหวัดสาละวัน) และเมืองสะนะสมบูณก่อนไหลรวมกับแม่น้ำโขงที่เมืองปากเซ (จังหวัดจำปาศัก) ซึ่งแม่น้ำเซโดนมีลำน้ำสาขาที่สำคัญดังแสดงในภาพที่ 21 ประกอบด้วย

- เซเช็ด มีพื้นที่ต้นน้ำอยู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ที่บริเวณเขตภูเพียงบริเวณ เมืองปากช่องของจังหวัดจำปาสัก เป็นลำน้ำที่มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยมีความยาวของลำน้ำประมาณ 68 ก.ม. ซึ่งในลำน้ำได้มีการสร้างเขื่อนไฟฟ้าขนาดเล็ก

- ห้วยปาปู มีพื้นที่ต้นน้ำอยู่ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ที่บริเวณเขตเมืองตะโอ้ยของจังหวัดสาละวัน ซึ่งมีความยาวของลำน้ำประมาณ 35 ก.ม.

- ห้วยจำปี มีพื้นที่ต้นน้ำอยู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ที่บริเวณเขตภูเพียงบริเวณเมืองปากช่อง จังหวัดจำปาสัก โดยมีความยาวประมาณ 37 ก.ม.

- ห้วยปาไหล มีพื้นที่ต้นน้ำอยู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ที่บริเวณเขตภูเพียงบริเวณเมืองปากช่อง จังหวัดจำปาสัก โดยมีความยาวประมาณ 45 ก.ม.

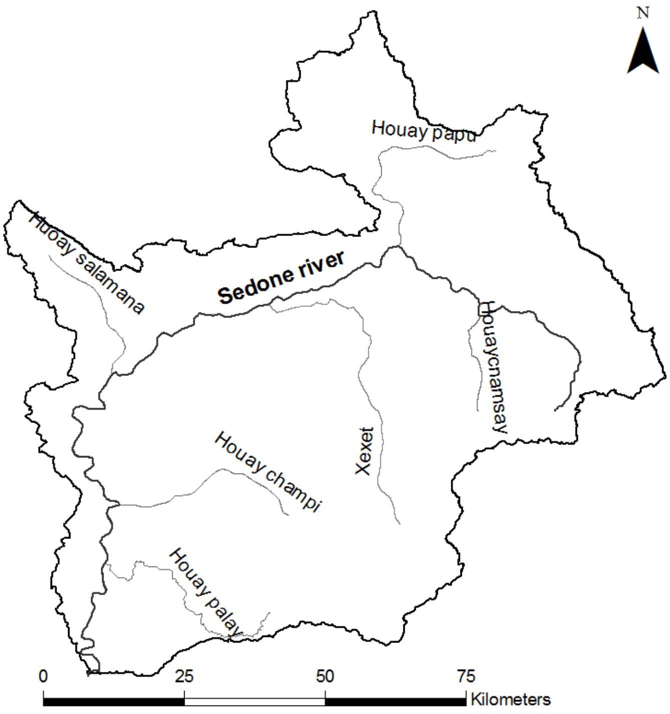
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- ห้วยน้ำใส มีพื้นที่ต้นน้ำอยู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ที่บริเวณเขตภูเพียงบริเวณเมืองท่าแตง จังหวัดเซกอง ซึ่งมีความยาวประมาณ 23 ก.ม.

- เซลำมะนา มีพื้นที่ต้นน้ำอยู่ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ที่บริเวณเขตเมืองนะคอนเพง จังหวัดสาละวัน และมีความยาวประมาณ 39 ก.ม.

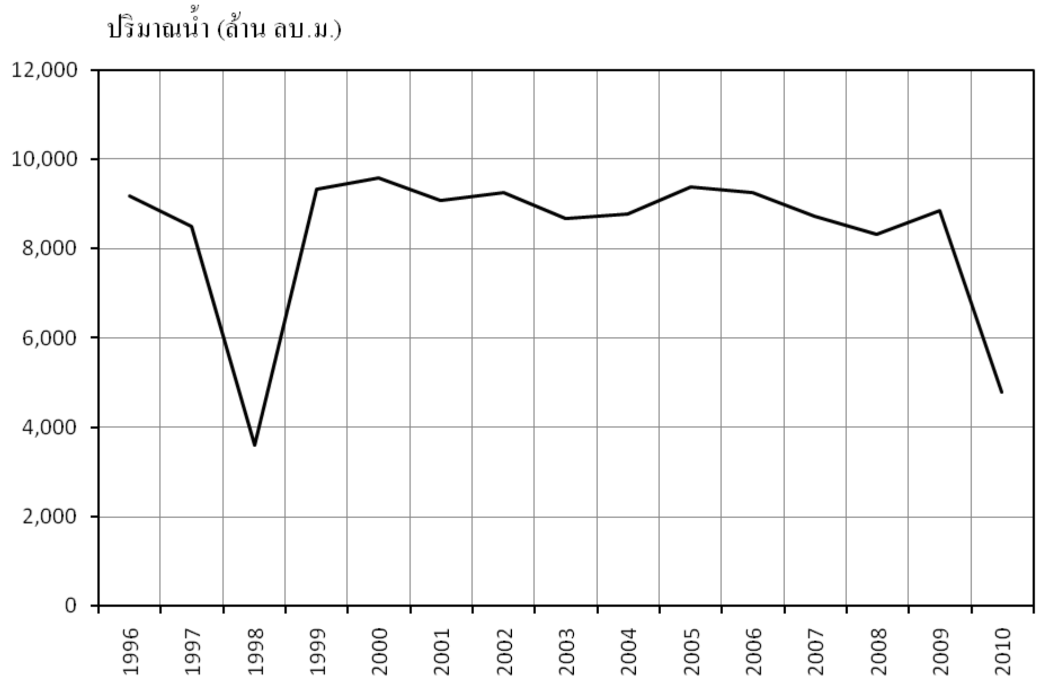
1.3.2 ปริมาณน้ำท่า

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำเป็นการสรุปผลรายปี โดยใช้ข้อมูลของสถานี Suvanakilli โดยเป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 1996 ถึง วันที่ 31 เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 รวมระยะเวลา 15 ปี ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำแสดงในภาพที่ 22 ซึ่งพบว่า ลุ่มน้ำเซโดนปริมาณน้ำท่า จากลำน้ำเซโดน โดยมีค่าเฉลี่ยต่อปีประมาณ 8,900 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งปริมาณน้ำท่ารายปีต่ำสุดปะมาณ 3,500 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปี ค.ศ. 1998 ที่เป็นปีฝนแล้ง และปริมาณน้ำท่ารายปีสูงสุดประมาณ 9,500 ล้าน ลบ.ม. ของปี ค.ศ. 2000



ภาพที่ 21 ลำน้ำสายหลักและลำน้ำสาขาในลุ่มน้ำเซโดน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของสถานี Suvannakilli ช่วงปี 1996 ถึง 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ลักษณะการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

1.4.1 ประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำ

เซโดนเป็นลำน้ำที่สำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำ ประชากรส่วนใหญ่ได้ตั้งเมืองอยู่ตามลำน้ำ ซึ่งเหมาะสมในการใช้น้ำเพื่ออุปโภค-บริโภคลักษณะของประชากรในลุ่มน้ำนับถือศาสนาพุทธคริสต์นิยายโรมันคาโธลิก และมีการนับถือผีเป็นส่วนน้อยยังมีการรักษาขนบประเพณีแบบดั้งเดิม จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของกรมสถิติของสามจังหวัดในปี ค.ศ. 2010 โดยลุ่มน้ำเซโดนมีประชากร 625,090 คน (ตารางที่ 8) ประกอบด้วยประชากรของ 12 ตัวเมืองดังนี้ สาละวัน ตะโอ้ย เลางาม คงเซโดน ตุ้มลาน วาปี นะคอนเพง ปากช่อง บาเจียง สะนะสมบูน ปากเซ ท่าแตง และละนาม จังหวัดสาละวัน ที่มีจำนวนประชากรอยู่เป็นจำนวนมากที่สุดรองลงมาคือจังหวัดจำปาสัก และจังหวัดเซกอง (กรมสถิติ, 2010) สำหรับความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภคของประชากรในตัวเมืองจะมีอัตราการใช้น้ำ 200 ลิตร/คน/วัน (FAO, 2007) ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่า ประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำมีการใช้น้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค เท่ากับ 40 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี โดยจังหวัดสาละวันมีปริมาณความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภคสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 70 ของความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภคทั้งหมดเนื่องจากมีพื้นที่ครอบคลุมมากที่สุดในลุ่มน้ำ

1.4.2 การท่องเที่ยว

การท่องเที่ยวมีส่วนเกี่ยวข้อง กับทรัพยากรทางธรรมชาติ โดยเฉพาะทรัพยากรน้ำ ด้วยสภาพพื้นที่ ความอุดมสมบูรณ์ของลุ่มน้ำ เป็นปัจจัยที่ดึงดูดนักท่องเที่ยว มีผลให้มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องในธุรกิจการท่องเที่ยว นอกจากนี้ การท่องเที่ยวยังเป็นแหล่งรายได้ที่มีความสำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน โดยเฉพาะทางภาคใต้ของประเทศลาว ซึ่งลุ่มน้ำมีสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศจำนวนมากโดยนักท่องเที่ยวที่แวะเวียนเข้ามาเที่ยวชม ที่ราบสูง Bolaven ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดจำปาสัก เป็นพื้นที่ที่มีภูมิทัศน์ที่มีความงดงามจำนวนมากและสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติและกิจกรรมการท่องเที่ยวรวมถึงน้ำตกเดินป่าตั้งแคมป์และโปรแกรมโฮมสเตย์แบบดั้งเดิมนอกจากนี้ยังมีกาแฟที่มีชื่อเสียงอย่างเช่น Arabica และด้วยเป็นลุ่มน้ำที่มีสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญที่ให้โอกาสในการทำมาหากินอย่างมีนัยสำคัญของประชากร โดยตัวเลขของจำนวนนักท่องเที่ยว จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของแขนงท่องเที่ยวของสามจังหวัดในปี 2008 พบว่ามีจำนวนนักท่องเที่ยวประมาณ 188,000 คนต่อปี ในนั้นเขตพื้นที่จังหวัดจำปาสักมีจำนวนนักท่องเที่ยวที่มากที่สุดประมาณ 165,000 คนต่อปี จังหวัดสาละวันประมาณ 11,000 คนต่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีและจังหวัดเซกอง 12,900 คนต่อปี (กรมสถิติ, 2009) สำหรับความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภคของท่องเที่ยว จะมีอัตราการใช้น้ำ 100 ลิตร/คน/วัน (FAO, 2007) ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณ เท่ากับ 10 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี

ตารางที่ 8 จำนวนประชากรของแต่ละจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ลำดับ	ตัวเมือง	จำนวนประชากร (คน)	ความหนาแน่น (คน/ตร.กม)
1	ปากเซ	94,889	958
2	บาเจียง	51,373	57
3	สะนะสมบูน	66,076	64
4	ปากซ่อง	68,240	17
5	สาละวัน	78,723	490
6	ตาโอ้ย	23,460	283
7	ตุ้มลาน	22,339	73
8	นะคอนเพง	50,833	292
9	วาปี	24,405	95
10	คงเซโดน	68,146	727
11	เล่างาม	48,106	299
12	ท่าแตง	28,500	286
	รวม	**625,090**	**87**

1.4.3 การใช้น้ำเพื่อเกษตรกรรมในลุ่มน้ำเซโดน

การใช้น้ำชลประทาน ส่วนใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อทำการเกษตร โดยปลูกข้าวนาน้ำขัง ในช่วงฤดูแล้ง ปีละครั้งโดยพื้นที่ส่วนใหญ่ ของการใช้น้ำชลประทานจะอยู่ที่ เมืองสาละวัน เมืองวาปี เมืองคงเซโดน จังหวัดสาละวัน และเมืองสะนะสมบูรณ์ เมืองปากเซ จังหวัดจำปาสัก จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทานลุ่มน้ำเซโดนมีพื้นที่ชลประทานทั้งหมดประมาณ 14,000 เฮกตาร์ (ตารางที่ 9) โดยลักษณะการปลูกข้าวในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำจะแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ ฤดูปลูกข้าวนาปี จะเริ่มแต่เดือน กรกฎาคม ถึงเดือนตุลาคม และข้าวนาปรังด้วยการดึงน้ำจากลำน้ำเซโดนมาใช้ในพื้นที่ชลประทานในฤดูแล้งซึ่งเริ่มตั้งแต่เดือน ธันวาคม ถึง เดือนพฤษภาคม โดยเป็นการปลูกข้าวแบบตกกล้า-ปักดำ (กรมชลประทาน, 2012) โดยมีสถานที่ดังแสดงในภาพที่ 23 ลุ่มน้ำ

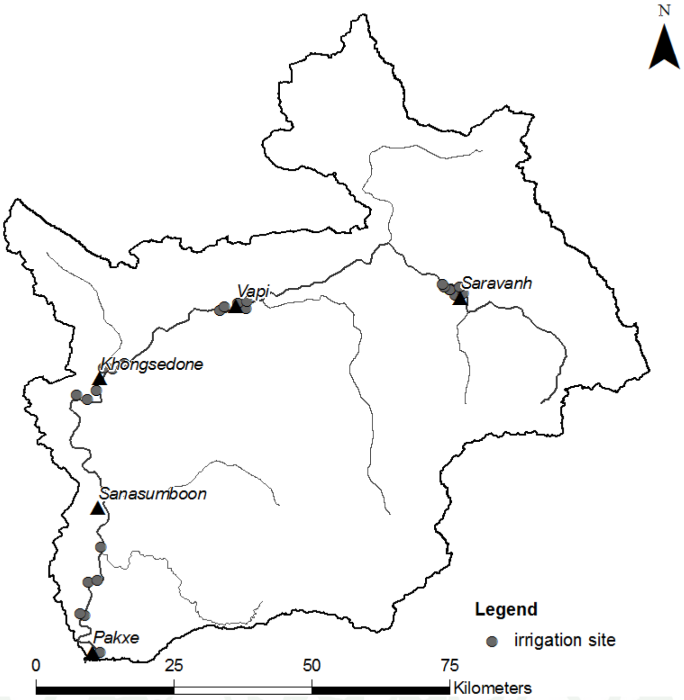
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เซโดนตอนกลางมีความต้องการน้ำสูงที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 50 ของความต้องการน้ำทั้งหมด เนื่องมาจากมีพื้นขนาดใหญ่ ทำให้ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรกรรมสูง

ตารางที่ 9 พื้นที่ชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน 2011

ลำดับ	จังหวัด	เมือง	โครงการชลประทาน	พื้นที่ (เฮกตาร์)
1	สาละวัน	สาละวัน	หนองแดง	2,500
			นาคอยสาว	650
			เวียงคำ	470
			น้ำใส	530
			บุงคำ	650
			ดงกอย	450
		วาปี	วาปีเหนือ	430
			วาปีใต้	250
			ผัดขา	450
			แก่งสุที	450
			โนนหนองบัว	520
		คงเซโดน	คงใหญ่	1,200
			คงน้อย	850
			บัวละพา	440
			หินสิ่ว	570
			ดอนเมือง	450
			หนองบัว	580
2	จำปาสัก	สะนะสมบูน	โซโลใหญ่	480
			โซโลน้อย	650
			ปากซอน	720
		ปากเซ	โพตาก	150
			โพนสีใค	400
			โพนงาม	210
	รวม			**14,050**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 สถานที่ชลประทานในลุ่มน้ำเซโดน

1.4.4 โรงงานอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำจะมี อุตสาหกรรมการผลิต ประกอบไปด้วย โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และขนาดกลาง เช่น โรงงานแปรรูปไม้ โรงงานผลิตยารักษาโรค โรงงานผลิตน้ำดื่มและโรงสีข้าว เป็นต้น โดยใช้ผลผลิต และทรัพยากรในลุ่มน้ำ โดยมีจำนวนโรงงานทั้งหมด 1,934 โรงงานประกอบด้วย จังหวัดจำปาสัก มีจำนวน 1,802 โรงงานจังหวัดสาละวัน มี 93 โรงงานและ จังหวัดเซกองมี 39 โรงงาน (กรมอุตสาหกรรม, 2009) ดังแสดงในตาราง 10

ตารางที่ 10 จำนวนโรงงานของแต่ละจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ลำดับ	จังหวัด	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	จำนวน
1	จำปาสัก	1,792	10	1,802
2	สาละวัน	57	16	93
3	เซกอง	13	26	39
	รวม	**1,862**	**52**	**1,934**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4.5 เขื่อนไฟฟ้าพลังงาน

ลุ่มน้ำเซโดนมีเขื่อนไฟฟ้าขนาดเล็ก 3 เขื่อน ประกอบด้วย เขื่อนเซเช็ด 1 เขื่อนเซเช็ด 2 ในเขตพื้นที่ของสาละวัน ซึ่งใช้น้ำจากห้วยเซเช็ดเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ใช้ในตัวเมืองสาละวันในส่วนหนึ่งและอีกส่วนเป็นการส่งกระแสไฟฟ้าออกมาที่ประเทศไทย และอีกเขื่อนหนึ่งคือเขื่อน เซละบำ อยู่ตอนล่างของลุ่มน้ำในจังหวัดจำปาสัก โดยเป็นการทำฝายกั้นกระแสน้ำในแนวทางน้ำบางส่วน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในตัวเมืองปากเซ (กรมอุตสาหกรรม, 2009) แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เขื่อนไฟฟ้าในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ลำดับ	เขื่อนไฟฟ้า	จังหวัด	ปริมาณ (MW)
1	เซเช็ด 1	สาละวัน	45
2	เซเช็ด 2	สาละวัน	76
3	เซละบำ	จำปาสัก	5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 บทบาทขององค์กรและความสัมพันธ์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการน้ำของ สปป ลาว

ข้อตกลงของนายกรัฐมนตรี ว่าด้วยดำรัสการจัดตั้งปฏิบัติกฎหมายน้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำ (นายกรัฐมนตรี,2001) กำหนดความรับผิดชอบของกระทรวง และองค์กรที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งอำนาจการปกครองส่วนท้องถิ่นรับผิดชอบการบริหารจัดการ การจัดการ ค้นคว้า พัฒนาการใช้น้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำให้มีประสิทธิภาพ เช่น

กระทรวง กสิกรรม และป่าไม้ มีหน้าที่จัดการ ค้นคว้า พัฒนาการใช้น้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำในการเกษตร ป้องกัน และควบคุมภัยจากน้ำท่วมในเขตพื้นที่เกษตร และสำรวจขึ้นทะเบียนบัญชีแหล่งน้ำ และลุ่มน้ำเพื่อรองรับหน่วยงานเกษตร และสังคม

กระทรวงคมนาคมขนส่งไปรษณีย์ และก่อสร้าง มีหน้าที่จัดการ ค้นคว้า พัฒนาการใช้น้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำในการคมนาคมขนส่ง ป้องกันการพังทลายของดินริมแม่น้ำ ต้านภัยน้ำท่วม ระบายน้ำในตัวเมือง และน้ำประปา

กระทรวงพลังงาน และบ่อแร่ มีหน้าที่จัดการ ค้นคว้า พัฒนา การใช้น้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำ ให้กับหน่วยงานการไฟฟ้า อุสาหกรรมเหมืองแร่ การระบายน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมหัตถกรรม และการค้นคว้าเหมืองแร่

กระทรวงสาธารณสุข มีหน้าที่ ค้นคว้า พัฒนาการใช้น้ำผิวดิน และใต้ดิน เพื่อชีวิตความเป็นอยู่ และรักษาสุขภาพของประชาชน

กระทรวงการค้า และท่องเที่ยว มีหน้าที่จัดการ ค้นคว้า พัฒนาการใช้น้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำในหน่วยงานท่องเที่ยว

องค์การวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม มี่หน้าที่ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อร่างข้อกำหนด กฎระเบียบ การจัดการ ดำเนินการ ค้นคว้า และบริการทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับน้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะกรรมการแม่น้ำโขงแห่งชาติลาว มีหน้าที่ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษา นโยบายแผนยุทธศาสตร์ แผนงาน โครงการ และดำเนินการปฏิบัติโครงการพัฒนา ลุ่มน้ำโขง ซึ่งอยู่ในแผนการพัฒนาของคณะกรรมการแม่น้ำโขงสากล ในดินแดนแห่ง สปป ลาว โดยร่วมมือกับบรรดาประเทศที่อยู่ในเขตลุ่มน้ำโขง บรรดาประเทศผู้ให้ทุนอื่นๆ ร่างกฎหมาย ดำรัส ข้อกำหนด กฎระเบียบการต่างๆ เกี่ยวกับการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับน้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำในเขตแม่น้ำโขง ที่เกี่ยวกับสากล ตามที่ได้กำหนดไว้ในสนธิสัญญา เชียงรายเมื่อวันที่ 5 เมษายน ค.ศ. 1995

คณะกรรมการประสานงานทรัพยากรน้ำ มีหน้าที่หลัก ในการประสานงานกับหน่วยงานต่างๆ เพื่อศึกษานำเสนอร่าง นโยบาย ร่างแผนยุทธศาสตร์ แผนดำเนินงาน และกฎระเบียบ กฎหมายต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อการวางแผน การจัดการ การใช้ และการรักษาน้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำ ถ้าจำเป็นก็อาจตั้งคณะกรรมการประสานงานทรัพยากรน้ำขึ้นในระดับลุ่มน้ำใดหนึ่งเพื่อทำหน้าที่รายงานต่อคณะกรรมการประสานงานทรัพยากรแหล่งน้ำส่วนกลาง

กระทรวง และองค์การต่าง ๆที่กล่าวมามีหน้าที่ประสานงานกับเจ้าหน้าที่การปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อกำหนดรายละเอียดในการแบ่งความรับผิดชอบภายในหน่วยงานของตน และเพื่อทำให้การประสานงานระหว่างหน่วยงานให้มีประสิทธิภาพ ดำรัสการจัดตั้งปฏิบัติกฎหมายน้ำ และทรัพยากรแหล่งน้ำ (นายกรัฐมนตรี,2001) ได้มอบอำนาจให้คณะกรรมการประสานงานทรัพยากรน้ำ และคณะกรรมการแม่น้ำโขง แห่งชาติลาว เป็นตัวแทน รัฐบาล เพื่อประสานงานในการวางแผนการจัดการทรัพยากรแหล่งน้ำ กำหนดให้กระทรวงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีหน้าที่รับผิดชอบในการวางแผนการจัดการ และพัฒนาทรัพยากรน้ำโดยดำเนินการให้สอดคล้องกับแนวทางในการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำที่ได้ผ่านการรับรอง

1.5.1 กระทรวง และองค์กร ที่มีความสัมพันธ์ของหน่วยงานในการจัดการลุ่มน้ำ

1) การจัดการทรัพยากรน้ำ และลุ่มน้ำ การปรับปรุงนโยบาย และแผนงานสำหรับทรัพยากรน้ำ

กระทรวง กสิกรรม และป่าไม้ได้แก่ กรมแผนการ และกรมป่าไม้ กรมอุตุวิทยา และอุทกศาสตร์ กระทรวง พลังงาน และบ่อ แร่ได้แก่ กรมไฟฟ้า (แผนกจัดการ สังคม และสิ่งแวดล้อม) สำนักงาน นายกรัฐมนตรีได้แก่ องค์การวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม คณะกรรมการประสานงานทรัพยากรน้ำ และคณะกรรมการแมน้ำโขง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) การออกข้อกำหนดเกี่ยวกับน้ำ และบริการน้ำที่สัมพันธ์กับนโยบาย และแผนการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับน้ำ

กระทรวง กสิกรรม และป่าไม้ได้แก่ กรมชลประทาน กรมเลี้ยงสัตว์ และการประมง กระทรวงคมนาคมขนส่งไปรษณีย์ และก่อสร้างได้แก่ องค์การน้ำประปา กรมเคหะและผังเมือง แผนกจัดการทางน้ำ แผนกขนส่งทางน้ำ และทางบก กระทรวง พลังงาน และบ่อ แร่ได้แก่ กรมอุตสาหกรรม กรมบ่อแร่ บริษัทไฟฟ้าแห่งประเทศลาว กระทรวงสาธารณะสุขได้แก่ ศูนย์อนามัย สิ่งแวดล้อม และการจัดหาน้ำสะอาด กรมอาหาร และยา

3) การปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อหน่วยงานน้ำ

คณะกรรมการแผนการ และการลงทุนได้แก่ กรมแผนการสังคม สถาบันค้นคว้าเศษฐกิจแห่งชาติ แผนกแผนการ การลงทุน และศูนย์สถิติแห่งชาติ กระทรวง กสิกรรม และป่าไม้ได้แก่ กรมส่งเสริมกสิกรรม และป่าไม้ กระทรวง การต่างประเทศได้แก่ กรมร่วมมือ เศษฐกิจกับต่างประเทศ กรมกฎหมาย และสนธิสัญญา กระทรวง ยุติธรรมได้แก่ กรมกฎหมาย และกรมโฆษณาและเผยแผ่กฎหมาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การจำลองระบบลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT สำหรับการประเมินน้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ

2.1 การสร้างแบบจำลอง SWAT

การสร้างแบบจำลองประเมินน้ำฝน-น้ำท่าของแบบจำลองมีการน้ำเข้าข้อมูล 2 รูปแบบ คือ การนำเข้าข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ และการนำเข้าข้อมูลที่เป็นตาราง ซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลองจะต้องได้รวบรวมและวิเคราะห์ จัดทำเป็นไฟล์ไว้ก่อนแล้ว จึงค่อยนำเข้าแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนหลักๆ ในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

2.1.1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed delineation)

เป็นขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลอง เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพโดยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำจากแบบจำลอง ซึ่งต้องนำเข้าข้อมูล DEM เพื่อไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 24 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

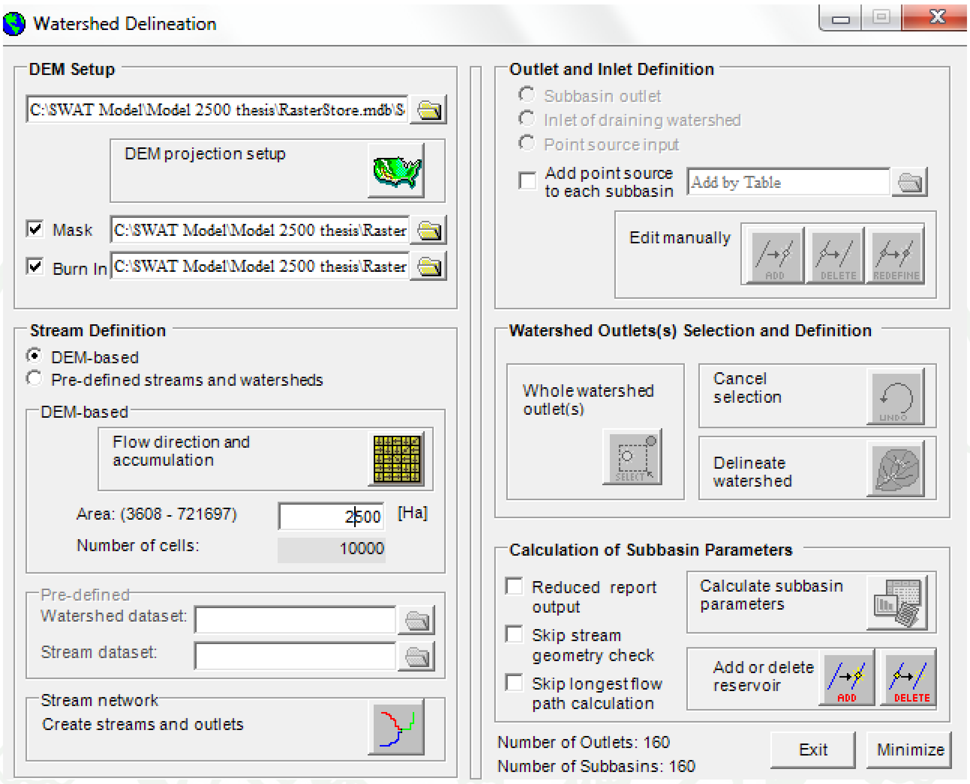
- DEM Setup เป็นการนำเข้าข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) เพื่อให้แบบจำลองคำนวณสภาพทางกายาภาพทั่วไปของพื้นที่ เช่น ความลาดชันของพื้นที่ ขอบเขตสันปันน้ำ เพื่อกำหนดพื้นที่รับน้ำเป็นต้น ซึ่งต้องมีการกำหนด properties ของ DEM grid ก่อนการนำเข้าโดยประกอบด้วยหน่วยวัดระยะทางตามแกน X-Y-Z และระบบที่ใช้ทางภูมิศาสตร์ (สำหรับพื้นที่ศึกษาใช้ WGS 1984 UTM Zone 48N) จะได้ DEM ที่มีพิกัดตรงกันกับข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องการนำเข้า

- ทำการประมวลผลข้อมูล DEM ประกอบด้วย การคำนวณทิศทางการไหล (flow direction) และการไหลสะสม (flow accumulation) ของน้ำสำหรับแต่ละกริด อีกทั้งปรับแก้พื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแอ่งต่ำ (sink) จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการกำหนดรายละเอียดโครงข่ายเส้นทางน้ำ (stream network) ซึ่งกำหนดโดยการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (threshold area) ที่มีความแตกต่างกันของแต่ละกรณีศึกษา ตั้งแต่ขนาดเล็กสุดจนถึงขนาดที่ใหญ่ ประกอบด้วย 1,500 เฮกตาร์ 2,500 เฮกตาร์ 5,000 เฮกตาร์ 7,500 เฮกตาร์ 10,000 เฮกตาร์ และ 15,000 เฮกตาร์ จากขั้นตอน Steam definition สำหรับการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

- กำหนดจุดออก (outlet) ของเส้นทางน้ำย่อยต่าง ๆ และการกำหนดจุดปลายสุดของลำน้ำของพื้นที่ศึกษา วิธีการกำหนดจุดออกสามารถทำได้ โดยการกำหนดตำแหน่งของจุดออก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ด้วยมือผ่านทางหน้าต่างโปรแกรมโดยตรง เมื่อพิจารณาขอบเขตลุ่มน้ำและลุ่มน้ำย่อยที่โปรแกรมสร้างขึ้น แล้วพบว่าสอดคล้องตามความต้องการก็สั่งให้โปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพื้นที่ลุ่มน้ำและเส้นลำน้ำ (calculation of subbasin parameters) ได้แก่ ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความลาดชัน ความยาวเส้นลำน้ำ เป็นต้น



ภาพที่ 24 ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ

2.1.2 การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU analysis)

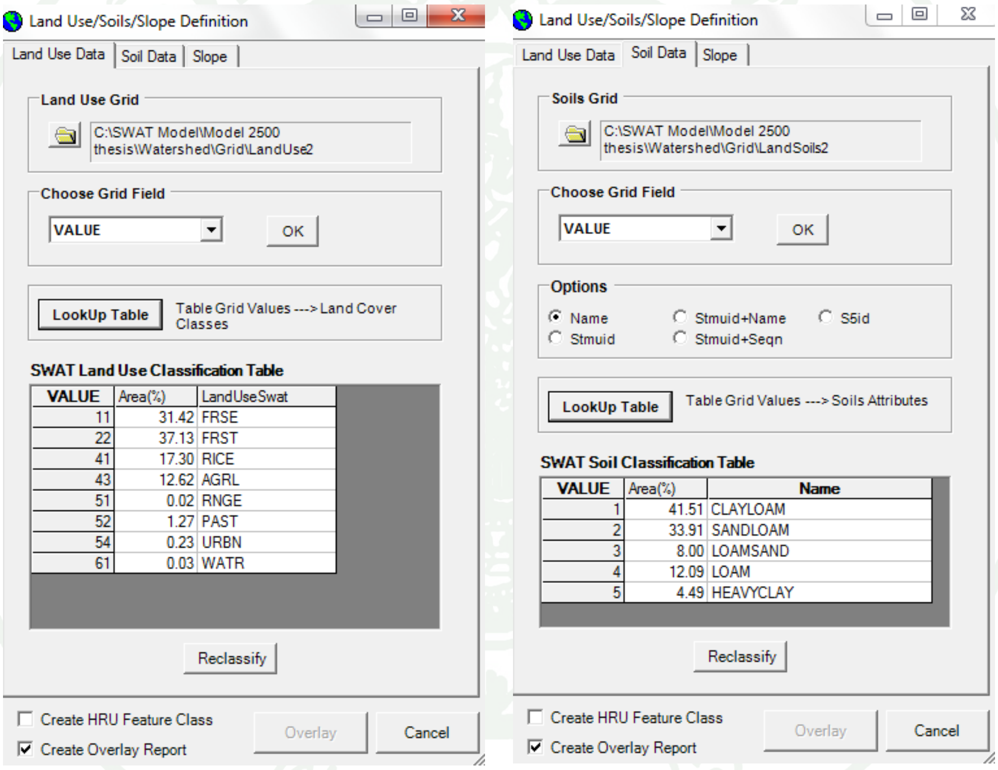
เป็นการนำเข้าข้อมูลของสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพชนิดดินของพื้นที่ที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

การนำเข้าข้อมูลการใช้ที่ดิน เป็นการกำหนดรหัสการใช้ที่ดินแต่ละประเภทให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลประเภทการใช้ที่ดินของโปรแกรม ArcSWAT ซึ่งทำได้โดยการเตรียมไฟล์ตารางข้อมูล (.dbf) สำหรับเชื่อมโยงรหัสประเภทการใช้ที่ดินของแผนที่นำเข้ากับรหัสฐานข้อมูล SWAT แล้วเลือกไฟล์ตารางข้อมูล (.dbf) ที่จัดเตรียมไว้สำหรับเชื่อมโยงรหัสประเภทการใช้ที่ดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของแผนที่ที่นำเข้ากับรหัสในฐานข้อมูลแบบจำลอง ซึ่งก็จะปรากฏรหัสโดยแบ่งตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน

สำหรับการนำเข้าแผนที่ชนิดของดิน มีวิธีการและขั้นตอนเช่นเดียวกัน กับส่วนของการนำเข้าแผนที่การใช้ที่ดินดังกล่าวข้างต้น แต่สำหรับการกำหนดรหัสชนิดดินให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลชนิดดินของโปรแกรม ArcSWAT นั้นต้องเลือก option ของรหัสฐานข้อมูลชนิดดินที่ผู้ใช้ต้องการ จึงต้องเลือก option “name” โดยทางเลือกนี้จะสั่งให้โปรแกรมใช้ฐานข้อมูลชนิดดินที่ผู้ใช้สร้างขึ้นเอง ดังแสดงในภาพที่ 25

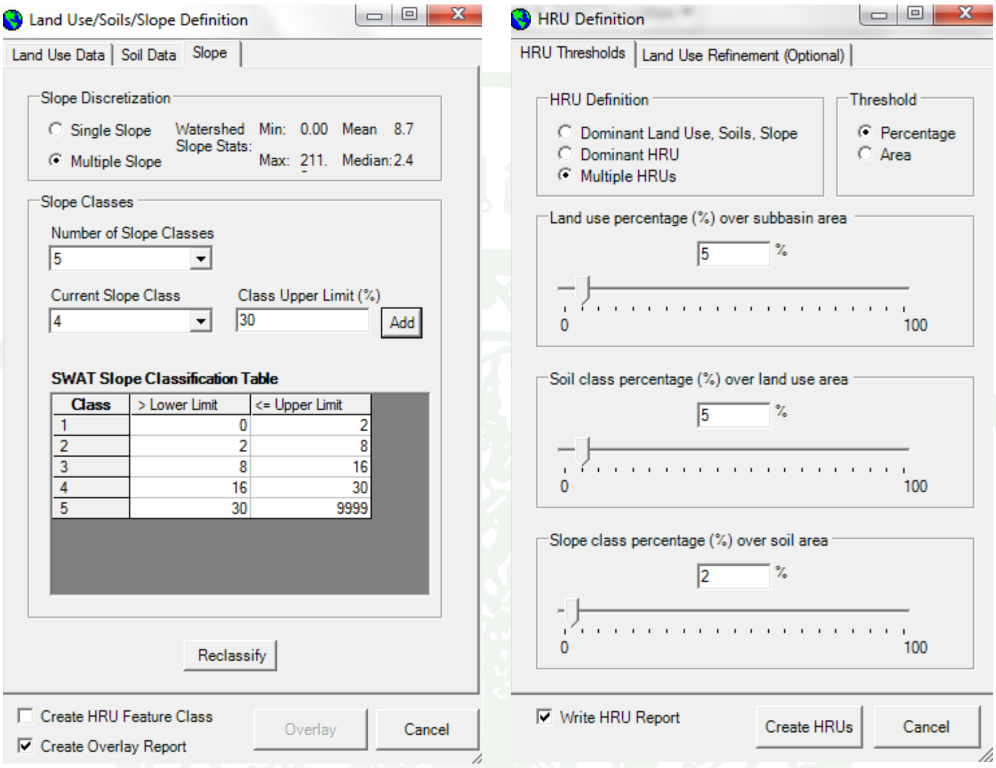


ภาพที่ 25 การกำหนด Land use definition and soil definition

การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU Definition) ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดเงื่อนไขการสร้างหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (HydrologicResponse Units: HRUs) ของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยสอดคล้องตามการแพร่กระจายของลักษณะการใช้ที่ดินและชนิดของดิน ดังแสดงในภาพที่ 26 สำหรับการศึกษานี้เลือกการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทิกวิทยาแบบ Multiple HydrologicResponse Units เป็นการกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยมี HRUs สอดคล้องตามเปอร์เซนต์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดดินในลักษณะของสัดส่วนพื้นที่ในการนำไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำหนดหน่วยแต่ละ HRU ซึ่งแสดงถึงความละเอียดของแบบจำลอง โดยหากกำหนดให้หน่วยพื้นที่การใช้ที่ดินหรือพื้นที่ชุดดินยิ่งมีค่าน้อย แบบจำลองที่ได้จะยิ่งละเอียดดังนั้นการกำหนด HRUs จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้วย

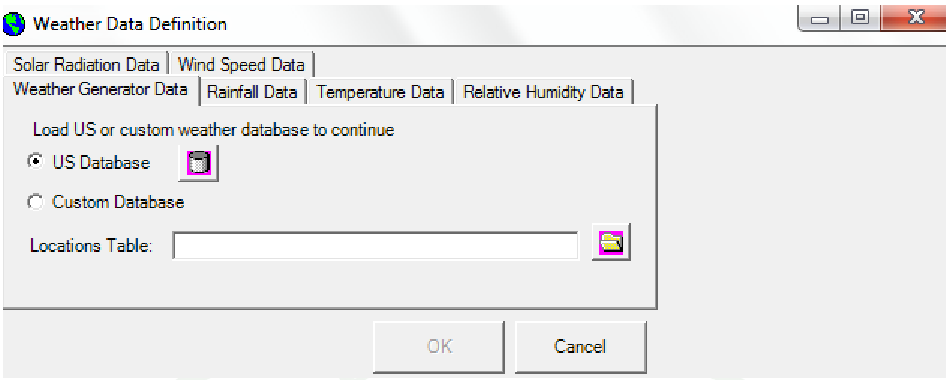


ภาพที่ 26 การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

2.1.3 นำเข้าข้อมูลตาราง (Write input table)

เมื่อได้ทำขั้นตอนการจำลองการแบ่งขอบเขตลุ่มน้ำย่อย การพิจารณาการใช้ที่ดินและชนิดของดิน รวมทั้งการกำหนดค่าตอบสนองทางอุทกวิทยาแล้ว ขั้นตอนต่อไปต้องนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ โดยข้อมูลนำเข้า ประกอบด้วย ฝน อุณหภูมิ ภูมิอากาศ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นข้อมูลแบบรายวัน ช่วงปี ค.ศ. 1996 ถึงปี ค.ศ. 2010 รวมระยะเวลา 15 ปี ดังแสดงในภาพที่ 27

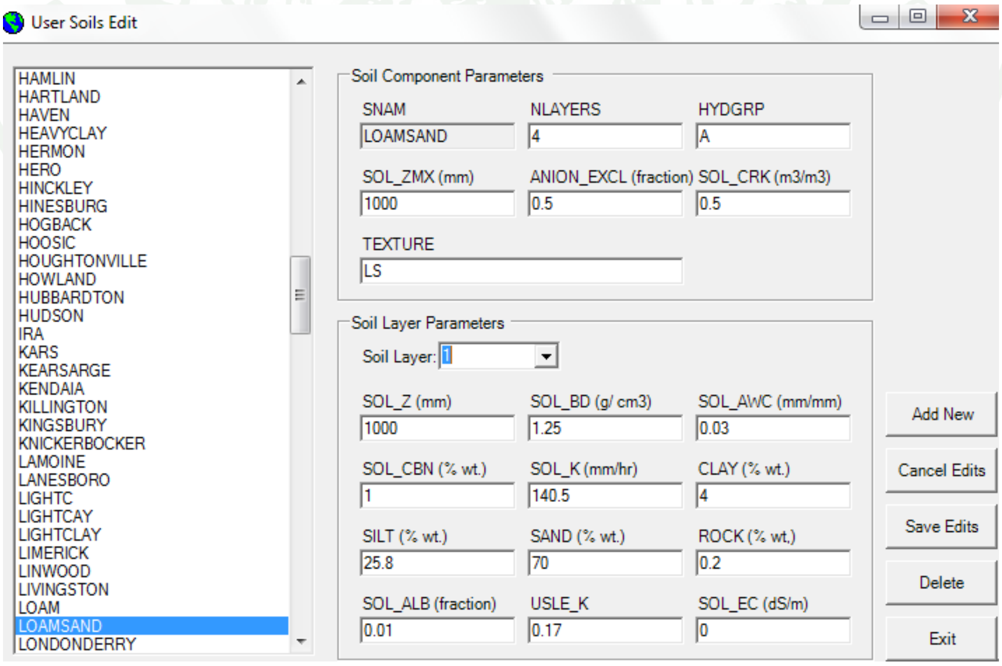
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 27 ขั้นตอนนำเข้าข้อมูลตาราง

2.1.4 การแก้ไขฐานข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง SWAT (edit SWAT input)

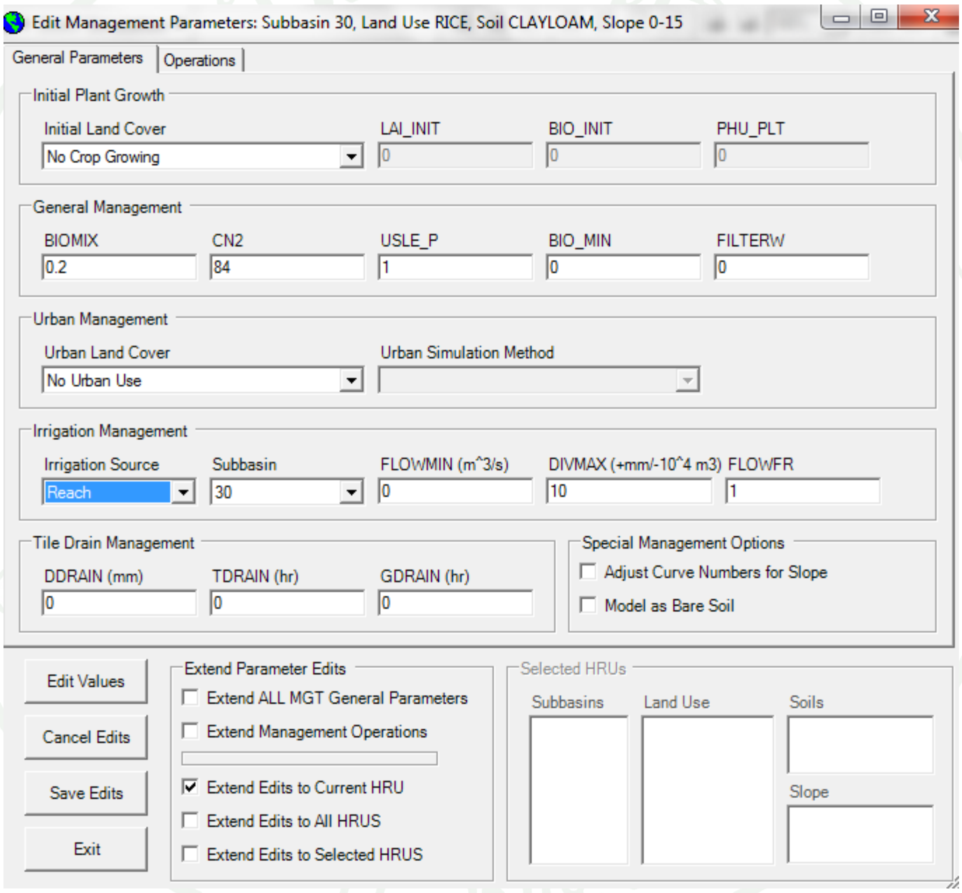
SWAT เป็นแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ฐานข้อมูลของแบบจำลองจึงเป็นของประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ศึกษาพารามิเตอร์บางอย่างจึงไม่มี จึงต้องทำการเพิ่มเข้าไปในฐานข้อมูล ซึ่งในการศึกษานี้ได้เพิ่มรายละเอียดคุณสมบัติของชนิดดิน ตำแหน่งสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศให้ตอบสนองกับพื้นที่ศึกษาลงไปในฐานข้อมูลของแบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การแก้ไขฐานข้อมูล SWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การแก้ไขฐานข้อมูลก่อนการจำลอง สำหรับการศึกษานี้ได้พิจารณาการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวของลุ่มน้ำโดยการวิเคราะห์จากพื้นปลูกข้าวของข้อมูลของการใช้ประโยชน์ที่ดินในส่วน HRUs ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้: การแก้ไขข้อมูล edit management input data (.mgt) โดยการกำหนดให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มจาก irrigation management ที่หน้าต่างของ general parameters และนำเข้าข้อมูลเพราะปลูกให้ถูกต้องตามแผนปลูก ที่หน้าต่างของ operation ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำเข้าข้อมูลที่ setup โดยไปที่ rewrite SWAT input file ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 การแก้ไขฐานข้อมูล SWAT ก่อนการจำลอง

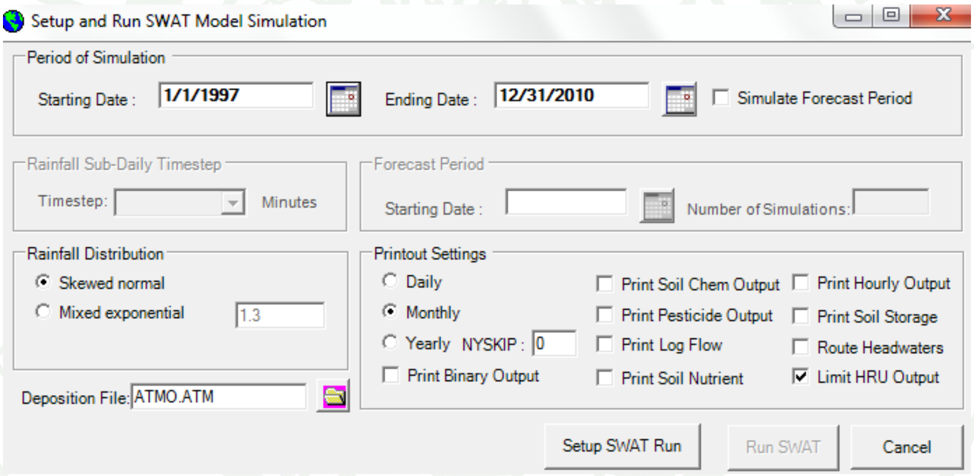
การสร้างไฟล์ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง หลังจากมีการนำเข้าข้อมูลครบถ้วนแล้ว ต่อไปเป็นขั้นตอนการสั่งให้ข้อมูลนำเข้าแต่ละส่วน เข้าสู่กระบวนการสร้างฐานข้อมูลในแบบจำลอง เพื่อนำไปคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยการเลือกเมนู input ซึ่งเป็นเมนูที่อยู่ใน SWAT view ซึ่งในแต่ละคำสั่งที่ปรากฏ จะเป็นคำสั่งให้มีการนำเข้าข้อมูลตามลำดับขั้นตอนแต่ละขั้นตอนจะมีความสัมพันธ์กัน โดยก่อนที่แบบจำลองจะนำค่าต่างๆ ไปคำนวณ ต้องมีการนำเข้าลุ่มน้ำเริ่มต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ถูกตั้งขึ้น จากฐานของการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ และกำหนดสภาพดิน สภาพการใช้ที่ดินเสียก่อน และเลือกคำสั่ง Write all เพื่อให้แบบจำลองมีการนำเข้าข้อมูลทุกอย่างสู่แบบจำลอง ตามลำดับขั้นตอนที่แบบจำลองกำหนดไว้

2.1.5 การรันแบบจำลอง SWAT (SWAT Simulation)

เมื่อการนำเข้าข้อมูล และการสั่งให้โปรแกรมเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลแล้ว ต่อไปจึงเป็นขั้นตอนการสั่งให้มีการคำนวณค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่นำเข้าไป (ภาพที่ 30) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าเท่านั้น โดยประมวลผลเป็นราวันเริ่มต้นวันที่ 1 เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 1997 ถึง วันที่ 31 เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 รวมระยะเวลา 14 ปี แล้วให้ผลออกมาเพื่อนำมาสรุปเป็นรายเดือน



ภาพที่ 30 การ Run SWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ผลการจำลองสภาพทางกายภาพของลุ่มน้ำจากการจำลอง

งารวิจัยนี้ใช้วิธีการกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (threshold area) ที่ความแตกต่างกันตั้งแต่ขนาดเล็กสุดจนถึงขนาดที่ใหญ่ ประกอบด้วย 1,500 เฮกตาร์ 2,500 เฮกตาร์ 5,000 เฮกตาร์ 7,500 เฮกตาร์ 10,000 เฮกตาร์ และ 15,000 เฮกตาร์ (โดยค่านี้จะเป็นค่าพื้นที่น้อยที่สุดที่สามารถกำหนดให้ DEM เริ่มแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย) แล้วทำการจำลองในแต่ละกรณีศึกษา และกำหนดให้หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (hydrologic response units: HRUs) โดยการแบ่งจากการใช้ประโยชน์ของที่ดิน และ ชนิดของดินเป็นแบบหนึ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยมีหลายหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา โดยกำหนดการใช้ประโยชน์ของที่ดินเป็น 5% และ ข้อมูลชนิดของดินเป็น 5% ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในแต่ละกรณีศึกษา โดยมีผลระเอียดดังต่อไปนี้

- กรณีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ขนาดเริ่มต้น 1,500 เฮกตาร์ พบว่า ผลลัพธ์ของการจำลองสภาพทางกายภาพของลุ่มน้ำไม่ว่าจะเป็นทางด้านขนาด รูปร่าง และจำนวนของลุ่มน้ำย่อยมีความแตกต่างกันออกไปอย่างชัดเจน ซึ่งจากการแบ่งนี้ทำให้แบบจำลองแบ่งลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อยมีจำนวน เท่ากับ 268 ลุ่มน้ำย่อย และผลของการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยนี้ทำให้แบบจำลองแบ่งให้มีหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาจำนวน 3,520 HRUs (ภาพที่ 31) สำหรับผลจากการแบ่งนี้จะทำให้การแบ่งสัดส่วนพื้นที่อิทธิพลของฝนในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจากแบบจำลองมีความเหมาะสมตามความจริงของการนำเข้าข้อมูลฝนของแบบจำลอง ซึ่งการแบ่งนี้จะทำให้ลุ่มน้ำมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝน เท่ากับ 2,150 ม.ม. ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ

- กรณีการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่ขนาดเริ่มต้นที่ 2,500 เฮกตาร์ พบว่า ผลการจำลองนี้ทำให้การจำลองสภาพทางกายภาพของลุ่มน้ำมีความแตกต่างกันออกไป ผลนี้ทำให้แบบจำลองแบ่งลุ่มย่อยมีจำนวนที่ลดลงไปจากเดิม เท่ากับ 160 ลุ่มน้ำย่อย แต่สำหรับการเพิ่มขนาดการแบ่งนี้ทำให้ลุ่มน้ำย่อยมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และมีผลทำให้แบบจำลองแบ่งหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยามีจำนวนที่น้อยลง เท่ากับ 2,460 HRUs (ภาพที่ 32) ผลจากการแบ่งนี้จะทำให้การแบ่งสัดส่วนพื้นที่อิทธิพลของฝนในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีความเหมาะสมตามความจริงของการนำเข้าข้อมูลฝนของแบบจำลองเช่นกัน ซึ่งการแบ่งนี้จะทำให้ลุ่มน้ำมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนมีค่า เท่ากับ 2,150 ม.ม. ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ

- กรณีการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่ขนาดเริ่มต้น 5,000 เฮกตาร์ พบว่า ผลของการจำลองทำให้แบบจำลองแบ่งลุ่มน้ำออกได้จำนวนลุ่มน้ำย่อยที่ลดลงจากเดิม เท่ากับ 104 ลุ่มน้ำย่อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และการเพิ่มขนาดการแบ่งนี้ทำให้ลุ่มน้ำย่อยมีขนาดที่ใหญ่ขึ่นมา โดยทำให้แบบจำลองแบ่งให้มีหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยามีจำนวนลดลงมา เท่ากับ 1,830 HRUs (ภาพที่ 33) ผลนี้จะทำให้สัดส่วนของพื้นที่อิทธิพลของฝนในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมาจากเดิม ซึ่งการแบ่งนี้จะทำให้ลุ่มน้ำมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนเพิ่มขึ้นมีค่า เท่ากับ 2,250 ม.ม. ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับการแบ่งนี้

- กรณีการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่ขนาดเริ่มต้น 7,500 เฮกตาร์ พบว่า การจำลองนี้จะมีจำนวนลุ่มน้ำย่อยลดลงมาอีก เท่ากับ 54 ลุ่มน้ำย่อย และทำให้ลุ่มน้ำย่อยมีขนาดที่ใหญ่ขึ่นมาอีก โดยแบบจำางลองแบ่งให้มีหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยามีจำนวน 1,220 HRUs (ภาพที่ 34) สำหรับการแบ่งนี้จะทำให้ลุ่มน้ำย่อยได้รับอิทธิพลของฝนจากสถานีที่มีปริมาณฝนที่สูงเพิ่มมากขึ้นจากเดิม ซึ่งผลของการแบ่งนี้จะทำให้ลุ่มน้ำมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนเพิ่มขึ้น เท่ากับ 2,340 ม.ม. ต่อพื้นที่

- กรณีการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่ขนาดเริ่มต้น 10,000 เฮกตาร์ พบว่าแบบจำลองทำการแบ่งลุ่มน้ำออกเป็น 36 ลุ่มน้ำย่อย และแบบจำลองแบ่งให้มีหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาได้จำนวน 880 HRUs (ภาพที่ 35) ผลการแบ่งนี้จะทำให้ลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดใหญ่ได้รับอิทธิพลของฝนจากสถานีที่มีปริมาณฝนที่สูงเพิ่มมากขึ้นจากเดิม สำหรับการแบ่งนี้จะทำให้ลุ่มน้ำมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนเพิ่มขึ้น เท่ากับ 2,390 ม.ม. ต่อพื้นที่

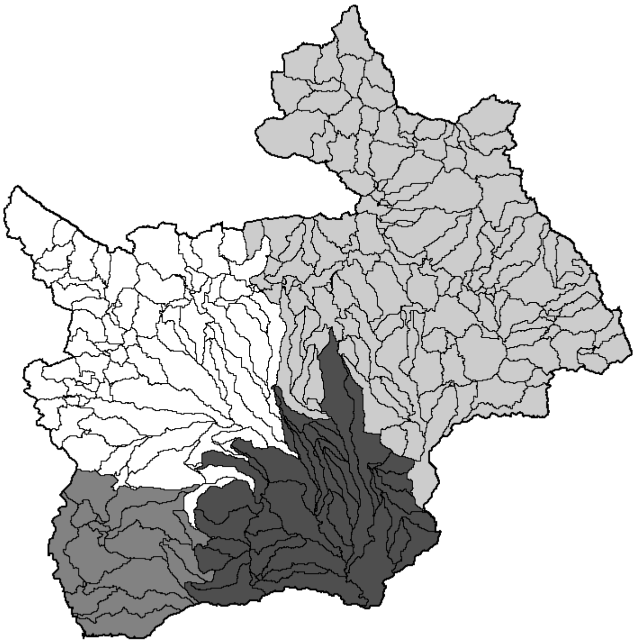
- กรณีการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่เริ่มต้น 15,000 เฮกตาร์ ผลนี้จะทำให้แบบจำลองมีจำนวนลุ่มน้ำย่อยมีจำนวนที่น้อยลงอยู่ที่ 21 ลุ่มน้ำย่อยและจะทำให้ลุ่มน้ำย่อยมีขนาดใหญ่ขึ้นมามาก จากผลนี้จะทำให้แบบจำลองแบ่งให้มีหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาได้จำนวน 680 HRUs (ภาพที่ 36) สำหรับการแบ่งที่ใหญ่นี้นนี้จะทำให้ลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดหี่ใหญ่ได้รับอิทธิพลของฝนจากสถานีที่มีปริมาณฝนที่สูงเช่นกัน ซึ่งผลของการแบ่งนี้จะทำให้ลุ่มน้ำมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนเพิ่มสูงขึ้นมาจากเดิม เท่ากับ 2,650 ม.ม.

ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า การกำหนดขนาดเริ่มต้นของพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยที่มีความแตกต่างกันนั้น มีผลทำให้ผลของการจำลองสภาพทางกายภาพของลุ่มน้ำมีความแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นทางด้านขนาด รูปร่าง จำนวนของลุ่มน้ำย่อย และยังมีผลทำให้การจำลองปริมาณน้ำฝน-น้ำท่ามีปริมาณที่ต่างกัน จากผลของการจำลองนี้ทำให้เห็นว่า แบบจำลองมีการนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (climate data) สำหรับการประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า โดยการใช้ข้อมูลของสถานีที่ใกล้กับจุดกึ่งกลาง (centroid) ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยมากที่สุดในการเป็นตัวแทน การจำลอง เนื่องมาจาก

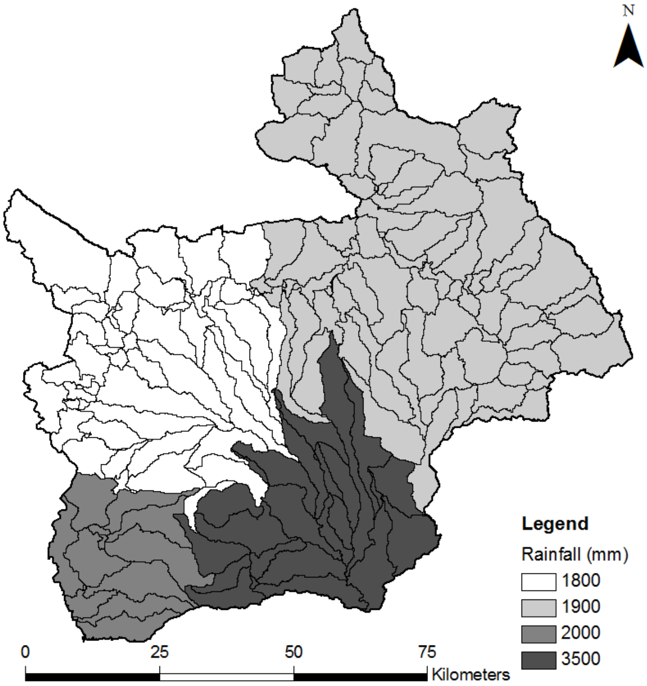
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาพโดยทั่วไปของลุ่มน้ำมีสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำมีเพียง 4 สถานีที่เป็นตัวแทนในการนำเข้าข้อมูลฝน และเนื่องด้วยสภาพของลุ่มน้ำที่ความแตกต่างกันอย่างมากของปริมาณฝนตั้งแต่ปริมาณเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 1,900 มม. ในที่ราบ แต่ในเขตที่สูงจะมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีมากกว่า 3,500 มม. และอิทธิพลของฝนจากสถานีที่มีปริมาณฝนที่สูงทำให้ผลการจำลองปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าของแบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำมีตวามแตกต่างกัน ดังนั้นการกำหนดขนาดเริ่มต้นของพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดใหญ่นั้นจะทำให้พื้นที่ลุ่มย่อยที่มีขนดใหญ่ได้รับอิทธิพลของฝนจากสถานีที่มีปริมาณฝนสูงนั้นเอง สำหรับการกำหนดขนาดเริ่มต้นของพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยให้มีขนาดที่เหมาะสมจะทำให้ลุ่มน้ำย่อยได้รับปริมาณฝนที่สม่ำเสมอ และใกล้เคียงกับความเป็นจริงของลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

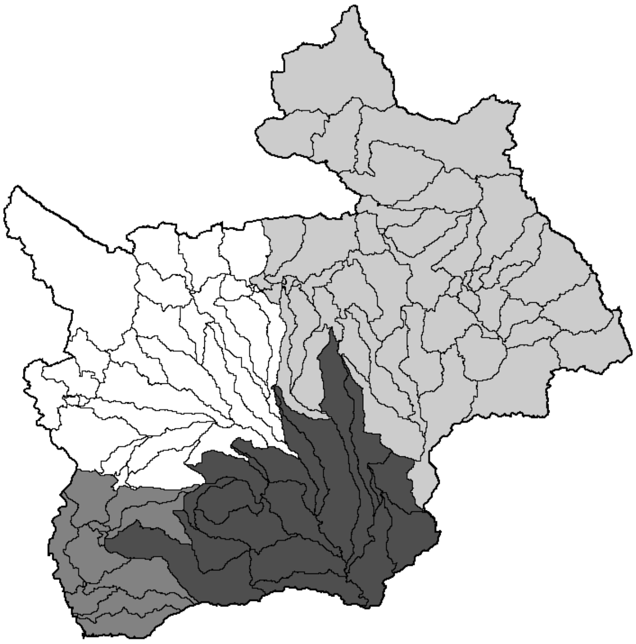


ภาพที่ 31 ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 1,500 เฮกตาร์

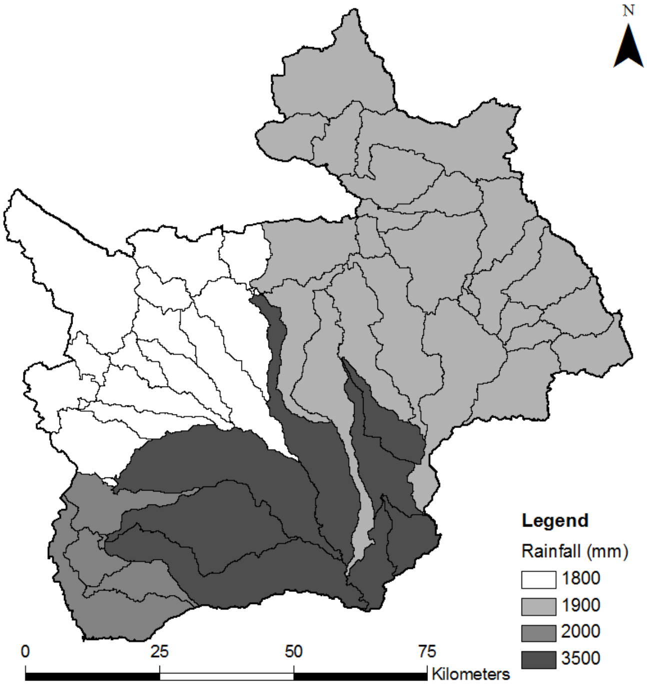


ภาพที่ 32 ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 2,500 เฮกตาร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

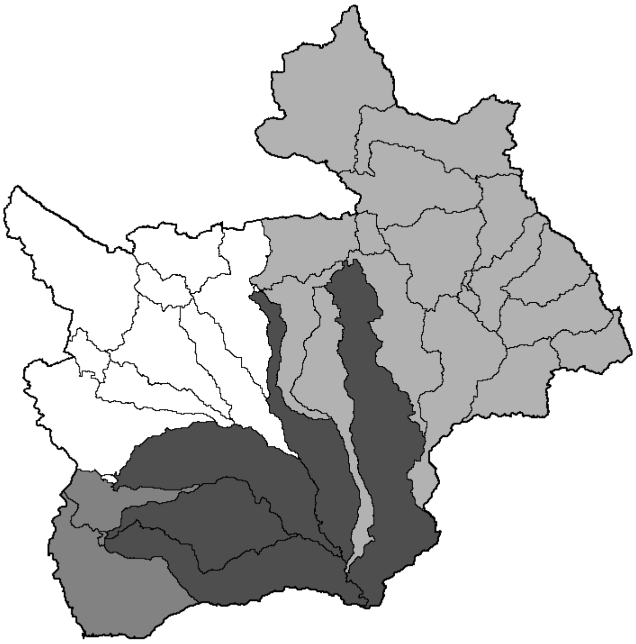


ภาพที่ 33 ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 5,000 เฮกตาร์

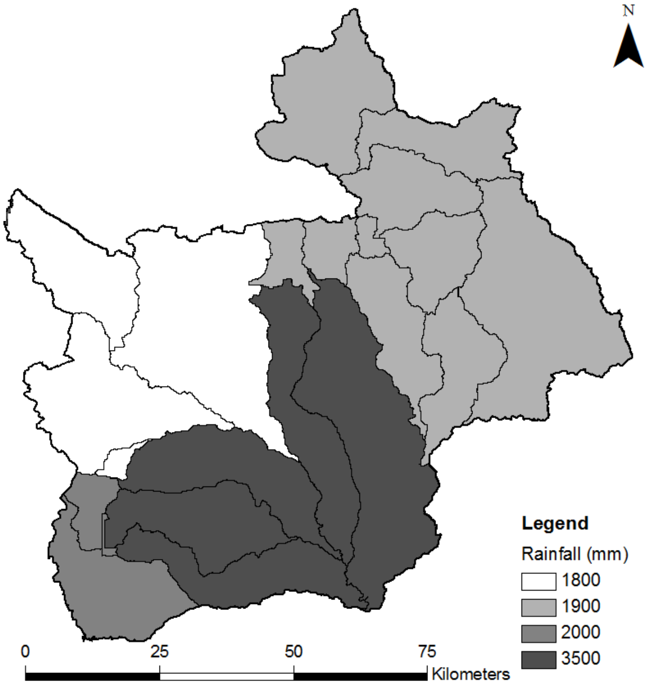


ภาพที่ 34 ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 7,500 เฮกตาร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 35 ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 10,000 เฮกตาร์



ภาพที่ 36 ลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยเมื่อมีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 15,000 เฮกตาร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 ผลการประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า

การประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าสำหรับการศึกษานี้ โดยใช้การกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามค่าพื้นฐานของแบบจำลองแนะนำไว้ ซึ่งพารามิเตอร์ในการจำลองได้จัดเก็บอยู่ในไฟล์แยกตามประเภทของพารามิเตอร์ ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับดิน (.SOL file) ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับอากาศ (.WGN file) ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลุ่มน้ำ (.SUB file) ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (.HRU file) ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลำน้ำ (.RTE file) ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการจัดการที่ดิน (.MGT file) จากนั้นทำการจำลอง ประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า และตรวจสอบผลจากการจำลอง

ขั้นตอนการประเมินผลของการจำลองของแต่ละกรณีศึกษา โดยการใช้ใช้ข้อมูลการตรวจน้ำท่าของสถานี Suvannakilli สำหรับการปรับเทียบผลของแบบจำลองว่ามีความแตกต่างและผลต่อการประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าของการจำลอง โดยการนำผลของการเลียนแบบ (simulate) สรุปเป็นรายเดือนเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจน้ำท่า (observed) ด้วยการพล๊อตกราฟ (scatter plot) เปรียบเทียบระหว่างค่าทั้งสอง จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ด้วย coefficient of determination (R^2) and Nash and Sutcliffe efficiency (NSE) เพื่อดูความแตกต่าง และปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า ของแต่ละกรณีศึกษาโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- กรณีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (threshold area) ที่ขนาดเริ่มต้นที่ 1,500 เฮกตาร์ พบว่า แบบจำลองได้ประเมินปริมาณการไหลของน้ำท่าใกล้เคียงกับปริมาณการตรวจน้ำท่า โดยผลของการจำลองที่ได้ แสดงให้เห็นถึงมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันสำหรับปริมาณการไหลของน้ำท่า ซึ่งที่มีความความสัมพันธ์กันดี ระหว่างผลที่ได้จากการจำลอง และค่าของปริมาณการตรวจน้ำท่า โดยสังเกตจากกราฟ (scatter plot) เปรียบเทียบค่าทั้งสอง สำหรับผลของการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากการจำลองในค่าที่สูงด้วย R^2 = 0.98 และ NSE = 0.90 ดังแสดงในภาพที่ 37

- กรณีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ขนาดเริ่มต้นที่ 2,500 เฮกตาร์ พบว่า การเพิ่มขนาดที่ใหญ่ขึ้นเล็กน้อย แต่แบบจำลองได้ประเมินปริมาณการไหลของน้ำท่าใกล้เคียงกับปริมาณการตรวจน้ำท่าเช่นกัน และผลแสดงให้เห็นถึงมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันสำหรับปริมาณการไหลของน้ำท่า ซึ่งที่มีความความสัมพันธ์กันดี และสังเกตจากกราฟ (scatter plot)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปรียบเทียบค่าทั้งสอง สำหรับผลของการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากการจำลองในค่าที่สูงด้วย R^2 = 0.98 และ NSE = 0.90 ดังแสดงในภาพที่ 38

- กรณีการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ขนาดเริ่มต้นที่ 5,000 เฮกตาร์ พบว่า การที่เพิ่มขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยให้ใหญ่ขึ้น ทำแบบจำลองประเมินปริมาณน้ำท่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น และผลยังแสดงให้เห็นถึงมีความสอดคล้องกันน้อยลงสำหรับค่าของปริมาณการไหลของน้ำท่า และปริมาณการตรวจน้ำท่า ซึ่งสังเกตได้จากกราฟ (scatter plot) เปรียบเทียบค่าทั้งสอง และสำหรับผลของการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากการจำลองด้วย R^2 = 0.97 และ NSE = 0.88 ดังแสดงในภาพที่ 39

- กรณีการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่ขนาดเริ่มต้นที่ 7,500 เฮกตาร์ พบว่า ผลจากการประเมินปริมาณน้ำท่านั้นมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และการจำลองที่ได้ แสดงให้เห็นค่าของปริมาณน้ำท่ามีความความสัมพันธ์กันน้อยลงไประหว่างค่าของการจำลอง และค่าของปริมาณการตรวจน้ำท่า ด้วยการสังเกตได้จากกราฟ (scatter plot) เปรียบเทียบค่าทั้งสอง และสำหรับผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทำให้ได้ค่าของ R^2 = 0.97 และ NSE = 0.86 ดังแสดงในภาพที่ 40

- กรณีการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่ขนาดเริ่มต้นที่ 10,000 เฮกตาร์ พบว่า การที่เพิ่มขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้ผลของการจำลองได้ปริมาณน้ำท่าที่สูงกว่าความเป็นจริงและทำผลของการจำลองมีความความสัมพันธ์กันน้อยลงไปจากเดิมระหว่างค่าของการจำลองและค่าของการปริมาณการตรวจน้ำท่า ซึ่งผลนี้สังเกตได้จากกราฟ (scatter plot) เปรียบเทียบค่าทั้งสองค่า ซึ่งผลการประเมินประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองจะได้ค่าของ R^2 = 0.96 และ NSE = 0.85 ดังแสดงในภาพที่ 41

- กรณีการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำที่เริ่มต้นที่ 15,000 เฮกตาร์ จะทำให้ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองมีปริมาณที่มาก ผลของการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ใหญ่นี้ทำให้มีความความสัมพันธ์กันน้อยลงอย่างมากระหว่างค่าของการจำลอง และค่าของปริมาณการตรวจน้ำท่า และสังเกตได้จากกราฟ (scatter plot) เปรียบเทียบค่าทั้งสองค่า ซึ่งผลการประเมินประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองมีค่าที่ลดลง ที่ค่า R^2 = 0.96 และ NSE = 0.83 ดังแสดงในภาพที่ 42

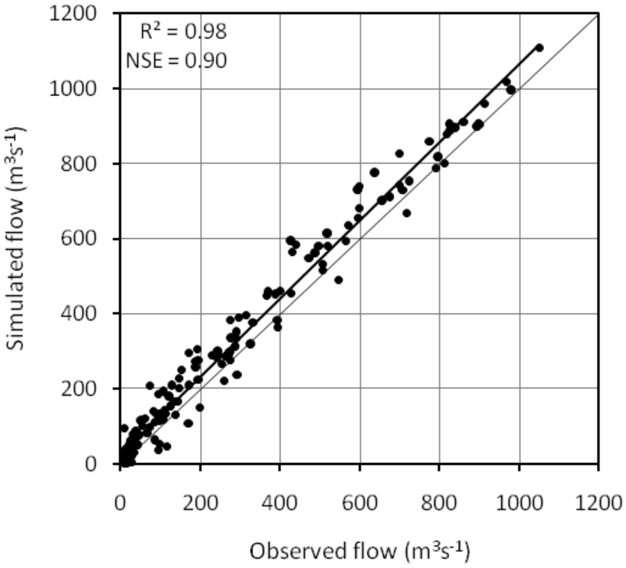
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า วิธีการกำหนดขอบเขตพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดเล็กลงจะทำให้แบบจำลองแบ่งลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มย่อยที่มีจำนวนมากขึ้น และยังทำให้แบบจำลองประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าต่อพื้นที่น้อยลง และผลนี้จะทำให้การเลียนแบบจากแบบจำลองใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น และทำให้ค่าของการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าของ R^2 และ NSE ในค่าที่สูง และสำหรับกำหนดขอบเขตพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้นจะทำให้แบบจำลองแบ่งลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มย่อยมีจำนวนน้อยลง และจะทำให้แบบจำลองประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าเพิ่มมากขึ้นเกินความเป็นจริง ซึ่งผลนี้จะทำให้ผลการจำลอง ระหว่างค่าการเลียนแบบ และค่าของการเฝ้าสังเกตมีสอดคล้องกันน้อยลง และค่าของการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย R^2 และ NSE ได้ค่าที่ต่ำกว่าด้วยเช่นกัน ดังแสดงตารางที่ 12

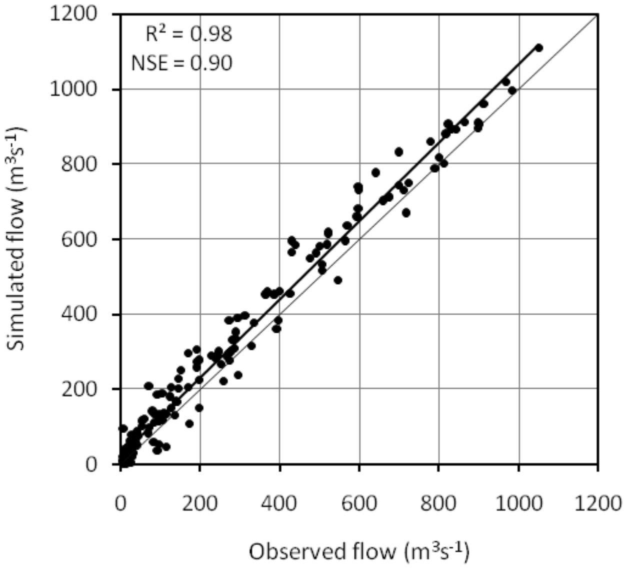
ตารางที่ 12 ผลของการกำหนดขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นของบบจำลองในแต่ละกรณีศึกษา

ลำดับ	การกำหนดพื้นที่ (เฮกตาร์)	ลุ่มน้ำย่อย	จำนวน (HRUs)	ปริมาณฝน (ม.ม.ต่อปี)	ปริมาณน้ำท่า (ม.ม.ต่อปี)	R^2	NSE
1	1,500	268	3,520	2,150	1,350	0.98	0.90
2	2,500	160	2,460	2,150	1,350	0.98	0.90
3	5,000	104	1,830	2,250	1,450	0.97	0.88
4	7,500	54	1,220	2,340	1,530	0.97	0.86
5	10,000	36	880	2,390	1,590	0.96	0.85
6	15,000	21	680	2,650	1,760	0.94	0.83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

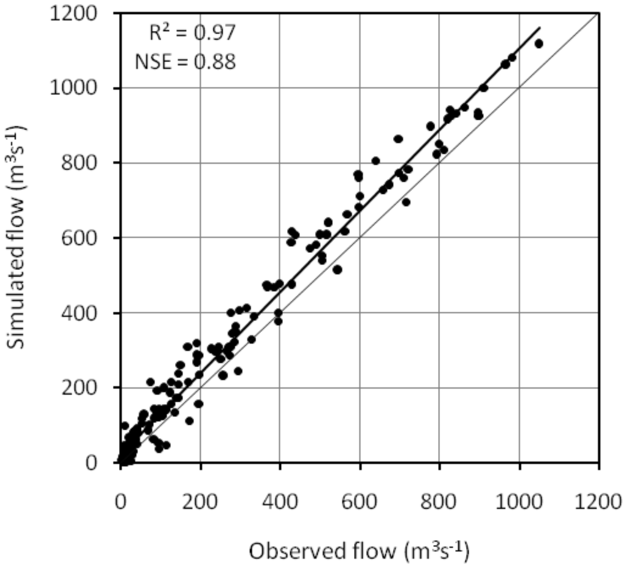


ภาพที่ 37 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 1,500 เฮกตาร์

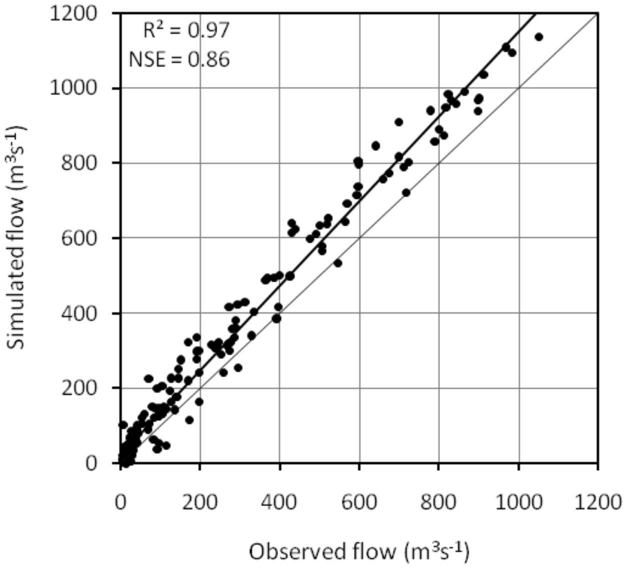


ภาพที่ 38 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 2,500 เฮกตาร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

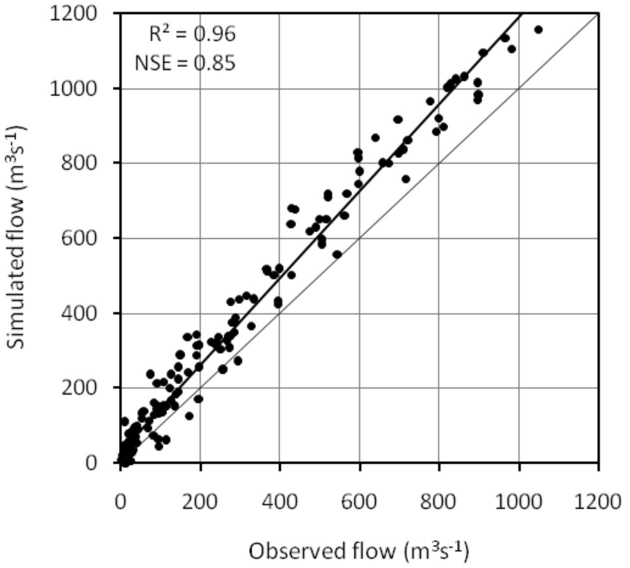


ภาพที่ 39 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 5,000 เฮกตาร์

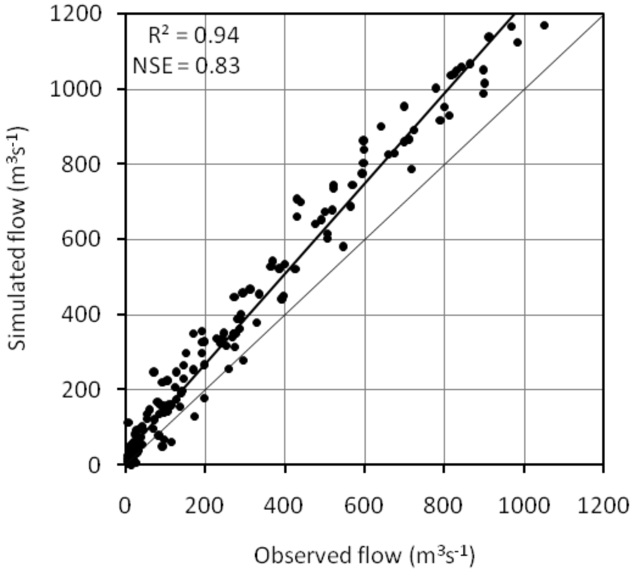


ภาพที่ 40 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 7,500 เฮกตาร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 41 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 10,000 เฮกตาร์



ภาพที่ 42 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าการตรวจวัดในการแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ 15,000 เฮกตาร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 เกณฑ์การเลือกแบบจำลอง

การเลือกแบบจำลองมีความมากสำหรับการที่จะนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมที่จะเป็นตัวแทนของแบบจำลอง ซึ่งการเลือกแบบจำลองครั้งนี้อยู่บนเกณฑ์ของความเหมาะสม และความหน้าเชื่อถือของแบบจำลอง ด้วยผลของการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย coefficient of determination (R^2) (Krause *et al*., 2005) and Nash and Sutcliffe efficiency (NSE) (Moriasi *et al*., 2007) โดยค่าของการจำลอง (simulate) และค่าที่วัดจากสถานีวัดน้ำท่า (observed) และผลของการตรวจสอบความเข้ากันได้ดีระหว่างกราฟน้ำท่าที่ได้จากการจำลองกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากสถานีวัดน้ำท่าในแต่ละกรณีศึกษา โดยมีผลดังนี้

ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า การกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1,500 และ 2,500 เฮกตาร์ พบว่า ค่าที่ได้การจำลองและค่าของการตรวจวัดมีการเกาะกลุ่มกันในทิศทางเดียวกันและมีความสอดคล้องกันมาก ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองมี่ค่าที่สูง ด้วยค่าของ R^2 = 0.98 และ NSE = 0.90 และสำหรับกรณีกำหนดขอบเขตพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้น จะทำให้ผลของการจำลองมีสอดคล้องกันน้อยลง ระหว่างค่าการจำลอง และค่าของการตรวจวัด และมีผลทำให้การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย R^2 และ NSE ได้ค่าที่ต่ำกว่าด้วยเช่นกัน

การกำหนดขอบเขตพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยให้มีความเหมาะสมมีส่วนสำคัญมากสำหรับการประเมินประเมินผลของแบบจำลองแต่ในทางกลับกันถ้าหากการกำหนดขนาดเริ่มต้นของพื้นให้มีขนาดของลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดเล็กมากเกินไปจะทำให้แบบจำลองนั่นใช้เวลาในการจำลอง และยังจะทำให้จำนวนของลุ่มน้ำย่อย มากเกินความจำเป็นโดยที่ไม่ได้ทำให้การปรับปรุงผลการประเมินดีขึ้นกว่าเดิมดังนั้นต้องคำนึงวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ซึ่งจะมีผลต่อการวิเคราะห์ผลของแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป

สำหรับการศึกษานี้ครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้การแบ่งขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเริ่มต้นที่ขนาดเริ่มต้นของ 2,500 เฮกตาร์ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองในกรณีนี้มีการแบ่งลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 160 ลุ่มน้ำย่อย และมีจำนวนเท่ากับ 2,460 HRUs ด้วยเหตุผลของการแบ่งขนาดนี้จะทำให้แบบจำลองประเมินผลได้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด และทำให้ได้จำนวนลุ่มน้ำย่อยไม่มากจนเกินไป โดยจะมีผลต่อการวิเคราะห์สถานการณ์การใช้น้ำของลุ่มน้ำย่อยในขั้นตอนต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

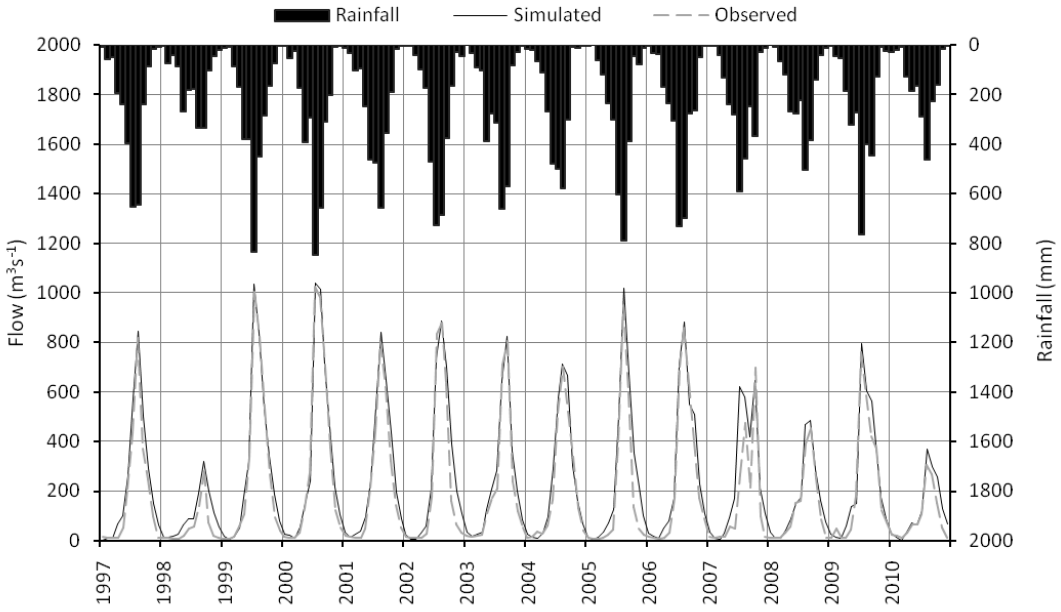
2.5 การปรับแบบจำลอง (model fine-tuning)

การปรับแบบจำลองเป็นการทำให้แบบจำลองประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของการใช้น้ำในลุ่มน้ำที่กำลังศึกษาอยู่ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาให้แบบจำลองได้มีการดึงน้ำจากลำน้ำเซโดนมาใช้เพิ่มในพื้นที่ชลประทาน (irrigation area) ในสภาพความเป็นจริงที่มีการปลูกข้าวในช่วงฤดูแล้งในปัจจุบันของลุ่มน้ำเซโดน

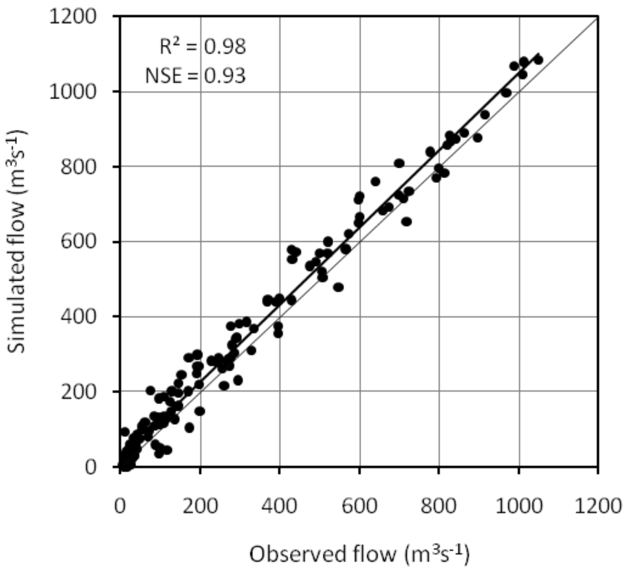
ผลจากการจำลอง แสดงให้เห็นว่า การจำลองใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ด้วยผลจากการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ในค่าที่สูงขึ้นจากเดิม มีค่าอยู่ที่ R^2= 0.98 และ NSE = 0.93 ผลที่ได้ยังความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันของทั้งสองกลุมข้อมูลทั้งสอง โดยผลของปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่าอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคมของปี และปริมาณการไหลของน้ำท่าต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคมของปี โดยปริมาณการไหลของน้ำท่าของปี ค.ศ. 1999 และปี ค.ศ. 2000 มีปริมาณที่สูง และปี ค.ศ. 1998 และปี ค.ศ. 2010 มีปริมาณการไหลของน้ำท่าที่ต่ำ และแบบจำลองเองยังได้แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองได้อย่างชัดเจนของปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา ด้วยการพล๊อตกราฟ (plot graph) เปรียบเทียบ ซึ่งมีความสอดคล้องกันอย่างมากของปริมาณปริมาณฝน และปริมาณการไหลของลำน้ำในแต่ละเดือน (ภาพที่ 43) และกราฟ (scatter plot) (ภาพที่ 44) โดยภาพโดยรวมของการจำลองแล้วค่อนข้างเป็น Over estimation เนื่องจากปริมาณฝนที่สูงจากสถานีเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อแบบจำลอง

ผลการจำลอง พบว่า แบบจำลองใช้สมการสมดุลน้ำ (water balance) มาพิจารณากระบวนทางอุทกวิทยา ซึ่งสามารถแยกวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของแต่ละลุ่มน้ำย่อยออกเป็นส่วนหลักๆ ได้แก่ปริมาณฝน (rainfall) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่อลุ่มน้ำประมาณ 2,150 ม.ม. ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยของพืช (evapotranspiration) มีค่าเฉลี่ยต่อลุ่มน้ำประมาณ 805 มม. ปริมาณการเกิดน้ำท่า (water yield) มีค่าเฉลี่ยต่อลุ่มน้ำประมาณ 1,340 ม.ม. โดยค่านี้จะประกอบไปด้วย (surface runoff มีค่าเฉลี่ยประมาณ 580 ม.ม. lateral flow มีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 ม.ม. และ groundwater ค่าเฉลี่ยประมาณ 560 ม.ม.) จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสามารถในการจำลองกระบวนทางอุทกวิทยาในพื้นที่ที่มีความจำกัดทางด้านข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ความแตกต่างของสภาพสภาพภูมิประเทศและปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งผลจากการจำลองครั้งนี้ยังสามารถใช้วิเคราะห์บัญชีน้ำในระดับลุ่มน้ำเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผน การบริหารจัดการในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 43 กราฟแสดงค่าของปริมาณการไหลเฉลี่ยรายเดือนระหว่างค่าการจำลองและค่าของการตรวจวัด กับค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน ช่วงปี 1997 ถึง 2010



ภาพที่ 44 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการจำลองและค่าของการตรวจวัด ช่วงปี 1997 ถึง 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

การวิเคราะห์บัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดน จะพิจารณาผลจากแบบจำลอง SWAT เฉพาะข้อมูลความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าเท่านั้น โดยการจำลองของ 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย การจำลองสถานการณ์ที่พิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว (without irrigation) กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน (current irrigation) และกรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ (full potential irrigation) จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์สมดุลน้ำแบบรายฤดูกาล และวิเคราะห์บัญชีน้ำเฉลี่ยรายปี โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวิเคราะห์สมดุลน้ำ (water balance)

การวิเคราะห์สมดุลน้ำครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง SWAT ของ 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย การจำลองสถานการณ์ที่พิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน และกรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ โดยทำการสรุปผลเป็นค่าเฉลี่ยรายฤดูกาล และการสรุปผลเป็นค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลของปีที่มีปริมาณฝนน้อยและปีที่มีปริมาณฝนมากของลุ่มน้ำ

ผลการจำลอง พบว่า แบบจำลอง SWAT ได้แยกองค์ประกอบของสมดุลน้ำของแต่ละลุ่มน้ำย่อยออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งพิจารณาปริมาณฝน (rainfall) ส่วนที่สองเป็นปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจาก การคายระเหย (evapotranspiration) และปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำ (outflow) ซึ่งมีผลที่ได้ดังนี้

3.1.1 กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณฝนเป็นที่มาของปริมาณน้ำที่เข้าพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนทั้งหมดซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2,150 มม. โดยปริมาณน้ำส่วนที่ไหลออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยน้ำจากลุ่มน้ำย่อยมีปริมาณน้ำเฉลี่ยประมาณ 790 มม. คิดเป็น 37% เทียบกับปริมาณน้ำที่สูญหายไปในลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,360 มม. โดยคิดเป็น 63% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปทั้งหมดของลุ่มน้ำดังแสดงในภาพที่ 45 และภาพที่ 48

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์สมดุลน้ำของลุ่มน้ำกรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้า (inflow) ของพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 15,598 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำในช่วงฝนจะมีปริมาณสูงกว่า เทียบกับช่วงแล้งเท่ากับ 14,084 ล้าน ลบ.ม. และ 1,514 ล้าน ลบ.ม. ส่วนมีปริมาณน้ำที่สูญหายไป (depleted water) จากพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 5,736 ล้าน ลบ.ม. ในส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไปนช่วงฝน จะมีปริมาณที่สูงกว่าเทียบกับช่วงแล้งเท่ากับ 3,708 ล้าน ลบ.ม. และ 2,028 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำไหลออกสู่ลำน้ำ (outflow) รวมทั้งสิ้น 9,862 ล้าน ลบ.ม. โดยในช่วงฝน มีปริมาณสูงกว่าช่วงแล้ง 8,582 ล้าน ลบ.ม. เทียบกับ 1,281 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในตารางที่ 13

ผลการวิเคราะห์สมดุลน้ำ ในปีที่มีปริมาณฝนมาก พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 17,024 ล้าน ลบ.ม. โดยช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำสูงกว่า เทียบกับช่วงแล้ง ประมาณ 90%. โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 6,153 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงฝนจะมีปริมาณสูงกว่าประมาณ 60% และปริมาณน้ำไหลออก รวมทั้งสิ้น 10,871 ล้าน ลบ.ม. ช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำท่าสูงมากประมาณ 9,633 ล้าน ลบ.ม. และช่วงแล้งมีปริมาณน้ำเท่ากับ 1,237 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในตารางที่ 14

สำหรับปีที่มีปริมาณฝนน้อย พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 10,791 ล้าน ลบ.ม. โดยช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำสูงกว่า เทียบกับช่วงแล้ง ประมาณ 90%. โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 5,673 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงฝนจะมีปริมาณสูงกว่าประมาณ 70% และปริมาณน้ำไหลออกรวมทั้งสิ้น 5,119 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำท่าสูงมากประมาณ 90% ดังแสดงในตารางที่ 15

3.1.2 กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

ผลการวิเคราะห์พบว่า ได้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยน้ำของลุ่มน้ำย่อย เนื่องจากแบบจำลองได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชเพิ่มในพื้นที่มีการใช้น้ำชลประทานในช่วงแล้ง โดยมีปริมาณการคายระเหยน้ำเฉลี่ยประมาณ 800 มม. คิดเป็น 38% เทียบกับปริมาณน้ำที่สูญหายไป และส่วนของปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยมีปริมาณน้ำที่ลดลงจากเดิม โดยมีปริมาณน้ำเฉลี่ยประมาณ 1,350 มม. คิดเป็น 62% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปทั้งหมดจากลุ่มน้ำดังแสดงในภาพที่ 46 และภาพที่ 49

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์สมดุลน้ำของลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญหายของลุ่มน้ำจากการคายระเหยของพืชประมาณ 5,776 ล้าน ลบ.ม. โดยช่วงฤดูแล้งมีปริมาณน้ำที่สูญหายของลุ่มน้ำจากการคายระเหยของพืชมีปริมาณเท่ากับ 2,054 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็น 36% และปริมาณน้ำที่สูญหายของลุ่มน้ำจากการคายระเหยของพืชในช่วงฤดูฝนมีปริมาณเท่ากับ 3,722 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็น 64% แสดงว่าปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงฝน จะมีปริมาณสูงกว่า เทียบกับช่วงแล้ง ส่วนปริมาณน้ำไหลออกสู่ลำน้ำ (outflow) รวมทั้งสิ้น 9,822 ล้าน ลบ.ม. โดยในช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำไหลออกประมาณ 88% ดังแสดงในตารางที่ 16

ผลการวิเคราะห์สมดุลน้ำ สำหรับปีที่มีปริมาณฝนมาก พบว่า มีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 6,196 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงฝนจะมีปริมาณสูงกว่าประมาณ 60% และปริมาณน้ำไหลออกสู่ลำน้ำรวมทั้งสิ้น 10,828 ล้าน ลบ.ม. โดยช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำท่าสูงมากมีปริมาณเท่ากับ 9,593 ล้าน ลบ.ม. และช่วงแล้งมีปริมาณน้ำเท่ากับ 1,235 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในตาราง 17

สำหรับปีที่มีปริมาณฝนน้อย พบว่า มีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 5,712 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงฝนจะมีปริมาณสูงกว่าประมาณ 70% และปริมาณน้ำไหลออกสู่ลำน้ำรวมทั้งสิ้น 5,080 ล้าน ลบ.ม. ช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำท่าสูงมากประมาณประมาณ 90% ดังแสดงในตารางที่ 18

3.1.3 กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยน้ำจากลุ่มน้ำย่อยเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยน้ำเฉลี่ยประมาณ 840 มม. คิดเป็น 40% เทียบกับปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ และเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีการลดลงของปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยมีปริมาณน้ำเฉลี่ยประมาณ 1,310 มม. คิดเป็น 60% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปทั้งหมดจากลุ่มน้ำดังแสดงในภาพที่ 47 และภาพที่ 50

การวิเคราะห์สมดุลน้ำของลุ่มน้ำเซโดนในกรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดน พบว่า มีปริมาณน้ำที่สูญหายของลุ่มน้ำจาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคายระเหยของพืชเพิ่มมากขึ้นอีกประมาณ 6,093 ล้าน ลบ.ม. โดยช่วงฤดูแล้งมีปริมาณน้ำที่สูญหายของลุ่มน้ำจากการคายระเหยของพืชมีปริมาณเท่ากับ 2,263 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็น 38% และปริมาณน้ำที่สูญหายของลุ่มน้ำจากการคายระเหยของพืชในช่วงฤดูฝนมีปริมาณ 3,830 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็น 62% แสดงว่าปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงฝน จะมีปริมาณสูงกว่า เทียบกับช่วงแล้ง ส่วนปริมาณน้ำไหลออกสู่ลำน้ำ (outflow) รวมทั้งสิ้น 9,505 ล้าน ลบ.ม. โดยในช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำไหลออกประมาณ 86% ดังแสดงในตารางที่ 19

ผลการวิเคราะห์สมดุลน้ำ ปีที่มีปริมาณฝนมาก พบว่า มีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 6,513 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงฝนจะมีปริมาณสูงกว่าประมาณ 60% และปริมาณน้ำไหลออกสู่ลำน้ำรวมทั้งสิ้น 10,511 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำท่าสูงมากมีปริมาณเท่ากับ 9,298 ล้าน ลบ.ม. และช่วงแล้งมีปริมาณน้ำเท่ากับ 1,213 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในตารางที่ 20

สำหรับส่วนปีที่มีปริมาณฝนม้อย พบว่า มีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 6,027 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงฝนจะมีปริมาณสูงกว่าประมาณ 70% และปริมาณน้ำไหลออกสู่ลำน้ำรวมทั้งสิ้น 4,782 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งช่วงฝนจะมีปริมาณน้ำท่าสูงมากประมาณประมาณ 90% ดังแสดงในตารางที่ 21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 สมดุลน้ำรายฤดูกาลเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,514.16	14,083.97	15,598.13
Outflow			
evapotranspiration	2,028.33	3,707.57	5,735.90
runoff	1,280.58	8,581.65	9,862.23

ตารางที่ 14 สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนมากเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,608.24	15,415.32	17,023.56
Outflow			
evapotranspiration	2,379.57	3,773.47	6,153.04
runoff	1,237.10	9,633.42	10,870.52

ตารางที่ 15 สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนน้อยเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,130.52	9,660.96	10,791.48
Outflow			
evapotranspiration	1,824.52	3,848.31	5,672.83
runoff	977.75	4,140.90	5,118.65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 สมดุลน้ำรายฤดูกาลเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,514.16	14,083.97	15,598.13
Outflow			
evapotranspiration	2,054.44	3,722.03	5,776.47
runoff	1,277.98	8,543.68	9,821.66

ตารางที่ 17 สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนมากเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,608.24	15,415.32	17,023.56
Outflow			
evapotranspiration	2,412.44	3,783.09	6,195.53
runoff	1,234.71	9,593.32	10,828.08

ตารางที่ 18 สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนน้อยเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,130.52	9,660.96	10,791.48
Outflow			
evapotranspiration	1,850.97	3,860.62	5,711.59
runoff	971.05	4,108.84	5,079.89

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 สมดุลน้ำรายฤดูกาลเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,514.16	14,083.97	15,598.13
Outflow			
evapotranspiration	2,263.47	3,829.99	6,093.46
runoff	1,254.69	8,249.98	9,504.67

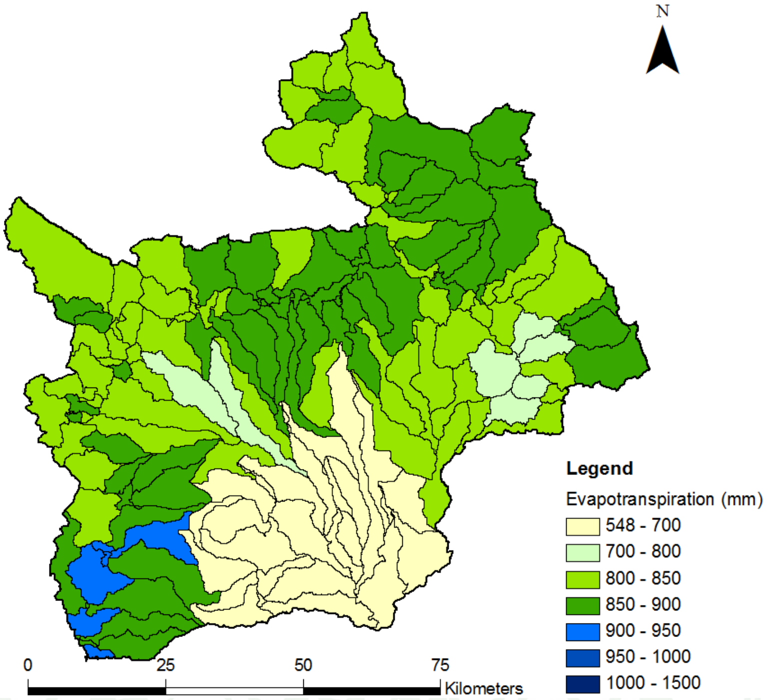
ตารางที่ 20 สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนมากเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,608.24	15,415.32	17,023.56
Outflow			
evapotranspiration	2,649.50	3,863.22	6,512.72
runoff	1,212.92	9,297.92	10,510.84

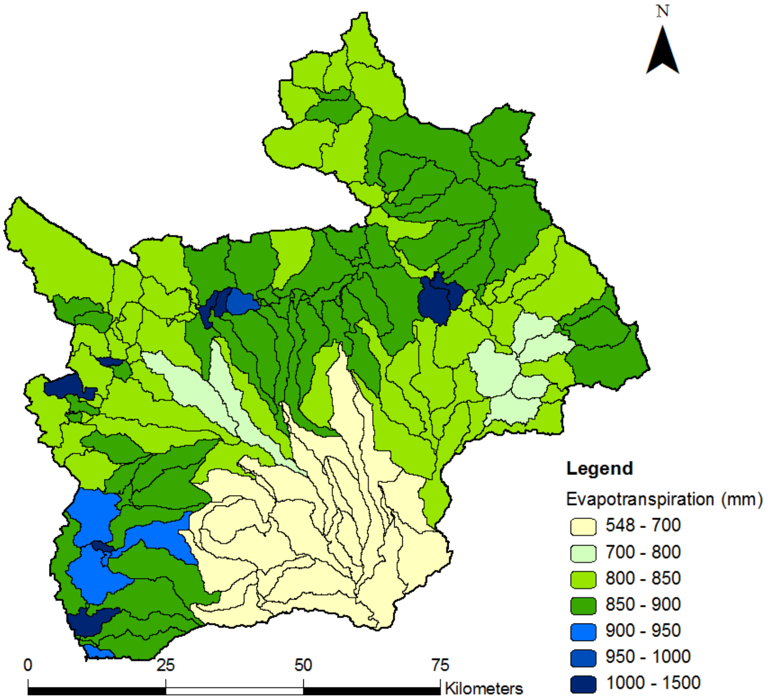
ตารางที่ 21 สมดุลน้ำรายฤดูกาลสำหรับปีที่มีปริมาณฝนน้อยเปรียบเทียบ ช่วงแล้งและช่วงฝน กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

Water balance	**ฤดูแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)**	**ฤดูฝน (พ.ค. – ต.ค.)**	**ทั้งปี**
	(ล้าน ลบ.ม.)	**(ล้าน ลบ.ม.)**	**(ล้าน ลบ.ม.)**
Inflow			
rainfall	1,130.52	9,660.96	10,791.48
Outflow			
evapotranspiration	2,069.96	3,956.55	6,026.51
runoff	914.46	3,850.51	4,781.97

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

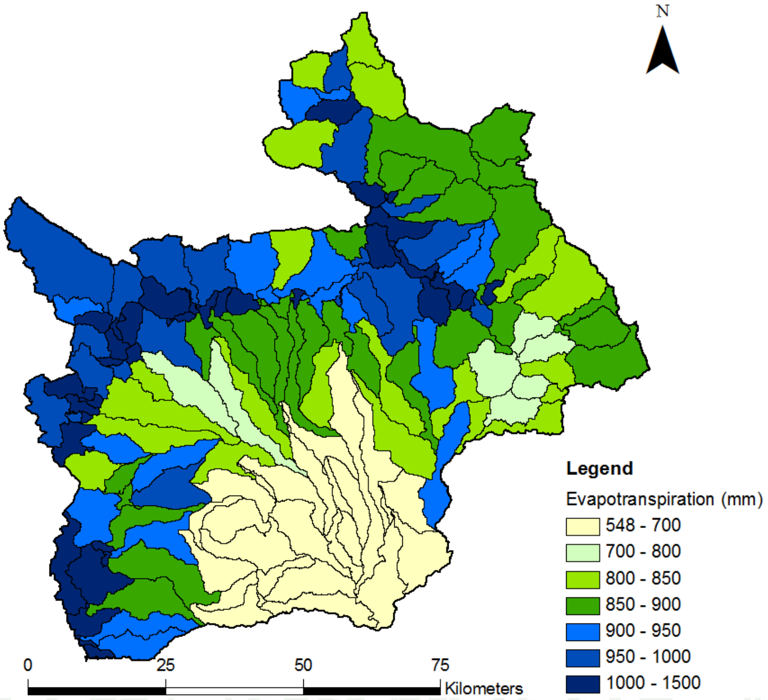


ภาพที่ 45 ปริมาณการคายระเหยของพืชในลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

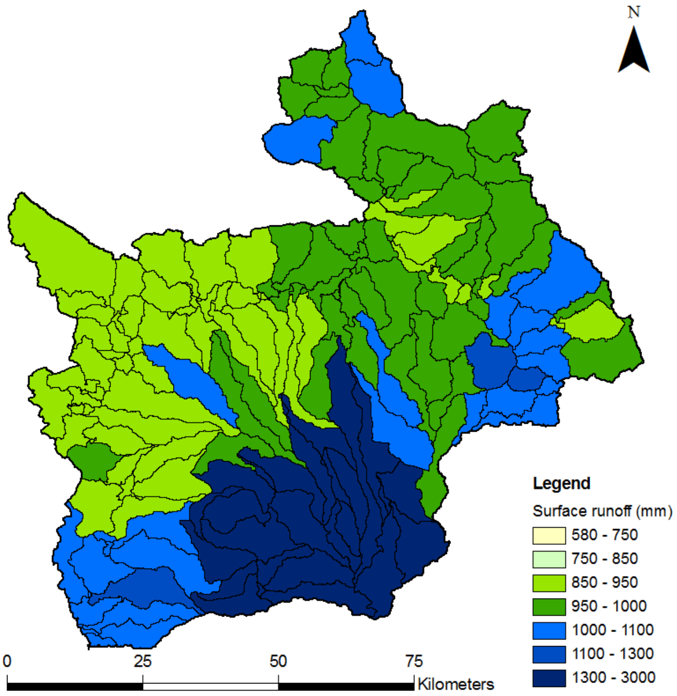


ภาพที่ 46 ปริมาณการคายระเหยของพืชในลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

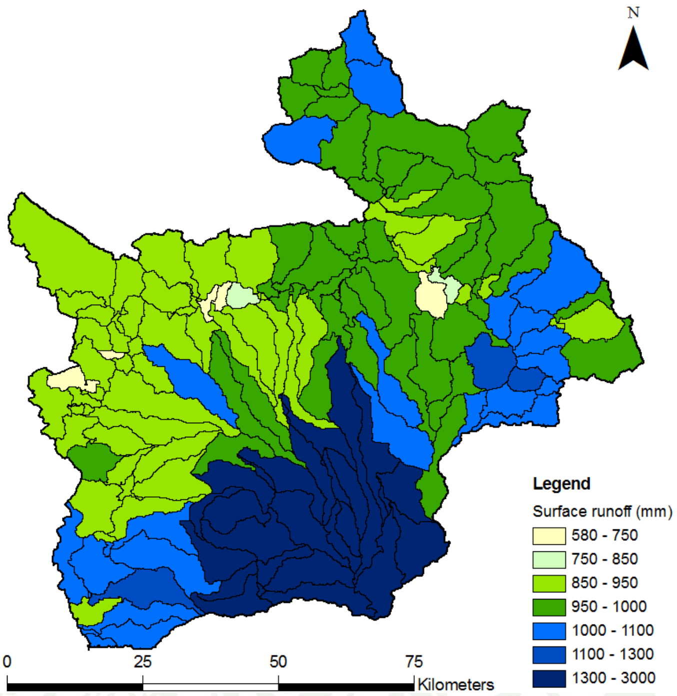


ภาพที่ 47 ปริมาณการคายระเหยของพืชในลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

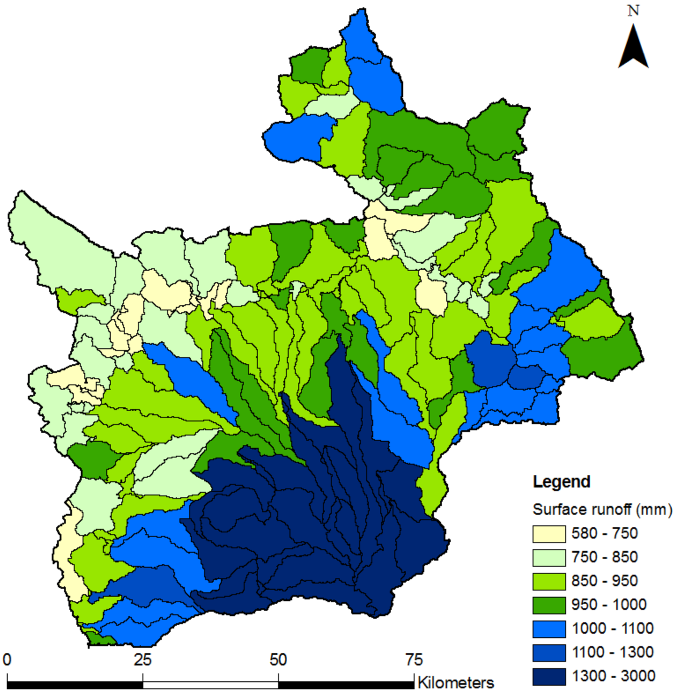


ภาพที่ 48 ปริมาณการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 49 ปริมาณการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

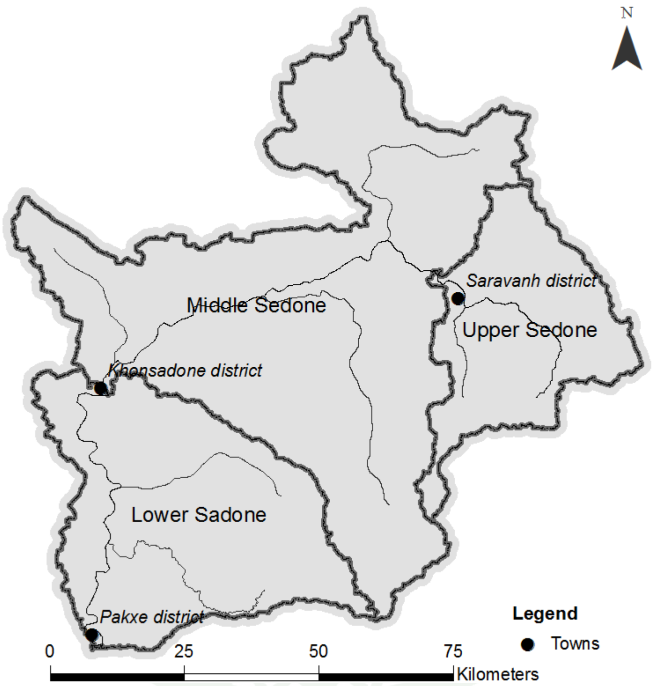


ภาพที่ 50 ปริมาณการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อย กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การวิเคราะห์บัญชีน้ำ (water accounting)

การวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำของ 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน และกรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดน และการวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีของการใช้น้ำในแต่ละช่วงของลำน้ำ ซึ่งแยกพื้นที่เป็นสามส่วนส่วนประกอบด้วย พื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน (upper sedone) พื้นที่ตอนกลาง (middle sedone) และพื้นที่ตอนล่าง (lower sedone) ดังแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 51 การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนเพื่อการวิเคราะห์บัญชีน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.1 การวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ

การวิเคราะห์บัญชีน้ำ เป็นการสรุปผลรายปีทั้งลุ่มน้ำของ 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว (without irrigation) กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน (current irrigation) และกรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดน (full potential irrigation) โดยอธิบายได้ดังนี้

1) กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

ผลจากการวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน พบว่าปริมาณฝน (rainfall) เป็นที่มาของน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนทั้งหมดซึ่งมีค่าประมาณ 15,598 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณส่วนที่ออกจากพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) มีปริมาณน้ำ 5,786 ล้าน ลบ.ม. โดยแยกได้เป็น ปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ (non processed depletion) มีปริมาณน้ำ 4,149 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ (processed depletion) มีปริมาณน้ำ 1,637 ล้าน ลบ.ม. หรือเท่ากับ 27% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไป ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่เป็นปริมาณการคายระเหยน้ำของป่าไม้เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ครอบคลุมประมาณ 70% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในส่วน ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ (streamflow) มีปริมาณน้ำ 9,811 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งในส่วนนี้จะรวมปริมาณน้ำที่มีข้อผูกพัน (committed outflow) เป็นปริมาณน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศน์ของลำน้ำมีปริมาณน้ำ 500 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในภาพที่ 52 และตารางที่ 22

ผลการวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณน้ำที่สูญหายไป DF(net) เทียบกับน้ำที่เข้าระบบมีค่า 0.370 หรือประมาณ 37% ส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไป DF(available) เทียบกับน้ำที่นำมาใช้ได้มีค่า 0.383 หรือประมาณ 38% สำหรับปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไป PF(depleted) เทียบกับน้ำเพื่อก่อให้เกิดผลผลิดมีค่า 0.282 หรือประมาณ 28% และปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไป PF(available) เทียบกับน้ำน้ำที่นำมาใช้ได้มีค่า 0.108 หรือประมาณ 10% จากผลของการวิเคราะห์ แสดงว่า มีการใช้น้ำที่ในลุ่มน้ำข้างน้อย เนื่องจากกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ของมนุษย์น้อย โดยภาพรวมแล้วลุ่มน้ำเซโดนอยู่ในสภาวะที่สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์เพิ่มได้อีก ดังแสดงในตารางที่ 22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน

การวิเคราะห์บัญชีน้ำพบว่า ปัจจุบันลุ่มน้ำเซโดนมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) คิดเป็นปริมาณน้ำ 5,826 ล้าน ลบ.ม. จากผลนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำเมื่อเทียบกับกรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ (non processed depletion) มีปริมาณน้ำ 4,149 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งในส่วนนี้เป็นการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ (non processed depletion) มีปริมาณน้ำ 1,677 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็น 28% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไป ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณการใช้น้ำของพืชที่เพิ่มขึ้นนั้นอยู่ในพื้นที่ที่มีการทำชลประทานปลูกข้าวในฤดูแล้งของลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ (streamflow) มีปริมาณน้ำที่ลดลงจากเดิมเหลือปริมาณน้ำ 9,760 ล้าน ลบ.ม. ผลนี้แสดงให้เห็นว่าการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้เพิ่มในพื้นที่ชลประทานที่มีการปลูกข้าวในฤดูแล้งตามสภาพปัจจุบันนั้น มีผลให้ลุ่มน้ำเซโดนมีการใช้น้ำเพิ่มเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 53 และตารางที่ 23

ผลการวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณน้ำที่สูญหายไป DF(net) มีค่า 0.375 หรือประมาณ 38% ส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไป DF(available) มีค่า 0.387 หรือประมาณ 39% สำหรับปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไป PF(depleted) มีค่า 0.289 หรือประมาณ 29% และปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไป PF(available) มีค่า 0.111 หรือประมาณ 11% ผลของการวิเคราะห์ แสดงว่า กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน ไม่มีผลกระทบต่อการใช้น้ำที่ในลุ่มน้ำเนื่องจากกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ของมนุษย์น้อยโดยเฉพาะพื้นที่ชลประทานยังมีไม่มากนัก ซึ่งภาพโดยรวมลุ่มน้ำเซโดนยังสามารถพัฒนาแหล่งน้ำเพิ่มได้อีก ดังแสดงตารางที่ 23

3) กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

จากผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำ พบว่า ปริมาณของน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) มีปริมาณน้ำ 6,143 ล้าน ลบ.ม. หรือประมาณ 39% เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด โดยเป็นการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ (non processed depletion) มีปริมาณน้ำ 1,994 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็น 32% เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สูญหายไป ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า มีปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มสูงขึ้นไปมากโดยเป็นการเพิ่มขึ้นในส่วนที่จะมีการใช้น้ำของพื้นที่ชลประทานของลุ่มน้ำ และถ้าหากมีการดึงน้ำจากลำน้ำเซโดนมาใช้ในช่วงแล้งแล้วจะมีปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำมีปริมาณลดลง เหลือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9,451 ล้าน ลบ.ม. จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าลุ่มน้ำเซโดนจะมีการใช้น้ำเพิ่มเป็น 13% ของปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ ดังแสดงในภาพที่ 54 และตารางที่ 24

ผลการวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณน้ำที่สูญหายไป DF(net) มีค่า 0.393 หรือประมาณ 39% ส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไป DF(available) มีค่า 0.406 หรือประมาณ 40% สำหรับปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไป PF(depleted) มีค่า 0.324 หรือประมาณ 32% และปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไป PF(available) มีค่า 0.132 หรือประมาณ 13% ผลของการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่า กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดนนั้นอาจไม่มีผลกระทบมากต่อการใช้น้ำที่ในลุ่มน้ำเพราะลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำไหลเข้าที่มากในขณะการใช้น้ำของมนุษย์ยังน้อย ดังแสดงในตารางที่ 24

สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์จัดทำบัญชีน้ำและประเมินดัชนี ทั้ง 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน และกรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำในลุ่มน้ำยังอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเมื่อเทียบกับน้ำที่ไหลเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด จากผลการประเมินดัชนีของทั้งพื้นที่ศึกษาสามารถสรุปภาพรวมได้ว่า ทั้งพื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าในปริมาณที่มาก โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปในพื้นที่ประมาณ 38% ของปริมาณน้ำที่เข้าทั้งหมด โดย 70% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปเป็นน้ำที่ถูกใช้ไปไม่ก่อให้เกิดผลผลิต และปริมาณน้ำท่าผิวดินที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 62% ของปริมาณน้ำทั้งหมด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.2 การวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีของการใช้น้ำในแต่ละช่วงของลำน้ำ

การวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีของการใช้น้ำในแต่ละช่วงของลำน้ำ ซึ่งแยกพื้นที่เป็นสามส่วนประกอบด้วย พื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน (upper sedone) พื้นที่ตอนกลาง (middle sedone) และพื้นที่ตอนล่าง (lower sedone) การวิเคราะห์บัญชีน้ำเป็นการวิเคราะห์ผลเฉลี่ยรายปี แสดงทั้งสามกรณี โดยอธิบายได้ดังนี้

1) กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า ลุ่มน้ำเซโดนตอนบนมีปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ประมาณ 2,181 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปริมาณน้ำที่ออกจากพื้นที่จะประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำ (depletion water) ประมาณ 992 ล้าน ลบ.ม. โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ประมาณ 877 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ประมาณ 114 ล้าน ลบ.ม. โดยมีปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ (streamflow) มีประมาณ 1,189 ล้าน ลบ.ม.

ลุ่มน้ำตอนกลาง พบว่า ปริมาณน้ำเข้าประมาณ 9,713 ล้าน ลบ.ม. ส่วนที่ออกจากพื้นที่ประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำประมาณ 3,254 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์มีประมาณ 2,375 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์มีประมาณ 879 ล้าน ลบ.ม. ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ (streamflow) มีประมาณ 6,460 ล้าน ลบ.ม.

ลุ่มน้ำตอนล่าง พบว่า ปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำ (depletion water) ประมาณ 11,352 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำ 1,540 ล้าน ลบ.ม. มีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์มีประมาณ 896 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์มีประมาณ 644 ล้าน ลบ.ม. ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ (streamflow) มีประมาณ 9,811 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในภาพที่ 55 และตารางที่ 25

การจัดทำบัญชีน้ำโดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นส่วน เป็นการพิจารณาความแตกต่างของการใช้น้ำในแต่ละช่วงของลำน้ำ ซึ่งแยกพื้นที่เป็นสามส่วนประกอบด้วย พื้นที่เซโดนตอนบน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตอนกลาง และตอนล่าง ผลการวิเคราะห์ พบว่ามีการใช้น้ำที่ส่วนลุ่มน้ำตอนบนค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ โดยสังเกตได้จากดัชนี DF(available) มีค่า 0.465 หรือมีการใช้น้ำไป 46% ของปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ ในส่วนลุ่มน้ำตอนกลาง พบว่าค่าดัชนี DF(available) มีค่า 0.340 หรือมีการใช้น้ำไป 34% และส่วนลุ่มน้ำตอนล่าง มีค่าดัชนี DF(available) มีค่า 0.138 หรือมีการใช้น้ำไป 13% ซึ่งมีการใช้น้ำค่อนข้างน้อยลงจากตอนบนและลุ่มน้ำตอนกลาง เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ดังแสดงในตารางที่ 25

2) กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน

ผลจากการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน พบว่า มีปริมาณน้ำเข้าพื้นที่คือฝนมีปริมาณน้ำ 2,181 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) มีปริมาณน้ำ 995 ล้าน ลบ.ม. โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ประมาณ 877 ล้าน ลบ.ม. และมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ในลุ่มน้ำตอนบนมีปริมาณน้ำ 117 ล้าน ลบ.ม. และส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ (streamflow) มีปริมาณน้ำ 1,186 ล้าน ลบ.ม.

สำหรับลุ่มน้ำตอนกลาง พบว่า ปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ทั้งหมดประกอบด้วยปริมาณฝน และน้ำไหลเข้าจากลุ่มน้ำตอนบน (streamflow) รวมกันมีประมาณ 9,710 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) มีปริมาณน้ำ 3,275 ล้าน ลบ.ม.โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ประมาณ 2,375 ล้าน ลบ.ม. และมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์มีปริมาณน้ำ 900 ล้าน ลบ.ม. ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำ 6,435 ล้าน ลบ.ม.

ลุ่มน้ำตอนล่าง พบว่า มีปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งมีปริมาณฝนและปริมานน้ำจากลุ่มน้ำตอนกลางมีปริมาณ 11,327 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำ 1,557 ล้าน ลบ.ม.โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ประมาณ 896 ล้าน ลบ.ม. และมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ มีปริมาณน้ำ 661 ล้าน ลบ.ม. ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ มีปริมาณน้ำ 9,760 ล้าน ลบ.ม.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ในสภาพปัจจุบันพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนมีปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย ซึ่งเป็นส่วนของปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้น และจะทำให้มีปริมาณน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำลดลง เนื่องจากลุ่มน้ำมีการดึงน้ำมาใช้ในพื้นที่ที่มีชลประทานในลุ่มน้ำดังแสดงในภาพที่ 56 และตารางที่ 26

ผลการวิเคราะห์ พบว่า มีการใช้น้ำที่ส่วนลุ่มน้ำตอนบนค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้และมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากดัชนี DF(available) มีค่า 0.468 หรือมีการใช้น้ำไป 47% ของปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ ในส่วนลุ่มน้ำตอนกลาง พบว่า ค่าดัชนี DF(available) มีค่า 0.345 หรือมีการใช้น้ำไป 35% และส่วนลุ่มน้ำตอนล่าง มีค่าดัชนี DF(available) มีค่า 0.142 หรือมีการใช้น้ำไป 14% ซึ่งมีการใช้น้ำค่อนข้างน้อยลงจากตอนบนและลุ่มน้ำตอนกลางเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ดังแสดงในตารางที่ 26

3) กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

ผลจากการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน พบว่า มีปริมาณน้ำเข้าพื้นที่คือฝนมีปริมาณน้ำ 2,181 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) มีปริมาณน้ำ 1,017 ล้าน ลบ.ม. โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ในลุ่มน้ำตอนบนมีปริมาณน้ำ 139 ล้าน ลบ.ม. และส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ (streamflow) มีปริมาณน้ำ 1,164 ล้าน ลบ.ม.

ลุ่มน้ำตอนล่าง พบว่า มีปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งมีปริมาณฝนและปริมาณน้ำจากลุ่มน้ำตอนกลางมีปริมาณ 9,688 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำ 3,495 ล้าน ลบ.ม.โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ มีปริมาณน้ำ 1,120 ล้าน ลบ.ม. ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ มีปริมาณน้ำ 6,192 ล้าน ลบ.ม.

ลุ่มน้ำตอนล่าง พบว่า มีปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งมีปริมาณฝนและปริมาณน้ำจากลุ่มน้ำตอนกลางมีปริมาณ 11,085 ล้าน ลบ.ม. สำหรับปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำ 1,632 ล้าน ลบ.ม.โดยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ มีปริมาณน้ำ 736 ล้าน ลบ.ม. และส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ มีปริมาณน้ำ 9,451 ล้าน ลบ.ม.

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ากรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดนมีการใช้น้ำที่เพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ และหากมีการดึงน้ำจากลำน้ำเซโดนมาใช้จะมีปริมาณน้ำที่ออกจากพื้นที่ลดลงอย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 57 และตารางที่ 27

ผลการวิเคราะห์ พบว่า มีการใช้น้ำที่ส่วนลุ่มน้ำตอนบนค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้และมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม โดยสังเกตได้จากดัชนี DF(available) มีค่า 0.478 หรือมีการใช้น้ำไป 48% ของปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ ในส่วนลุ่มน้ำตอนกลาง พบว่าค่าดัชนี DF(available) มีค่า 0.367 หรือมีการใช้น้ำไป 37% และส่วนลุ่มน้ำตอนล่าง มีค่าดัชนี DF(available) มีค่า 0.152 หรือมีการใช้น้ำไป 15% ซึ่งมีการใช้น้ำค่อนข้างน้อยลงจากตอนบนและลุ่มน้ำตอนกลางเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ดังแสดงในตารางที่ 27

ผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีแต่ละช่วงของลำน้ำของ 3 พื้นที่ตามสภาพปัญหาและข้อจำกัดของพื้นที่ซึ่งต้องการแนวทางการบริหารจัดการน้ำที่ต่างกันดังนี้

- พื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน เป็นพื้นที่ต้นน้ำอยู่ในบริเวณที่ราบสูง Bolaven ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของลุ่มน้ำ พื้นที่ครอบคลุมเมืองสาละวันซึ่งมีประชากรหนาแน่น มีการใช้น้ำกันอย่างมากในกิจกรรมต่าง ๆ เช่นการใช้เพื่ออุปโภค-บริโภค การเกษตรกรรม และการท่องเที่ยว เนื่องจากสภาพพื้นที่มีสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงสถานะปริมาณน้ำต้นทุนของลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำต้นทุนไม่มากหนักประกอบกับการใช้น้ำที่มีปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบน้ำที่เข้าพื้นที่ สำหรับแนวทางบริหารจัดการควรเน้นแนวทางปรับปรุงระบบชลประทานในพื้นที่ และควรเน้นที่มาตรการอนุรักษ์สภาพพื้นที่ป่าไม้ของลุ่มน้ำ

- พื้นที่ตอนกลาง เป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่ มีสำคัญสำหรับการทำเกษตรกรรมจึงอาจมีความต้องการใช้น้ำในช่วงฤดูแล้ง ผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงสถานะปริมาณน้ำต้นทุนของลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าในพื้นที่จำนวนมาก ซึ่งปริมาณไหลเข้าพื้นที่ ประกอบด้วย น้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน และอีกส่วนหนึ่งเป็นปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ สำหรับการใช้น้ำส่วนใหญ่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นด้านการเกษตรปลูกข้าวในพื้นที่ชลประทาน ด้วยมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าพื้นที่มีปริมาณมาก ฉะนั้นลุ่มน้ำจึ่งมีความสามารถในการเพิ่มพื้นที่ชลประทานสำหรับปลูกเข้าในช่วงฤดูแล้งเพิ่มได้อีก สำหรับแนวทางบริหารจัดการควรเน้นแนวทางปรับปรุงระบบชลประทานในพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพ และควรมีแบบแผนสำหรับการจัดการน้ำในช่วงที่มีปริมาณฝนมาก อนึ่งควรมีมาตรการอนุรักษ์น้ำในช่วงแล้งเพื่อรักษาระบบนิเวศน์ การเจริญเติบโต ของสัตว์น้ำ และ ชีวะนานาพันธ์ในลุ่มน้ำ

- พื้นที่ตอนล่างเป็นพื้นที่ท้ายน้ำมีการทำเกษตรกรรม และเป็นเขตที่ครอบคลุมพื้นทีเมืองปากเซ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นชุมชนเมืองที่กำลังขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงสถานะปริมาณน้ำต้นทุนของลุ่มน้ำนั้นมีปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าในพื้นที่จำนวนมาก ฉะนั้นลุ่มน้ำนี้มีความสามารถในการใช้น้ำในช่วงฤดูแล้งเพิ่มได้อีก สำหรับแนวทางบริหารจัดการควรเน้นการเพิ่มประสิทธภาพการใช้น้ำในลุ่มน้ำให้ได้ประโยชน์สูงสุด เนื่องจาก มีการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ในช่วงแล้งที่เพิ่มสูงขึ้นในสภาพปัจจุบัน และในอนาคต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 22 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

Water accounting components	**Without irrigation**	
	Volume (MCM)	**Total (MCM)**
Gross inflow		15,598.13
- Precipitation	15,598.13	
- Surface inflow	0.00	
Storage change	0.00	0.00
Net inflow		**15,598.13**
Depletive use		
Process depletion		1,636.90
- Evapotranspiration	1,586.90	
- Municipal and industrial uses	50.00	
Non process depletion		4,148.93
- Beneficial (Forest evaporation)	4,148.93	
Total depletion		**5,785.83**
Outflow		9,811.03
- Committed water	500.00	
- Uncommitted outflow	9,311.03	
Total outflow		**9,811.03**
Available water		**15,098.13**
Indicator		
Depleted fraction (gross)		0.370
Depleted fraction (net)		0.370
Depleted fraction (Available)		0.383
Process fraction (Depleted)		0.282
Process fraction (Available)		0.108

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 23 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

Water accounting components	**Current irrigation**	
	Volume (MCM)	**Total (MCM)**
Gross inflow		15,598.13
- Precipitation	15,598.13	
- Surface inflow	0.00	
Storage change	0.00	0.00
Net inflow		**15,598.13**
Depletive use		
Process depletion		1,677.46
- Evapotranspiration	1,627.46	
- Municipal and industrial uses	50.00	
Non process depletion		4,148.93
- Beneficial (Forest evaporation)	4,148.93	
Total depletion		**5,826.39**
Outflow		9,759.60
- Committed water	500.00	
- Uncommitted outflow	9,259.60	
Total outflow		**9,759.60**
Available water		**15,098.13**
Indicator		
Depleted fraction (gross)		0.375
Depleted fraction (net)		0.375
Depleted fraction (Available)		0.387
Process fraction (Depleted)		0.289
Process fraction (Available)		0.111

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 24 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

Water accounting components	**Full potential irrigation**	
	Volume (MCM)	**Total (MCM)**
Gross inflow		15,598.13
- Precipitation	15,598.13	
- Surface inflow	0.00	
Storage change	0.00	0.00
Net inflow		**15,598.13**
Depletive use		
Process depletion		1,994.46
- Evapotranspiration	1,944.46	
- Municipal and industrial uses	50.00	
Non process depletion		4,148.93
- Beneficial (Forest evaporation)	4,148.93	
Total depletion		**6,143.39**
Outflow		9,450.60
- Committed water	500.00	
- Uncommitted outflow	8,950.80	
Total outflow		**9,450.60**
Available water		**15,098.13**
Indicator		
Depleted fraction (gross)		0.393
Depleted fraction (net)		0.393
Depleted fraction (Available)		0.406
Process fraction (Depleted)		0.324
Process fraction (Available)		0.132

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 25 บัญชีน้ำรายปีโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน พื้นที่ตอนกลาง และพื้นที่ตอนล่าง กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ

Water accounting components	**Upper sedone**	**Middle sedone**	**Lower sedone**
	Total (MCM)	**Total (MCM)**	**Total (MCM)**
Gross inflow			
- Precipitation	2,181.32	8,524.31	4,892.50
- Surface inflow	0.00	1,189.10	6,459.53
Net inflow	2,181.32	9,713.41	11,352.03
Depletive use			
Process depletion	114.14	879.06	643.50
- Evapotranspiration	99.34	864.06	623.50
- Municipal and industrial uses	15.00	15.00	20.00
Non-process depletion			
- Beneficial (forest evaporation)	877.64	2,374.82	896.47
Total depletion	991.98	3,253.88	1,539.97
Outflow			
- Committed water	50	150	300
- Uncommitted outflow	1,139.10	6,309.53	9.511.03
Total outflow	1,189.10	6459.53	9,811.03
Available water	2,131.32	9,563.41	11,052.03
Indicator			
Depleted fraction (gross)	0.455	0.335	0.135
Depleted fraction (net)	0.455	0.335	0.135
Depleted fraction (available)	0.465	0.340	0.138
Process fraction (depleted)	0.115	0.270	0.417
Process fraction (available)	0.054	0.092	0.057

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 26 บัญชีน้ำรายปีโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน พื้นที่ตอนกลาง และพื้นที่ตอนล่าง กรณีพิจารณาการใช้ในสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

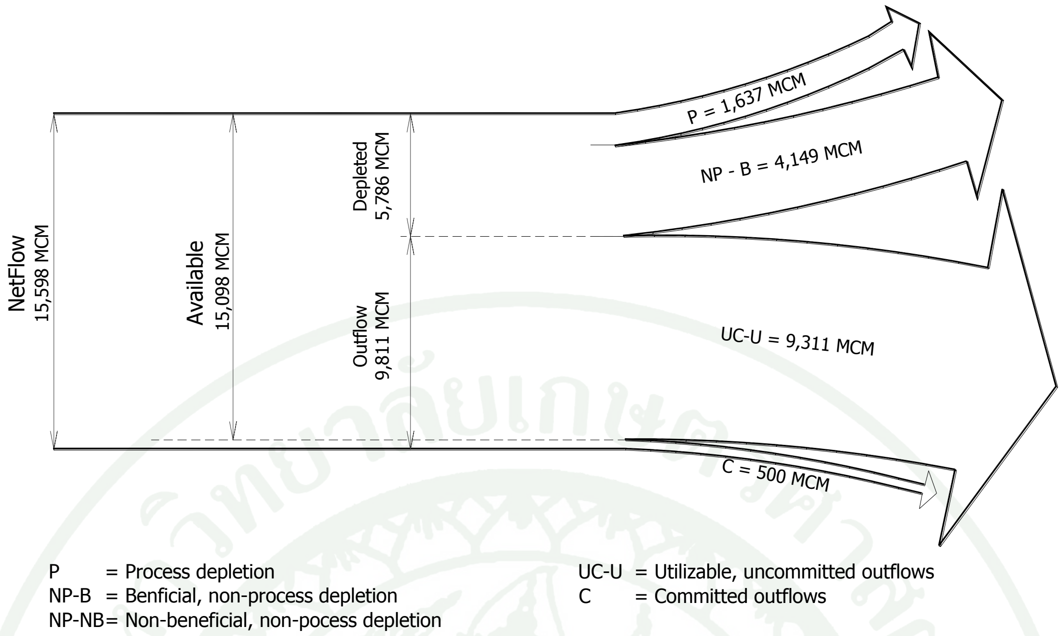
Water accounting components	Upper sedone	Middle sedone	Lower sedone
	Total (MCM)	**Total (MCM)**	**Total (MCM)**
Gross inflow			
- Precipitation	2,181.32	8,524.31	4,892.50
- Surface inflow	0.00	1,185.70	6,434.80
Net inflow	2,181.32	9,710.10	11,327.30
Depletive use			
Process depletion	117.12	899.77	660.57
- Evapotranspiration	102.12	884.77	640.57
- Municipal and industrial uses	15.00	15.00	20.00
Non-process depletion			
- Beneficial (forest evaporation)	877.64	2,374.82	896.47
Total depletion	994.76	3,274.59	1,557.04
Outflow			
- Committed water	50	150	300
- Uncommitted outflow	1,135.70	6,284.80	9,459.60
Total outflow	1,185.70	6,434.80	9,759.60
Available water	2,131.32	9,560.10	11,021.30
Indicator			
Depleted fraction (gross)	0.457	0.338	0.138
Depleted fraction (net)	0.457	0.338	0.138
Depleted fraction (available)	0.468	0.344	0.142
Process fraction (depleted)	0.119	0.276	0.425
Process fraction (available)	0.056	0.095	0.060

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

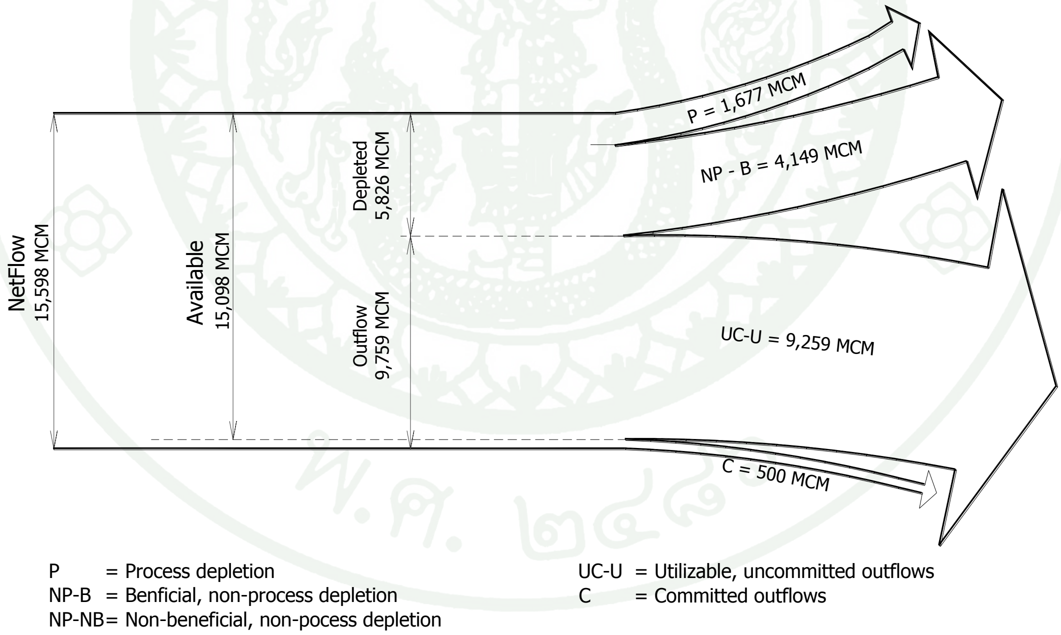
ตารางที่ 27 บัญชีน้ำรายปีโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน พื้นที่ตอนกลาง และพื้นที่ตอนล่าง กรณีพิจารณาการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ

Water accounting components	Upper sedone	Middle sedone	Lower sedone
	Total (MCM)	Total (MCM)	Total (MCM)
Gross inflow			
- Precipitation	2,181.32	8,524.31	4,892.50
- Surface inflow	0.00	1,163.80	6,192.10
Net inflow	2,181.32	9,688.11	11,084.60
Depletive use			
Process depletion	138.96	1,119.94	735.57
- Evapotranspiration	123.96	1104.94	715.56
- Municipal and industrial uses	15.00	15.00	20.00
Non-process depletion			
- Beneficial (forest evaporation)	877.64	2,374.82	896.47
Total depletion	1,016.60	3,494.76	1,632.03
Outflow			
- Committed water	50	150	300
- Uncommitted outflow	1,113.80	6,042.10	9.150.60
Total outflow	1,163.80	6,192.10	9,450.60
Available water	2,131.32	9,538.11	10,784.60
Indicator			
Depleted fraction (gross)	0.467	0.362	0.148
Depleted fraction (net)	0.467	0.362	0.148
Depleted fraction (available)	0.478	0.367	0.152
Process fraction (depleted)	0.138	0.321	0.452
Process fraction (available)	0.066	0.118	0.069

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

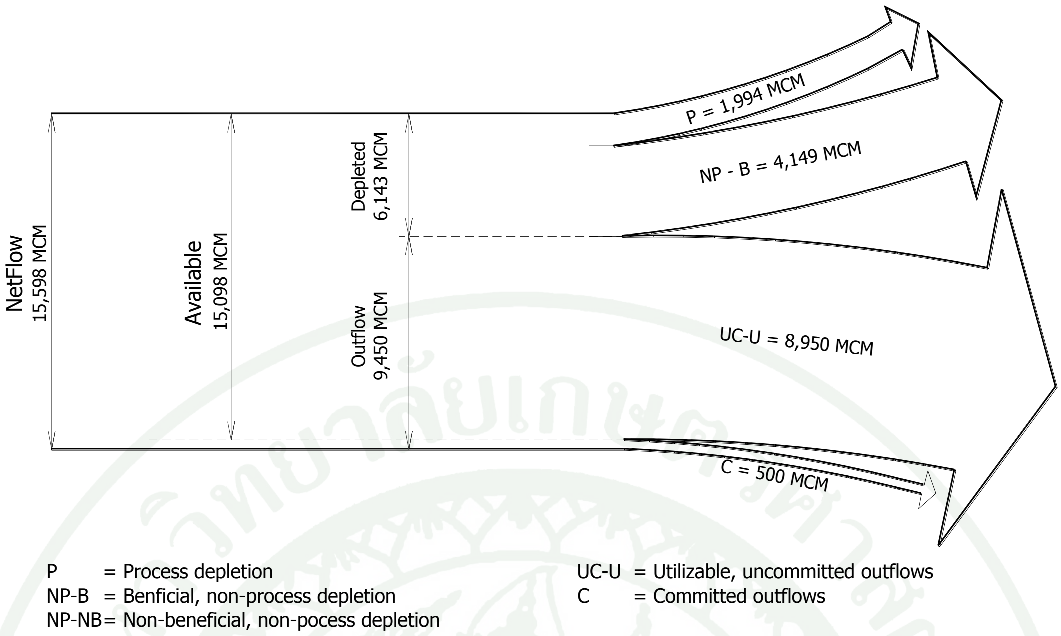


ภาพที่ 52 บัญชีน้ำรายปี กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำ



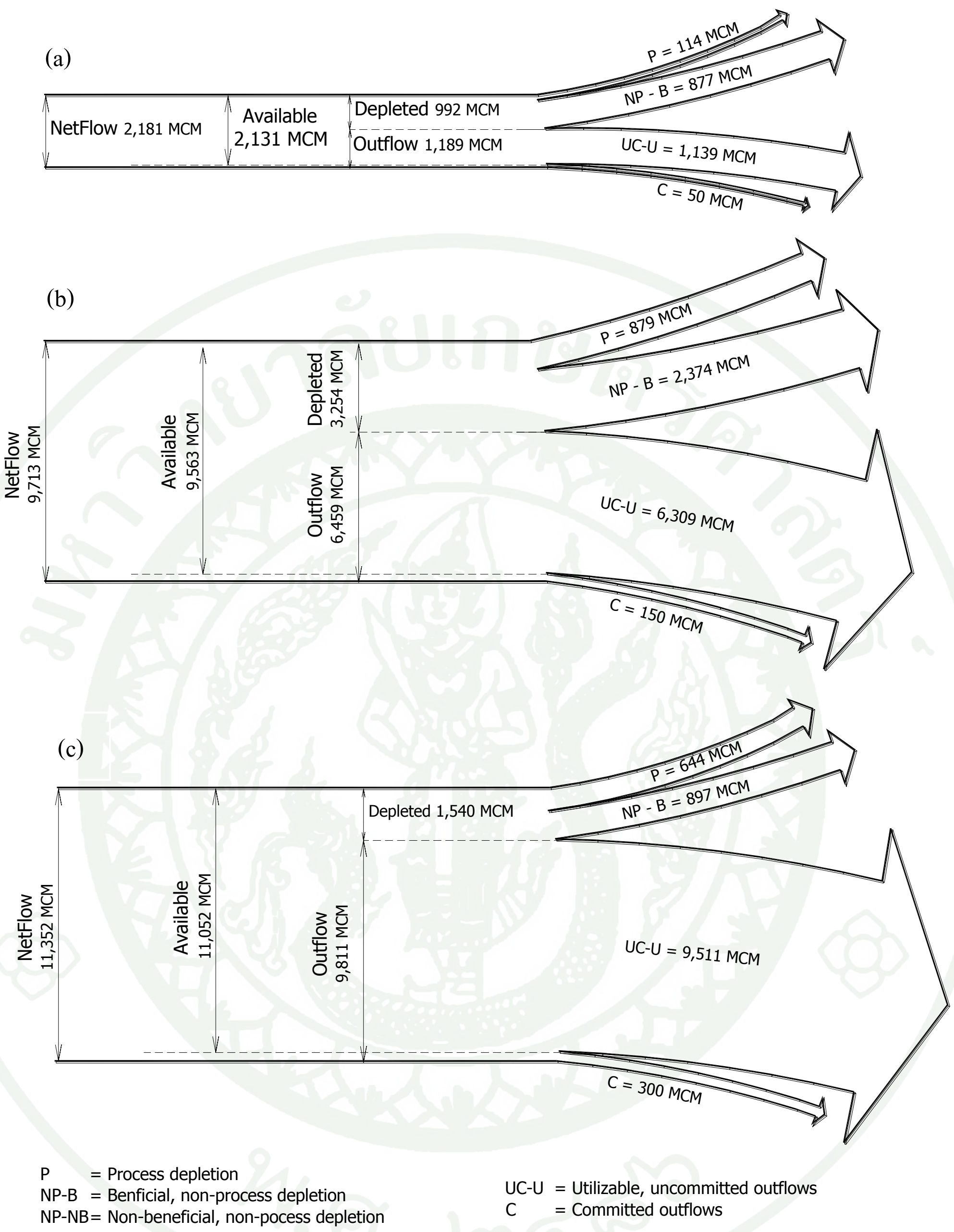
ภาพที่ 53 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าว สภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



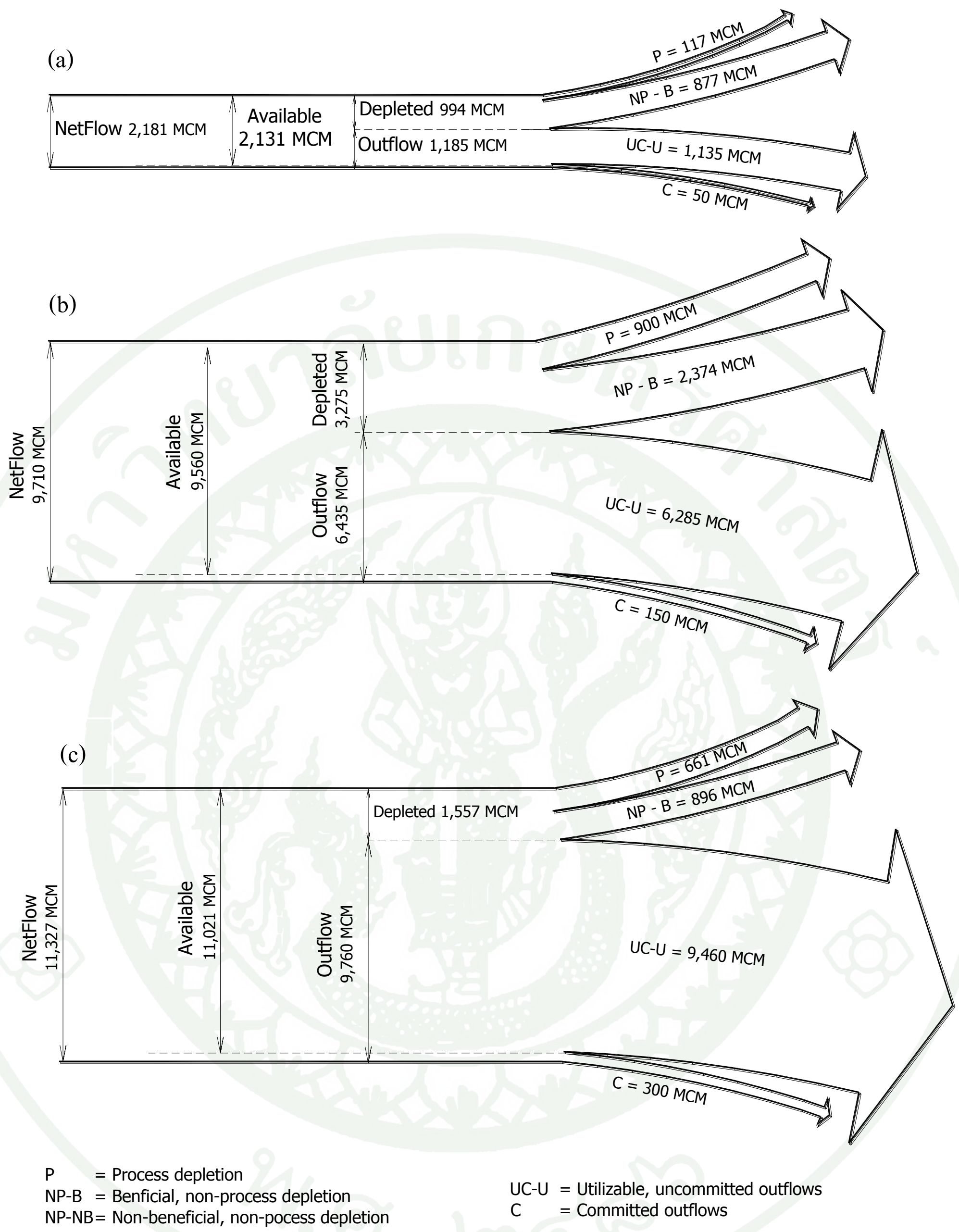
ภาพที่ 54 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดนในลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



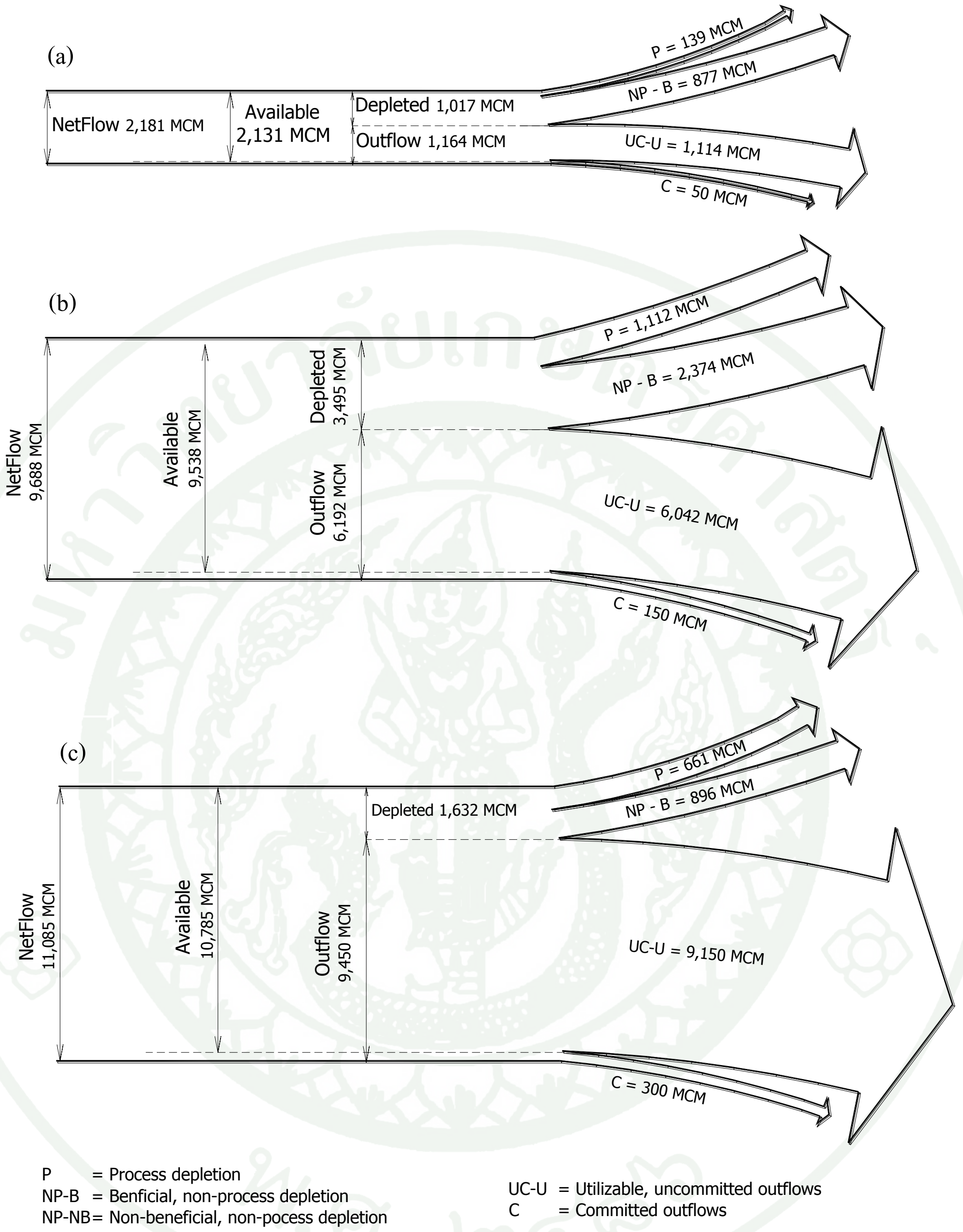
ภาพที่ 55 บัญชีบัญชีน้ำรายปี กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียวในลุ่มน้ำโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็น (a) upper sedone, (b) middle sedone and (c) lower sedone

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 56 บัญชีน้ำรายปี กรณีพิจารณาการใช้ในสภาพปัจจุบันในลุ่มน้ำโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็น (a) upper sedone (b) middle sedone (c) lower sedone

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 57 บัญชีน้ำรายปี กรณีพิจารณาการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำโดยการแบ่งลุ่มน้ำเป็น (a) upper sedone (b) middle sedone (c) lower sedone

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินทรัพยากรน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สปป ลาว โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการประยุกต์เทคนิควิเคราะห์ทั้งระบบสำหรับวิเคราะห์ระบบทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำ ส่วนที่สองการจำลองระบบลุ่มน้ำด้วยแบบจำลองสำหรับประเมินปริมาณน้ำท่าผิวดินของลุ่มน้ำ และส่วนที่สามเป็นการวิเคราะห์สมดุลน้ำและบัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมากของระดับภูมิประเทศตั้งแต่ระดับต่ำสุดที่ 100 ม. จนถึง 2000 ม.จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งเป็นเขต Boloven plateau (เขตของปากปล่องภูเขาไฟ) ด้วยปัจจัยนี้จึงทำให้พื้นนี้มีปริมาณฝนที่สูงแตกต่างจากที่ราบลุ่มในพื้นที่ลุ่มน้ำเดียวกัน และลุ่มน้ำยังมีความจำกัดของข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากการศึกษาและรวบรวมแล้วลุ่มน้ำมีความจำกัดของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีเพียง 4 สถานีสภาพภูมิอากาศ ที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อเนื่อง ที่เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำเซโดน

ระบบทรัพยากรน้ำเป็นลุ่มน้ำมีสภาพเป็นลุ่มน้ำปิดซึ่งไม่มีการผันน้ำเข้ามาจากพื้นที่อื่นเข้ามาใช้เพิ่ม โดยฝนเป็นที่มาของน้ำเข้าสู่ระบบทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำ จากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลน้ำท่า พบว่า ลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำท่าที่มาก ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีประมาณ 9,000 ล้าน ลบ.ม. โดยมีค่าเฉลี่ยรายปีมีลักษณะคงที่ สำหรับช่วงปีฝนน้อยมีปริมาณน้ำท่ารายปีต่ำสุดประมาณ 3,500 ล้าน ลบ.ม. และปีฝนมากมีปริมาณน้ำท่ารายปีสูงสุดประมาณ 9,400 ล้าน ลบ.ม. โดยลำน้ำเซโดนในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ประมาณ 92% และส่วนหน้าแล้งแล้วจะมีเพียง 8% เท่านั้น สำหรับความต้องการน้ำการใช้น้ำของลุ่มน้ำจะประกอบด้วย น้ำเพื่ออุปโภค-บริโภคของประชากร และนักท่องเที่ยวในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อเกษตรกรรมสำหรับพื้นที่ชลประทาน เพื่ออุตสาหกรรมของจังหวัดสาละวัน และจำปาสัก

ผลการจำลองระบบลุ่มน้ำด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT พบว่า วิธีการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยโดยการกำหนดขนาดพื้นที่เริ่มต้น (threshold area) ที่แตกต่างกัน ทำให้แบบจำลองแสดงผลลัพธ์ของการจำลองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังมีผลทำให้แบบจำลองประเมินปริมาณน้ำท่ามีความแตกต่างกันออกไปด้วยเช่นกัน โดยผลของการจำลองนี้แสดงให้เห็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกำหนดขนาดพื้นที่เริ่มต้นของลุ่มน้ำที่มีความเหมะสมจะทำให้ได้ผลลัพธ์ของการจำลองที่ดีกว่า ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้การกำหนดขนาดเริ่มต้นของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 2,500 เฮกตาร์ ในการจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าของลุ่มน้ำเซโดน

ผลจากการจำลองที่ได้จากแบบจำลอง SWAT พบว่า การกำหนดขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ที่ 2,500 เฮกตาร์ ช่วยในการประเมินปริมาณน้ำท่าแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากว่าพื้นที่ของลุ่มน้ำเซโดนเป็นพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมากของสภาพภูมิประเทศ และปริมาณฝนในลุ่มน้ำ ทั้งยังมีความจำกัดทางด้านข้อมูลสถานีสภาพภูมิอากาศ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองคือปริมาณฝนจากสถานีที่มีมากนั้นเอง และการเพิ่มพื้นที่การใช้น้ำในพื้นที่ชลประทานที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของลุ่มน้ำ สำหรับไปวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง SWAT สามารถปรับปรุงการประเมินน้ำท่า ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องตามความเป็นจริงมากที่สุด

ผลการประยุกต์ใช้ผลจากแบบจำลอง SWAT สำหรับการวิเคราะห์บัญชีน้ำ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง SWAT สามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ของสมดุลน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อยได้ละเอียดถึงระดับ HRUs ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการใช้น้ำของพืช และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ ผลการจำลองในแต่ละกรณีพิจารณาจากการประเมินด้วยแบบจำลองนั้นสามารถที่จะนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน

ผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำ สรุปได้ว่า ลุ่มน้ำเซโดนมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าในระบบคือปริมาณฝนเท่ากับ 15,600 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี สำหรับปริมาณน้ำสูญหายไปจากพื้นที่คิดเป็นปริมาณ 6,000 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี หรือคิดเป็น 38% ของปริมาณน้ำที่เข้าทั้งหมด โดย 70% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปเป็นน้ำที่ถูกใช้ไปไม่ก่อให้เกิดผลผลิต และปริมาณน้ำท่าผิวดินที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำคิดเป็นปริมาณ 9,800 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี จากผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำ สรุปได้ว่า ลุ่มน้ำเซโดนอยู่ในสถานะเปิด (an open basin) กล่าวคือ เป็นลุ่มน้ำที่มีทรัพยากรน้ำเหลือสำหรับการใช้น้ำที่เพิ่มได้อีก แสดงว่าสถานภาพทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำยังมีการใช้น้ำในจากกิจกรรมของมนุษย์ยังไม่มาก เนื่องจากพื้นที่ของลุ่มน้ำส่วนมากเป็นพื้นที่ป่าไม้

ผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีแต่ละช่วงของลำน้ำ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน มีปริมาณน้ำต้นทุนไม่มาก ประกอบกับการใช้น้ำที่มีปริมาณมาก เมื่อเปรียบเทียบน้ำที่เข้าพื้นที่เพราะฉะนั้นพื้นที่จึ่งความจำกัดในการเพิ่มพื้นที่ชลประทาน สำหรับพื้นที่ตอนกลางมีปริมาณน้ำต้นทุนที่เข้ามามีจำนวนมาก ฉะนั้นลุ่มน้ำจึ่งมีความสามารถในการเพิ่มพื้นที่ชลประทานสำหรับปลูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เข้าในช่วงฤดูแล้งเพิ่มได้มาก และพื้นที่ตอนล่างเป็นพื้นที่ท้ายน้ำมีปริมาณน้ำต้นทุนที่มีจำนวนมาก ฉะนั้นลุ่มน้ำนี้มีความสามารถในการพัฒนาและเพิ่มการใช้น้ำในช่วงฤดูแล้งได้อีก

ข้อเสนอแนะ

การนำใช้แบบจำลอง SWAT สิ่งสำคัญคือการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลอง ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบสภาพพื้นที่ และข้อจำกัดของข้อมูลที่มีเพราะแบบจำลองใช้พารามิเตอร์ และข้อมูลการนำเข้าที่ค่อนข้างมาก เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองเชิงกายภายภาพแบบกระจายพารามิเตอร์ (distributed parameter model) ดังนั้นความถูกต้องของการคำนวณจะใกล้เคียงกับสภาพจริงมากแค่ไหนนั้น จึงขึ้นกับความละเอียดของข้อมูลที่มีบันทึกไว้ และสามารถเป็นตัวแทนให้กับพื้นที่ศึกษาได้จริง

จากการศึกษาแสดงให้เห็นแบบจำลอง SWAT ยังมีข้อจำกัดในด้านการสรุปผล โดยแบบจำลองประเมินองค์ประกอบต่าง ๆ ของปริมาณน้ำเป็นรายวัน แต่การสรุปผลลัพธ์ของ HRUs เป็นข้อมูลแบบเฉลี่ยรายปี ดังนั้น จึงมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์บัญชี แบบรายเดือน และแบบรายฤดูกาลของลุ่มน้ำเซโดน

สำหรับการกำหนดขนาดเริ่มต้นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่เล็กเกินไปอาจมีผลทำให้แบบจำลองแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย มากจนเกินไป ในทางตรงข้ามการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ใหญ่เกินไปจะทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนในการใช้ปริมาณน้ำฝนที่อยู่ให้กับเขตกึ่งกลางของลุ่มน้ำย่อย เนื่องจากบางพื้นที่อาจจะมีความแตกต่างของปริมาณน้ำฝน เพราะฉะนั้นการกำหนดขนาดเริ่มต้นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ควรให้มีความเหมาะสม และต้องคำนึงถึงความต้องการเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ผลในขั้นตอนต่อไป

การส้างแบบจำลอง SWAT สำหรับข้อมูลสถานีตรวจวัดภูมิอากาศนั้น ถือว่ามีความสำคัญมากในการประเมินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า เนื่องจากแบบจำลองจะนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศก่อนการวิเคาะห์โดยการใช้ข้อมูลที่มีลักษณะเป็นจุดของสถานีที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของลุ่มน้ำย่อยเป็นตัวแทนในการนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ดังนั้นทีลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดใหญ่อาจได้รับอิทธิพลของฝนจากสถานีที่มีฝนสูง ซึ่งผลนี้อาจทำให้การจำลองได้ค่าที่สูงกว่าค่าการตรวจวัดจริง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมสถิติ. 2009. **สถิตินักท่องเที่ยวประจำปี 2008.** กรมสถิติ, กระทรวงแผนการและการลงทุน. เวียงจันทน์, สปป ลาว.

กรมสถิติ. 2010. **สถิติประชากรประจำปี 2010**. กรมสถิติ, กระทรวงแผนการและการลงทุน. เวียงจันทน์, สปป ลาว.

กรมทรัพยากรน้ำ. 2008. **ร่างเอกสารสภาพรวมทรัพยากรน้ำแห่งชาติ**. กรมทรัพยากรน้ำ, องค์กรทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อม. เวียงจันทน์, สปป ลาว.

กรมอุตสาหกรรม. 2009. **สถิติประจำปี 2009**. กรมอุตสาหกรรม, กระทรวงพลังงานและบ่อ แร่. เวียงจันทน์, สปป ลาว.

นายกรัฐมนตรี. 2001. **ดำรัสว่าด้วยการจัดตั้งปฏิบัติกฎหมายน้ำและทรัพยากรแหล่งน้ำ**. เลขที่ 204/นย. เวียงจันทน์, สปป ลาว.

กรมชลประทาน. 2009. **ยุทธศาสตร์การพัฒนาโครงร่างชลประทาน 2006-2010**. กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรกรรม และป่าไม้. เวียงจันทน์, สปป ลาว.

กรมชลประทาน. 2012. **นโยบายด้านชลประทาน**. กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรกรรม และป่าไม้. เวียงจันทน์, สปป ลาว.

ไชยวัฒน์ เจริญจิระตระกูล. 2548. **การวิเคราะห์บัญชีน้ำในโครงการชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกตอนบน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไชยวัฒน์ เจริญจิระตระกูล และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2548. การวิเคราะห์บัญชีน้ำของโครงการชลประทานพลเทพ, *ใน* **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 เล่ม 2 สาขาวิศวกรรมศาสตร์, 14 กุมภาพันธ์ 2548.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. น. 22-29.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภัสสร ฉวีวงษ์ และ กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ. 2551. บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน: การประเมินน้ำปริมาณน้ำใต้ดิน, **วิทยาสารกำแพงแสน**. 6(2): 71-86.

สุวิทย์ อ๋องสมหวัง และ สุภักดิ์ กุลโท. 2556. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อผลปริมาณน้ำท่ากรณีศึกษาลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงลุงในลุ่มน้ำมูล.ม. 1-7. **วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกล และสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย**. ปีที่ 14. ฉบับที่ 1.

วิศิษฏ์ เกษรมาลา, เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, และ เจษฎา แก้วกัลยา. 2552. สมรรถภาพการบริหารจัดการน้ำของกลุ่มผู้ใช้น้ำในโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาเพชรบุรี. **วิทยาสารกำแพงแสน**. 7(3): 66-79.

โอฬาร เวศอุไร. 2548. **ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย และ บัญชา ขวัญยืน. 2545. การจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำแม่น้ำแม่กลอง. **วิศวกรรมสาร มก**. 46: 122 - 133.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย และ คณะ. 2550. **การวินิจฉัยการจัดการน้ำในลุ่มน้ำท่าจีน**. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน.

ธรรมพงศ์ เนาวบุตร. 2552. **การวิเคราะห์บัญชีน้ำลุ่มน้ำสะแกกรัง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, and J.R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model evelopment. **J.Am.Water Resour. Assoc**. 34(1): 73-89.

Arnold, J.G. and N. Fohrer. 2005. SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modeling. **Hydrol. Process**. 19(3): 563-572.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Arnold, J.G. and P.M. Allen. 1999. Automated methods for estimating base flow and groundwater recharge from stream flow records. **J. Am. Water Resour. Assoc**. 35(2): 411-424.

Arnold, J. G., C. Santhi, J. R. Williams, W. A. Dugas, R. Srinivasan and L. M. Hauck. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and notpoint sources. **J. Am. Water Resour. Assoc**. 37(5):1169-1188.

Arnold, J.G., M. Winchell, R. Srinivasan and M. Di Luzio. 2009. ArcSWAT Interface for Swat 2009, **User's Guide**. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Blackland Research Center,Texas AgriLife Research.

Arnold, J.G., M. Winchell, R. Srinivasan, and M. Di Luzio. 2012. ArcSWAT Interface for Swat2012, **User's Guide**. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Blackland Research Center,Texas AgriLife Research.

Ayana, A.B., D.C. Edossa and E. Kositsakulchai. 2012. Simulation of Sediment Yield using SWAT Model in Fincha Watershed, Ethiopia. **Kasetsart J**. 46(2): 283-297.

Behera, S. and R.K. Panda. 2006. Evaluations of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process model. **Agric. Ecosyst. Environ**. 113(1-4): 62-72.

Beven, K.J. and M.J. Kirkby. 1984. A physically based variable contributing area model of hydrology. J. **Hydrol. Sci**. 24(1): 43-69.

Celine, G. and E. J. James. 2013. Simulation of streamflow using soil and water assessment tool (SWAT) in Meenachil river basin of Kerala, India. **Sch. J. Eng. Tech.** 1(2): 68-77.

Chen, S.A. and P.M. Billings. 1990. Non-linear system identification using neural networks. **Int. J. of Cont**. 52: 1191-1214.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chen, D., J. Lu and S. Yuan. 2006. Spatial and temporal variations of water quality in Cao-E River of eastern China. **J. Environ. Sci**. 18(4): 680-688.

Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays. 1988. **Handbook of Applied Hydrology**. McGraw-Hill, New York.

Danish Hydraulic Institute (DHI). 1990. **NAM documentation and user's guide**. 70 p.

Fadil, A., H. Rhinane, A. Kaoukaya, Y. Kharchaf and O. A. Bachir. 2011. Hydrologic Modeling of the Bouregreg Watershed (Morocco) Using GIS and SWAT Model. **Geo. Journal**. 3: 279-289

FAO. 1997. **A world dataset of derived soil properties**. Soil Use and Management. 13: 9-16.

FAO. 2002. **Major Soils of the world. Land and Water Digital Media Series**. Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAO, Rome.

FAO. 2007. Waste management opportunities for rural communities. **Water supply and sanitation**. FAO, Rome.

Gassman, P.W., M.R. Reyes and C.H. Green. 2007. The Soil and Water Assessment Tool: historical development, applications, and the future research directions. **Trans. ASABE**. 50(4): 1211-1250.

Ghandhari, A. and S.M. Moghaddam. 2011. Water balance principles: A review of studies on five watersheds in Iran. **J. Environ. Sci. Technol**. 4: 465-479

Green, W.H. and G.A. Ampt. 1911. Studies on soil physics, I. The flow of air and water through soils. **J. Agric. Sci**. 4: 11-24.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Gosain, A.K., S. Rao, R. Srinivasan and D.B. Ray. 2005. Return-flow assessment for irrigation command in the Palleru river basin using SWAT model. **Hydrol. Process**. 19: 673-682

Gosain, A.K., A. Mani and C. Dwivedi. 2009. Hydrological Modelling-Literature Review. Climawater, Report NO.1.

——. 2000. **HEC-HMS hydrologic modeling system user's manual**. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

Hamouda, M.A., M.M. Nour El-Din and F.I. Moursy. 2009. Vulnerability assessment of water resources systems in the eastern Nile basin. **Water Resour. Manag**. 23: 2697-2725.

Hoanh, C.T., J.R.Y. Kittipong, L.C.B. Guillaume and S.R. Vithet. 2010**. Impacts of climate change and development on Mekong flow regime. First assessment 2009**. MRC Technical Paper No. 29. Mekong River Commission, Vientiane, Lao PDR.

Huang, Y.F., X. Chen and G.H. Huang. 2003. GIS-based distributed model for simulating runoff and sediment load in the Malian River Basin. **Hydrobiologia**. 494: 127-134.

Jiao, D. and Y. Shi. 1998. The actuality and view of water resources assessment in China. China **Water Resource**. 33(3):10–11.

Jajarmizadeh, M., S.B. Harun and M.M. Salarpour. 2012. A Review on Theoretical Consideration and Types of Models in Hydrology . **J. Environ Sci**. 5(5): 49-261.

Kite, G.W. 2001. Modelling the Mekong: hydrological simulation for environmental impact studies. **J. Hydrol**. 253(1): 1-13.

Krause, P., D.P. Boyle and F. Base. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Adv. Geosci**. 5: 89-97.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Leon, L.F., E.D. Soulis, N. Kouwen and G.J. Farquhar. 2002. Modeling diffuse pollution with a distributed approach. **Water Sci. Technol**. 45: 149-156.

Miloradov, M. and P. Marjanovic. 1998. **Guidelines for Conducting Water Resources Assessment**: A Contribution to IHP-IV Project M-1-1(a). UNESCO Publishing, Paris.

Molden, D. 1997. **Accounting for water use and productivity**. SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute (IIMI), Colombo.

Molden, D., R. Sakthivadivel and Z. Habib. 2000. **Basin level use and productivity of water, Examples from South Asia**. IWMI Research Report 49. International Water Management Institute (IWMI), Colombo.

Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel, and T.L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Trans. ASAE**. 50 (3): 885-900.

Morris, E.M. 1980. Forecasting flood flows in grassy and forested basins using a deterministic distributed mathematical model. In: Hydrological Forecasting (Proc. Oxford Symp., April 1980), 247-255. IAHS Publ.no.129.

Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. **J. Hydrol**. 10: 282-290.

Ndomba, P., F. Mtalo and A. Killingtveit. 2008. SWAT model application in a data scarce tropical complex catchment in Tanzania. **J. Phys. Chem**. 33 (8-13): 626-632.

Neitsch, S., J. Arnold, J. Kiniry and J. Williams. 2005. **Soil and water assessment tool theoretical documentation.** version 2005. Temple, TX.USDA Agricultural Research Service and Texas A&M Blackland Research Center. College Station, TX

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Netnapa, P. and S. Pongthep. 2013. Simulation of Stream Flow for Upper Lam Takongsub-Watershed Using SWAT Model. **Int. J. Environ Sci**. 4(3): 261-263.

Nor, N.I.A., S. Harun and A.H.M. Kassim. 2007. Radial basis function modeling of hourly streamflow hydrograph. **J. Hydrol. Eng**. 12: 113-123.

Peranginangin, N., R. Sakthivadivel, N.R. Scott, E. Kendy and T.S. Steenhuis. 2003. Water accounting for conjunctive groundwater/surface water management: case of the Singkarak-Ombilin River basin, Indonesia. **J. Hydrol**. 205: 1-22.

Puwadon, P., W. Prakob., V. Thaveesakl and T. Thanapon. 2011. Suitability of SWAT Model for Simulating of Monthly Streamflow in Lam Sonthi Watershed. **J. Industr. Tech**. 2(7): 49-56.

Raneesh, K. Y., T. V. Surya and S. G. Thampi. 2010. Prediction of Stream Flow, Sediment Yield, and Nutrient Load in the Chaliyar River Basin, Kerala, India. **Int. J. Eart Sci**. 3(5): 654-661

Rosenthal, W.D. and D.W. Hoffman. 1999. Hydrologic modeling/GIS as an aid in locating monitoring sites. **Trans. ASAE**. 42(6): 1591-1598.

Reungsang, P., R.S. Kanwar and K. Srisuk. 2010. Application of SWAT Model in Simulating Stream Flow for the Chi River Subbasin II in Northeast Thailand. **Tr. Resear. Sci**. 2 (1): 23-28.

Shrivastava P. K., M. P.Tripathi and S. K. Dwivedi. 2004. Hydrological model of a small watershed using satlite data and GIS technique. **J. India. Soci**. 32 (2): 146-157.

Sugawara, M. 1974. **Tank Model with Snow Component**. National Research Center for Disaster Prevention, Japan.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Shilpaker, R.L. 2003. **Geo-information Procedures for Water Accounting: A Case of The East Rapti River Basin, Nepal**. M.S. Thesis. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Netherlands.

Shimelis, S.G., R. Srinivasan and B. Dargahi. 2010. Hydrological modeling in the lake Tana basin, Ethiopia using SWAT model. **The open Hydrol. J**. 2: 49-62.

Taesombut, V., K. Pongput, S. Aekaraj, S. Kaysavawng and E. Biltonen. 2002. **Regional Study on the Development of Effective Water Management Institutions: A Case Study of the Bang Pakong River Basin**, Thailand Research Fund (TRF), Bangkok.

Thampi, S.G., K.Y. Raneesh and T.V. Surya. 2010. Influence of scale on SWAT model calibration for streamflow in a river basin in the humid tropics. **Water Resour Manage**. 24(15): 4567-4578.

UNESCO, WMO. 1988. **Water resources assessment activities: handbook for national evaluation**. WMO Secretariat, Geneva.

UNESCO, WMO. 1992. **International Glossary of Hydrology**. Second Editon. UNESCO/WMO.

U.S. Department of Agriculture. 1972. **National Engineering Handbook**. Hydrology section 4. U.S. Government Printing Washington, D.C.

Wang, Z., O. Batelaan and F. De-Smedt. 1996. A distributed model for water and energy tranfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). **Phys. Chem. Earth**. 21: 189-193.

Wang, H., J. Wang, Y. Jia, D. Qin, Y. Qiu and L.Wang. 2006. A study on the method of water resources assessment in river basin under the present environment. **J China Hydrol**. 26 (3): 18-21.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Xu, C.Y. and V.P. Singh. 2004. Review on Regional Water Resources Assessment Models under Stationary and Changing Climate. **Water Resourc. Manag**. 12: 31–50.

Xue-song, Z., H. Fang-bua, C. Hong-guang and L. Dao-feng. 2003. Application of SWAT model in the upstream watershed of the Luohe River. **Chinese Geog. Sci**. 13 (4): 334-339.

Zhang, Y., Z.F. Yang and X.Q. Wang. 2004. Methodology to determine regional water demand for instream flow and its application in the yellow river basin. **J. Environ. Sci**. 18 (5): 1031-1039.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ผลจากแบบจำลอง SWAT แยกตาม Sub-basin และ HRU

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลจากแบบจำลอง SWAT แยกตาม Sub-basin และ HRU

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณของน้ำท่าของ 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณการไหลของน้ำท่าของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณการใช้น้ำของพืชของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation

ตารางผนวกที่ ก4 ค่าเฉลี่ยรายปีปริมาณฝนและปริมาณการใช้น้ำของพืช แยกตาม HRUs ของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) พิจารณาใช้น้ำฝนอย่าง a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณของน้ำท่าของ 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation

SUB	Area	Rainfall	Outflow (mm)			Outflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
1	45.35	83.73	1029.76	1029.76	1029.76	46.70	46.70	46.70
2	79.55	146.88	1014.86	1014.86	1014.86	80.73	80.73	80.73
3	36.46	67.31	952.38	952.38	952.38	34.72	34.72	34.72
4	29.27	54.05	963.09	963.09	882.74	28.19	28.19	25.84
5	10.54	19.46	965.52	965.52	899.72	10.18	10.18	9.48
6	36.99	68.29	985.26	985.26	937.86	36.44	36.44	34.69
7	34.69	64.05	958.08	958.08	824.80	33.24	33.24	28.61
8	84.19	155.44	1044.50	1044.50	1044.50	87.93	87.93	87.93
9	86.02	158.82	969.75	969.75	969.75	83.42	83.42	83.42
10	43.10	79.57	975.99	975.99	975.99	42.06	42.06	42.06
11	84.76	156.50	972.58	972.58	876.95	82.44	82.44	74.33
12	151.73	280.14	966.22	966.22	966.22	146.60	146.60	146.60
13	21.54	39.76	955.35	955.35	826.35	20.57	20.57	17.80
14	41.78	77.14	954.24	954.24	954.24	39.87	39.87	39.87
15	3.16	5.84	956.55	956.55	828.26	3.03	3.03	2.62
16	46.61	86.06	962.00	962.00	962.00	44.84	44.84	44.84
17	21.88	40.39	934.33	934.33	844.07	20.44	20.44	18.46
18	80.66	148.92	965.29	965.29	965.29	77.86	77.86	77.86
19	37.99	70.14	947.08	947.08	740.16	35.98	35.98	28.12
20	1.09	2.02	960.73	960.73	668.92	1.05	1.05	0.73
21	67.79	125.16	947.24	947.24	832.52	64.21	64.21	56.43
22	33.76	62.32	951.71	951.71	721.18	32.12	32.12	24.34
23	32.87	60.69	967.32	967.32	967.32	31.80	31.80	31.80
24	6.29	11.61	964.91	964.91	862.64	6.07	6.07	5.43
25	15.15	27.97	944.32	944.32	758.91	14.30	14.30	11.50
26	0.16	0.29	941.02	791.56	789.53	0.15	0.12	0.12
27	33.65	62.13	956.99	956.99	877.47	32.20	32.20	29.53
28	35.42	65.40	959.87	662.43	662.45	34.00	23.47	23.47

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Outflow (mm)			Outflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
29	59.47	109.80	968.31	968.31	968.31	57.59	57.59	57.59
30	17.37	32.07	947.16	799.08	799.10	16.45	13.88	13.88
31	50.61	93.44	952.32	952.32	901.24	48.19	48.19	45.61
32	74.68	137.88	959.17	959.17	903.45	71.63	71.63	67.47
33	8.01	14.79	952.84	952.84	891.22	7.63	7.63	7.14
34	21.37	39.46	966.01	966.01	902.08	20.65	20.65	19.28
35	77.54	140.16	925.78	925.78	853.85	71.79	71.79	66.21
36	0.86	1.55	918.84	918.84	918.84	0.79	0.79	0.79
37	5.05	9.31	955.32	955.32	808.39	4.82	4.82	4.08
38	42.78	78.98	957.48	957.48	869.53	40.96	40.96	37.19
39	59.37	109.62	995.89	995.89	995.89	59.13	59.13	59.13
40	1.78	3.28	972.63	972.63	857.92	1.73	1.73	1.52
41	131.35	242.52	972.97	972.97	933.66	127.80	127.80	122.64
42	9.37	17.30	942.97	942.97	792.54	8.84	8.84	7.43
43	78.08	141.13	929.23	929.23	827.86	72.56	72.56	64.64
44	70.02	126.56	930.39	930.39	820.94	65.15	65.15	57.48
45	1.25	2.25	918.80	918.80	918.80	1.15	1.15	1.15
46	10.10	18.64	961.90	961.90	961.90	9.71	9.71	9.71
47	0.44	0.79	909.37	909.37	700.35	0.40	0.40	0.31
48	50.58	93.39	1006.21	1006.21	950.03	50.89	50.89	48.05
49	10.64	19.24	909.33	745.91	746.23	9.68	7.94	7.94
50	20.23	36.57	925.18	791.35	791.84	18.72	16.01	16.02
51	8.10	14.95	947.21	947.21	751.52	7.67	7.67	6.09
52	13.32	24.59	967.81	967.81	830.46	12.89	12.89	11.06
53	10.11	18.27	923.91	675.94	677.09	9.34	6.83	6.85
54	125.93	232.51	1017.66	1017.66	1017.66	128.15	128.15	128.15
55	3.55	6.41	911.14	911.14	683.55	3.23	3.23	2.42
56	27.03	48.86	919.87	919.87	875.39	24.87	24.87	23.66
57	207.95	375.87	908.03	908.03	774.90	188.82	188.82	161.14
58	46.01	83.16	915.51	915.51	681.55	42.12	42.12	31.36

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Outflow (mm)			Outflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
59	5.75	10.39	912.44	912.44	670.55	5.24	5.24	3.85
60	101.11	186.68	965.47	965.47	852.24	97.62	97.62	86.17
61	17.43	31.50	936.67	936.67	758.81	16.33	16.33	13.23
62	42.47	76.76	920.65	920.65	779.56	39.10	39.10	33.11
63	21.53	39.74	968.21	968.21	915.91	20.84	20.84	19.72
64	58.47	107.95	950.42	950.42	950.42	55.57	55.57	55.57
65	26.55	49.02	959.14	959.14	959.14	25.47	25.47	25.47
66	35.33	65.24	1063.09	1063.09	1063.09	37.56	37.56	37.56
67	3.00	5.54	930.65	930.65	930.65	2.79	2.79	2.79
68	35.20	63.63	926.90	926.90	926.90	32.63	32.63	32.63
69	5.10	9.22	912.95	912.95	648.26	4.66	4.66	3.31
70	25.18	45.51	918.54	918.54	582.69	23.13	23.13	14.67
71	57.47	106.10	948.27	948.27	948.27	54.49	54.49	54.49
72	32.70	60.37	961.82	961.82	961.82	31.45	31.45	31.45
73	74.52	134.69	899.84	899.84	899.84	67.06	67.06	67.06
74	46.56	84.16	899.33	899.33	899.33	41.87	41.87	41.87
75	72.52	131.08	944.05	944.05	816.42	68.46	68.46	59.21
76	36.69	67.75	1053.13	1053.13	1053.13	38.64	38.64	38.64
77	28.75	51.97	915.69	915.69	813.69	26.33	26.33	23.40
78	14.77	26.70	915.60	915.60	615.94	13.52	13.52	9.10
79	78.39	144.74	970.99	970.99	931.74	76.12	76.12	73.04
80	61.14	112.88	956.76	956.76	956.76	58.49	58.49	58.49
81	8.07	14.58	911.82	911.82	689.74	7.36	7.36	5.56
82	5.74	10.38	920.18	638.78	639.02	5.28	3.67	3.67
83	100.15	184.91	960.82	960.82	960.82	96.23	96.23	96.23
84	9.03	16.32	899.17	899.17	808.08	8.12	8.12	7.30
85	30.01	54.24	939.76	939.76	939.76	28.20	28.20	28.20
86	43.46	80.25	963.64	963.64	963.64	41.88	41.88	41.88
87	74.53	137.62	974.53	974.53	906.53	72.64	72.64	67.57
88	51.36	94.83	944.62	944.62	944.62	48.52	48.52	48.52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Outflow (mm)			Outflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
89	65.81	121.52	1109.13	1109.13	1109.13	73.00	73.00	73.00
90	37.65	69.51	1014.09	1014.09	1014.09	38.18	38.18	38.18
91	25.29	46.70	1116.86	1116.86	1116.86	28.25	28.25	28.25
92	63.05	116.42	990.64	990.64	946.79	62.46	62.46	59.70
93	68.23	125.97	1002.92	1002.92	1002.92	68.42	68.42	68.42
94	88.31	159.62	1026.21	1026.21	1026.21	90.62	90.62	90.62
95	26.78	48.40	939.92	703.11	705.84	25.17	18.83	18.90
96	64.73	117.01	974.99	974.99	974.99	63.12	63.12	63.12
97	42.66	77.11	924.17	924.17	785.15	39.43	39.43	33.49
98	5.53	10.00	921.32	921.32	708.61	5.09	5.09	3.92
99	52.02	94.03	900.95	900.95	900.95	46.87	46.87	46.87
100	46.12	85.16	990.87	990.87	990.87	45.70	45.70	45.70
101	25.19	46.51	1013.54	1013.54	1013.54	25.53	25.53	25.53
102	10.97	20.25	1032.11	1032.11	1032.11	11.32	11.32	11.32
103	42.17	77.86	1069.58	1069.58	1069.58	45.10	45.10	45.10
104	12.07	21.82	908.56	908.56	739.81	10.97	10.97	8.93
105	59.60	107.74	936.02	936.02	789.77	55.79	55.79	47.07
106	46.83	86.47	1014.14	1014.14	1014.14	47.50	47.50	47.50
107	115.59	208.93	944.99	944.99	944.99	109.23	109.23	109.23
108	4.12	7.45	907.08	907.08	788.90	3.74	3.74	3.25
109	76.37	138.04	934.76	934.76	934.76	71.39	71.39	71.39
110	80.74	145.94	996.72	996.72	996.72	80.48	80.48	80.48
111	50.73	180.56	2932.64	2932.64	2932.64	148.79	148.79	148.79
112	92.00	169.86	1031.85	1031.85	1031.85	94.93	94.93	94.93
113	36.80	66.51	909.88	909.88	765.82	33.48	33.48	28.18
114	41.64	75.27	899.51	899.51	855.47	37.46	37.46	35.62
115	47.51	169.08	2920.82	2920.82	2920.82	138.77	138.77	138.77
116	46.72	166.25	2906.08	2906.08	2906.08	135.76	135.76	135.76
117	54.69	98.84	991.58	991.58	991.58	54.22	54.22	54.22
118	67.81	241.33	2937.36	2937.36	2937.36	199.18	199.18	199.18

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Outflow (mm)			Outflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
119	69.31	246.65	2922.72	2922.72	2922.72	202.56	202.56	202.56
120	59.99	213.52	2891.56	2891.56	2891.56	173.48	173.48	173.48
121	59.76	212.69	2946.36	2946.36	2946.36	176.08	176.08	176.08
122	77.81	143.67	981.82	981.82	981.82	76.40	76.40	76.40
123	71.70	129.61	960.29	960.29	852.35	68.86	68.86	61.12
124	56.60	102.31	909.33	909.33	909.33	51.47	51.47	51.47
125	8.65	15.63	897.15	897.15	827.83	7.76	7.76	7.16
126	73.07	132.08	915.91	915.91	915.91	66.93	66.93	66.93
127	3.08	5.57	901.02	901.02	774.02	2.78	2.78	2.39
128	14.69	52.28	2911.62	2911.62	2911.62	42.77	42.77	42.77
129	4.94	17.58	2888.60	2888.60	2888.60	14.27	14.27	14.27
130	26.30	93.58	2867.11	2867.11	2867.11	75.39	75.39	75.39
131	86.48	307.78	2925.15	2925.15	2925.15	252.97	252.97	252.97
132	27.19	96.77	2879.71	2879.71	2879.71	78.30	78.30	78.30
133	126.94	451.77	2885.46	2885.46	2885.46	366.28	366.28	366.28
134	59.27	210.93	2923.80	2923.80	2923.80	173.29	173.29	173.29
135	21.49	76.46	2938.14	2938.14	2938.14	63.13	63.13	63.13
136	84.54	300.87	2864.09	2864.09	2864.09	242.13	242.13	242.13
137	67.95	122.83	931.41	859.15	830.65	63.29	58.38	56.45
138	51.22	92.58	911.70	911.70	911.70	46.70	46.70	46.70
139	5.27	10.40	1018.52	912.85	913.24	5.37	4.81	4.81
140	87.75	312.31	2906.17	2906.17	2906.17	255.03	255.03	255.03
141	3.06	6.04	1010.67	1010.67	938.83	3.09	3.09	2.87
142	63.84	126.08	1022.88	1022.88	1022.88	65.30	65.30	65.30
143	59.29	211.02	2921.98	2921.98	2921.98	173.25	173.25	173.25
144	88.40	314.62	2848.19	2848.19	2848.19	251.79	251.79	251.79
145	26.45	94.14	2876.45	2876.45	2876.45	76.09	76.09	76.09
146	74.53	265.26	2893.44	2893.44	2893.44	215.66	215.66	215.66
147	102.77	202.97	1062.71	1062.71	1062.71	109.21	109.21	109.21
148	68.12	134.54	1026.41	1026.41	885.99	69.92	69.92	60.36

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Outflow (mm)			Outflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
149	84.22	166.32	1104.53	1104.53	1104.53	93.02	93.02	93.02
150	2.26	8.06	2964.52	2964.52	2964.52	6.71	6.71	6.71
151	28.20	100.36	2901.70	2901.70	2901.70	81.83	81.83	81.83
152	58.69	115.90	1036.68	1036.68	682.92	60.84	60.84	40.08
153	0.61	1.21	1016.96	1016.96	860.99	0.62	0.62	0.53
154	62.00	220.65	2887.88	2887.88	2887.88	179.05	179.05	179.05
155	51.13	181.95	2947.81	2947.81	2947.81	150.71	150.71	150.71
156	29.70	58.66	1031.78	886.27	886.52	30.65	26.32	26.33
157	58.82	116.17	1084.63	1084.63	1037.30	63.80	63.80	61.01
158	3.11	6.13	1055.71	1055.71	851.26	3.28	3.28	2.64
159	52.18	103.05	1074.16	1074.16	1041.42	56.05	56.05	54.34
160	9.49	18.74	1056.08	1056.08	951.43	10.02	10.02	9.03

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณการไหลของน้ำท่าของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation

SUB	Area	Rainfall	Streamflow ($m^3 s^{-1}$)			Streamflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
1	45.35	83.734	1.48	1.48	1.48	46.67	46.67	46.67
2	79.55	146.881	2.55	2.55	2.55	80.56	80.56	80.56
3	36.46	67.320	1.10	1.10	1.10	34.68	34.68	34.68
4	154.20	284.715	4.92	4.92	4.85	155.15	155.15	152.81
5	201.20	371.496	6.34	6.34	6.25	199.96	199.96	196.92
6	36.99	68.298	1.15	1.14	1.10	36.38	35.86	34.63
7	272.90	503.883	8.54	8.52	8.24	269.21	268.69	259.79
8	84.19	155.448	2.78	2.78	2.78	87.64	87.64	87.64
9	86.02	158.827	2.63	2.63	2.63	83.19	83.19	83.19
10	43.10	79.580	1.33	1.33	1.33	41.92	41.92	41.92
11	441.80	815.740	13.90	13.88	13.34	438.37	437.85	420.85
12	280.80	518.469	8.55	8.55	8.55	270.12	270.12	270.12
13	744.20	1374.091	23.08	23.06	22.44	728.31	727.79	708.01
14	41.78	77.143	1.26	1.26	1.26	39.78	39.78	39.78
15	789.10	1456.994	24.43	24.41	23.78	771.02	770.50	750.29
16	46.61	86.061	1.42	1.42	1.42	44.76	44.76	44.76
17	857.60	1583.473	26.49	26.47	25.77	835.88	835.36	813.21
18	80.66	148.931	2.46	2.46	2.46	77.51	77.51	77.51
19	976.30	1802.640	30.06	30.05	29.10	948.74	948.22	918.21
20	1335.00	2464.944	41.75	41.34	40.32	1317.06	1303.89	1271.83
21	67.79	125.167	2.03	2.03	1.78	63.97	63.97	56.20
22	2345.00	4329.808	72.80	72.36	70.15	2296.67	2282.95	2213.14
23	32.87	60.691	1.01	1.01	1.01	31.78	31.78	31.78
24	2590.00	4782.176	80.28	79.85	77.01	2532.97	2519.23	2429.45
25	1266.00	2337.542	39.70	39.28	38.53	1252.25	1239.11	1215.25
26	1215.00	2243.376	38.22	38.14	37.47	1205.76	1203.15	1182.02
27	33.65	62.131	1.02	1.02	0.93	32.16	32.16	29.48
28	35.42	65.399	1.08	0.74	0.74	33.97	23.43	23.43

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

SUB	Area km^2	Rainfall (MCM)	Streamflow ($m^3 s^{-1}$) case a	case b	case c	Streamflow (MCM) case a	case b	case c
29	59.47	109.81	1.82	1.82	1.82	57.42	57.42	57.42
30	1181.00	2181.32	37.20	37.12	36.54	1189.10	1185.70	1163.80
31	50.61	93.45	1.53	1.53	1.44	48.12	48.12	45.53
32	2697.00	4979.74	83.43	83.00	80.02	2632.42	2618.77	2524.71
33	2765.00	5105.30	85.48	85.05	81.27	2697.02	2683.40	2564.32
34	819.10	1512.39	51.47	51.47	51.27	1623.24	1623.24	1616.78
35	77.54	140.19	2.27	2.27	2.10	71.62	71.62	66.04
36	3976.00	7188.61	161.80	161.37	157.37	5103.59	5090.07	4963.78
37	882.60	1629.63	53.38	53.38	53.15	1683.40	1683.40	1676.12
38	42.78	78.99	1.29	1.29	1.17	40.78	40.78	37.02
39	59.37	109.62	1.86	1.86	1.86	58.86	58.86	58.86
40	576.90	1065.19	36.43	36.43	36.27	1148.72	1148.72	1143.70
41	131.30	242.43	4.02	4.02	3.86	126.97	126.97	121.81
42	667.40	1232.29	21.20	21.20	21.07	668.78	668.78	664.54
43	78.08	141.17	2.30	2.30	2.04	72.32	72.32	64.41
44	70.02	126.60	2.06	2.06	1.82	64.99	64.99	57.33
45	1210.00	2187.68	76.31	76.31	76.08	2406.36	2406.36	2399.17
46	944.10	1743.19	55.20	55.20	54.97	1740.65	1740.65	1733.60
47	148.50	268.49	4.37	4.37	3.87	137.70	137.70	122.02
48	598.60	1105.02	19.06	19.06	18.97	601.30	601.30	598.45
49	4216.00	7622.53	168.60	167.95	163.77	5317.84	5297.29	5165.53
50	4074.00	7365.79	164.61	164.09	159.91	5192.24	5175.97	5044.07
51	1113.00	2055.04	35.20	35.20	34.69	1110.26	1110.26	1094.40
52	812.00	1499.28	25.62	25.62	25.26	808.27	808.27	796.99
53	4158.00	7517.66	167.00	166.40	162.22	5267.43	5248.58	5116.82
54	125.90	232.46	4.04	4.04	4.04	127.69	127.69	127.69
55	4368.00	7897.34	173.06	172.40	167.71	5458.37	5437.69	5289.51
56	27.03	48.87	0.79	0.79	0.75	24.85	24.85	23.65
57	207.90	375.88	5.96	5.96	5.09	187.79	187.79	160.10
58	46.01	83.19	1.34	1.34	0.99	42.04	42.04	31.27

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Streamflow ($m^3 s^{-1}$)			Streamflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
59	4419.00	7989.55	174.54	173.89	168.80	5505.02	5484.41	5324.07
60	238.70	440.74	7.32	7.32	6.71	231.15	231.15	211.88
61	252.40	456.34	7.27	7.27	6.25	228.84	228.84	196.85
62	42.47	76.79	1.24	1.24	1.05	39.02	39.02	33.03
63	532.40	983.02	35.09	35.09	35.05	1106.43	1106.43	1105.31
64	58.47	107.96	1.76	1.76	1.76	55.45	55.45	55.45
65	26.55	49.02	0.81	0.81	0.81	25.44	25.44	25.44
66	422.10	779.37	13.43	13.43	13.43	423.38	423.38	423.38
67	87.02	160.67	2.62	2.62	2.62	82.57	82.57	82.57
68	180.70	326.71	5.56	5.56	5.56	175.13	175.13	175.13
69	300.00	542.40	8.65	8.65	7.40	272.31	272.31	232.97
70	25.18	45.53	0.73	0.73	0.47	23.13	23.13	14.67
71	57.47	106.11	1.73	1.73	1.73	54.38	54.38	54.38
72	220.80	407.69	14.42	14.42	14.42	454.77	454.77	454.77
73	74.52	134.73	2.12	2.12	2.12	66.81	66.81	66.81
74	46.56	84.18	1.32	1.32	1.32	41.71	41.71	41.71
75	4673.00	8448.78	182.15	181.49	176.12	5744.93	5724.22	5554.59
76	299.80	553.55	9.64	9.64	9.64	303.95	303.95	303.95
77	28.75	51.98	0.84	0.84	0.74	26.32	26.32	23.39
78	339.90	614.54	9.80	9.80	8.15	308.71	308.71	256.49
79	293.30	541.55	9.35	9.35	9.25	294.89	294.89	291.82
80	61.14	112.89	1.85	1.85	1.85	58.40	58.40	58.40
81	4769.00	8622.35	185.21	184.55	179.12	5841.23	5820.68	5649.24
82	374.40	676.92	10.80	10.75	9.00	340.19	338.57	283.41
83	100.10	184.82	3.04	3.04	3.04	95.92	95.92	95.92
84	4808.00	8692.86	186.32	185.67	180.21	5876.27	5855.67	5683.51
85	30.01	54.26	0.89	0.89	0.89	28.17	28.17	28.17
86	442.60	817.22	32.29	32.29	32.29	1018.14	1018.14	1018.14
87	74.54	137.63	2.29	2.29	2.13	72.33	72.33	67.26
88	51.36	94.83	1.53	1.53	1.53	48.23	48.23	48.23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Streamflow ($m^3 s^{-1}$)			Streamflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
89	65.82	121.53	2.31	2.31	2.31	72.84	72.84	72.84
90	162.90	300.78	5.38	5.38	5.38	169.78	169.78	169.78
91	25.29	46.70	0.90	0.90	0.90	28.25	28.25	28.25
92	63.05	116.42	1.97	1.97	1.88	62.08	62.08	59.32
93	68.22	125.96	2.16	2.16	2.16	68.03	68.03	68.03
94	88.31	159.66	2.86	2.86	2.86	90.25	90.25	90.25
95	26.78	48.42	0.80	0.60	0.60	25.15	18.81	18.89
96	64.74	117.05	1.99	1.99	1.99	62.78	62.78	62.78
97	5225.00	9713.04	198.29	197.59	190.19	6459.53	6434.80	6192.10
98	5346.00	9814.20	201.86	201.15	193.72	6585.71	6543.39	6109.00
99	265.20	479.48	21.09	21.09	21.09	664.91	664.91	664.91
100	149.10	275.30	4.65	4.65	4.65	146.71	146.71	146.71
101	25.19	46.51	0.81	0.81	0.81	25.52	25.52	25.52
102	99.97	184.58	3.28	3.28	3.28	103.61	103.61	103.61
103	42.17	77.86	1.43	1.43	1.43	45.01	45.01	45.01
104	5385.00	10898.20	202.96	202.06	194.56	6400.35	6371.93	6135.37
105	59.60	107.76	1.77	1.77	1.49	55.69	55.69	46.98
106	46.83	86.47	1.50	1.50	1.50	47.43	47.43	47.43
107	115.60	209.00	3.45	3.45	3.45	108.76	108.76	108.76
108	5449.00	10987.40	204.82	203.91	196.13	6459.02	6430.48	6184.84
109	76.37	138.08	2.25	2.25	2.25	71.04	71.04	71.04
110	80.74	145.98	2.54	2.54	2.54	79.96	79.96	79.96
111	50.74	180.58	4.72	4.72	4.72	148.71	148.71	148.71
112	92.00	169.87	2.99	2.99	2.99	94.36	94.36	94.36
113	5562.00	11001.30	208.04	207.14	199.18	6560.58	6532.06	6281.11
114	41.64	75.29	1.19	1.19	1.13	37.43	37.43	35.59
115	162.40	577.98	14.92	14.92	14.92	470.49	470.49	470.49
116	46.72	166.28	4.31	4.31	4.31	135.74	135.74	135.74
117	209.00	377.87	16.03	16.03	16.03	505.50	505.50	505.50
118	67.81	241.34	6.31	6.31	6.31	199.05	199.05	199.05

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Streamflow ($m^3 s^{-1}$)			Streamflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
119	307.20	1093.32	28.00	28.00	28.00	882.81	882.81	882.81
120	59.99	213.50	5.50	5.50	5.50	173.47	173.47	173.47
121	59.76	212.69	5.58	5.58	5.58	175.98	175.98	175.98
122	77.82	143.69	2.40	2.40	2.40	75.83	75.83	75.83
123	5675.00	11260.40	211.26	210.36	202.11	6662.10	6633.61	6373.24
124	56.60	102.33	1.63	1.63	1.63	51.29	51.29	51.29
125	407.10	736.04	25.58	25.58	25.56	806.54	806.54	805.94
126	341.80	617.97	23.71	23.71	23.71	747.68	747.68	747.68
127	6086.00	11598.49	236.90	236.00	227.71	7470.53	7442.25	7180.80
128	68.18	242.65	6.23	6.23	6.23	196.31	196.31	196.31
129	177.90	633.15	16.11	16.11	16.11	507.67	507.67	507.67
130	26.30	93.60	2.39	2.39	2.39	75.39	75.39	75.39
131	86.48	307.78	8.01	8.01	8.01	252.73	252.73	252.73
132	27.19	96.77	2.48	2.48	2.48	78.29	78.29	78.29
133	126.90	451.64	11.59	11.59	11.59	365.46	365.46	365.46
134	59.27	210.94	5.49	5.49	5.49	173.22	173.22	173.22
135	168.50	599.69	15.57	15.57	15.57	491.10	491.10	491.10
136	84.54	300.88	7.68	7.68	7.68	242.03	242.03	242.03
137	6154.00	11886.43	238.79	237.74	229.38	7530.17	7496.85	7233.23
138	51.22	92.61	1.48	1.48	1.48	46.53	46.53	46.53
139	6210.00	13264.75	240.42	239.34	231.00	7581.59	7547.44	7284.23
140	87.75	312.30	8.08	8.08	8.08	254.84	254.84	254.84
141	642.00	1267.95	49.08	49.08	49.07	1547.89	1547.89	1547.64
142	291.60	575.91	23.09	23.09	23.09	728.51	728.51	728.51
143	59.29	211.01	5.49	5.49	5.49	173.14	173.14	173.14
144	88.40	314.62	7.98	7.98	7.98	251.55	251.55	251.55
145	26.45	94.14	2.41	2.41	2.41	76.09	76.09	76.09
146	74.53	265.25	6.84	6.84	6.84	215.52	215.52	215.52
147	347.30	685.92	25.89	25.89	25.89	816.52	816.52	816.52
148	6920.00	13667.00	291.54	290.47	281.80	9193.74	9159.91	8886.51

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Streamflow (m^3 s^{-1})			Streamflow (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
149	84.21	166.31	2.94	2.94	2.94	92.70	92.70	92.70
150	103.20	367.29	9.46	9.46	9.46	298.29	298.29	298.29
151	28.20	100.36	2.59	2.59	2.59	81.80	81.80	81.80
152	58.69	115.91	1.92	1.92	1.27	60.61	60.61	39.85
153	7005.00	14834.90	294.49	293.41	284.75	9286.85	9252.83	8979.68
154	62.00	220.66	5.67	5.67	5.67	178.88	178.88	178.88
155	216.40	770.17	19.90	19.90	19.90	627.40	627.40	627.40
156	7093.00	15008.70	297.25	296.06	286.73	9373.95	9336.25	9041.98
157	58.82	116.17	2.01	2.01	1.92	63.47	63.47	60.68
158	7155.00	15131.23	299.32	298.09	288.67	9439.42	9400.54	9103.43
159	52.18	103.06	1.77	1.77	1.72	55.86	55.86	54.16
160	7217.00	15598.13	301.34	300.12	290.61	9811.01	9759.60	9450.60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณการใช้น้ำของพืชของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation

SUB	Area	Rainfall	Evapotranspiration (mm)			Evapotranspiration (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
1	45.35	83.73	805.73	805.73	805.73	36.54	36.54	36.54
2	79.55	146.88	817.70	817.70	817.70	65.05	65.05	65.05
3	36.46	67.31	843.50	843.50	843.50	30.75	30.75	30.75
4	29.27	54.05	842.23	842.23	957.10	24.65	24.65	28.02
5	10.54	19.46	857.70	857.70	949.54	9.04	9.04	10.01
6	36.99	68.29	833.15	833.15	905.86	30.82	30.82	33.50
7	34.69	64.05	852.65	852.65	1034.23	29.58	29.58	35.88
8	84.19	155.44	806.03	806.03	806.03	67.86	67.86	67.86
9	86.02	158.82	857.62	857.62	857.62	73.77	73.77	73.77
10	43.10	79.57	852.74	852.74	852.74	36.75	36.75	36.75
11	84.76	156.50	846.27	846.27	974.65	71.73	71.73	82.61
12	151.73	280.14	856.58	856.58	856.58	129.97	129.97	129.97
13	21.54	39.76	846.82	846.82	1015.60	18.24	18.24	21.87
14	41.78	77.14	864.73	864.73	864.73	36.13	36.13	36.13
15	3.16	5.84	849.72	849.72	1019.06	2.69	2.69	3.22
16	46.61	86.06	859.94	859.94	859.94	40.08	40.08	40.08
17	21.88	40.39	861.47	861.47	982.23	18.84	18.84	21.49
18	80.66	148.92	857.62	857.62	857.62	69.18	69.18	69.18
19	37.99	70.14	850.31	850.31	1110.85	32.30	32.30	42.20
20	1.09	2.02	846.97	846.97	1214.51	0.93	0.93	1.33
21	67.79	125.16	851.97	851.97	990.34	57.75	57.75	67.13
22	33.76	62.32	855.24	855.24	1136.67	28.87	28.87	38.37
23	32.87	60.69	857.28	857.28	857.28	28.18	28.18	28.18
24	6.29	11.61	855.70	855.70	982.66	5.38	5.38	6.18
25	15.15	27.97	847.55	847.55	1064.26	12.84	12.84	16.12
26	0.16	0.29	848.83	1044.19	1025.15	0.13	0.16	0.16
27	33.65	62.13	852.79	852.79	945.17	28.70	28.70	31.81
28	35.42	65.40	846.71	1174.73	1192.23	29.99	41.61	42.23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Evapotranspiration (mm)			Evapotranspiration (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
29	59.47	109.80	847.42	847.42	847.42	50.40	50.40	50.40
30	17.37	32.07	851.69	1011.97	1022.20	14.79	17.58	17.76
31	50.61	93.44	851.60	851.60	910.04	43.10	43.10	46.05
32	74.68	137.88	856.23	856.23	922.07	63.94	63.94	68.86
33	8.01	14.79	854.20	854.20	926.15	6.84	6.84	7.42
34	21.37	39.46	856.09	856.09	931.99	18.30	18.30	19.92
35	77.54	140.16	851.69	851.69	935.07	66.04	66.04	72.51
36	0.86	1.55	866.91	866.91	866.91	0.74	0.74	0.74
37	5.05	9.31	853.68	853.68	1032.02	4.31	4.31	5.21
38	42.78	78.98	854.80	854.80	956.95	36.56	36.56	40.93
39	59.37	109.62	834.21	834.21	834.21	49.53	49.53	49.53
40	1.78	3.28	855.39	855.39	988.72	1.52	1.52	1.76
41	131.35	242.52	852.79	852.79	898.91	112.01	112.01	118.07
42	9.37	17.30	848.36	848.36	1017.72	7.95	7.95	9.54
43	78.08	141.13	849.25	849.25	961.88	66.31	66.31	75.11
44	70.02	126.56	851.18	851.18	971.60	59.60	59.60	68.03
45	1.25	2.25	866.92	866.92	866.92	1.08	1.08	1.08
46	10.10	18.64	858.92	858.92	858.92	8.67	8.67	8.67
47	0.44	0.79	842.47	842.47	1072.70	0.37	0.37	0.47
48	50.58	93.39	818.66	818.66	881.64	41.41	41.41	44.59
49	10.64	19.24	847.46	1029.42	1034.71	9.02	10.96	11.01
50	20.23	36.57	855.95	992.29	1000.82	17.32	20.08	20.25
51	8.10	14.95	848.04	848.04	1066.32	6.87	6.87	8.63
52	13.32	24.59	834.88	834.88	988.22	11.12	11.12	13.16
53	10.11	18.27	845.41	1106.45	1125.21	8.55	11.19	11.38
54	125.93	232.51	821.84	821.84	821.84	103.49	103.49	103.49
55	3.55	6.41	840.66	840.66	1090.96	2.98	2.98	3.87
56	27.03	48.86	860.79	860.79	908.76	23.27	23.27	24.57
57	207.95	375.87	845.93	845.93	991.84	175.91	175.91	206.25
58	46.01	83.16	837.98	837.98	1093.48	38.56	38.56	50.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

SUB	Area km^2	Rainfall (MCM)	Evapotranspiration (mm)			Evapotranspiration (MCM)		
			case a	case b	case c	case a	case b	case c
59	5.75	10.39	839.91	839.91	1104.60	4.83	4.83	6.35
60	101.11	186.68	856.04	856.04	978.46	86.55	86.55	98.93
61	17.43	31.50	852.22	852.22	1038.14	14.85	14.85	18.09
62	42.47	76.76	838.62	838.62	992.06	35.62	35.62	42.13
63	21.53	39.74	858.42	858.42	913.83	18.48	18.48	19.67
64	58.47	107.95	851.30	851.30	851.30	49.77	49.77	49.77
65	26.55	49.02	852.55	852.55	852.55	22.64	22.64	22.64
66	35.33	65.24	785.45	785.45	785.45	27.75	27.75	27.75
67	3.00	5.54	858.30	858.30	858.30	2.57	2.57	2.57
68	35.20	63.63	853.70	853.70	853.70	30.05	30.05	30.05
69	5.10	9.22	842.60	842.60	1142.19	4.30	4.30	5.83
70	25.18	45.51	835.59	835.59	1200.93	21.04	21.04	30.24
71	57.47	106.10	851.40	851.40	851.40	48.93	48.93	48.93
72	32.70	60.37	855.67	855.67	855.67	27.98	27.98	27.98
73	74.52	134.69	864.29	864.29	864.29	64.41	64.41	64.41
74	46.56	84.16	863.60	863.60	863.60	40.21	40.21	40.21
75	72.52	131.08	827.55	827.55	966.29	60.02	60.02	70.08
76	36.69	67.75	790.65	790.65	790.65	29.01	29.01	29.01
77	28.75	51.97	850.31	850.31	963.17	24.45	24.45	27.69
78	14.77	26.70	839.20	839.20	1169.62	12.40	12.40	17.28
79	78.39	144.74	838.52	838.52	882.67	65.73	65.73	69.20
80	61.14	112.88	842.21	842.21	842.21	51.49	51.49	51.49
81	8.07	14.58	840.46	840.46	1081.51	6.78	6.78	8.73
82	5.74	10.38	841.69	1142.21	1149.67	4.83	6.56	6.60
83	100.15	184.91	867.05	867.05	867.05	86.83	86.83	86.83
84	9.03	16.32	850.94	850.94	951.68	7.68	7.68	8.59
85	30.01	54.24	826.76	826.76	826.76	24.81	24.81	24.81
86	43.46	80.25	862.06	862.06	862.06	37.47	37.47	37.47
87	74.53	137.62	845.53	845.53	920.16	63.02	63.02	68.58
88	51.36	94.83	851.87	851.87	851.87	43.75	43.75	43.75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Evapotranspiration (mm)			Evapotranspiration (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
89	65.81	121.52	760.87	760.87	760.87	50.08	50.08	50.08
90	37.65	69.51	811.33	811.33	811.33	30.54	30.54	30.54
91	25.29	46.70	756.96	756.96	756.96	19.14	19.14	19.14
92	63.05	116.42	831.85	831.85	877.90	52.45	52.45	55.35
93	68.23	125.97	819.62	819.62	819.62	55.92	55.92	55.92
94	88.31	159.62	771.15	771.15	771.15	68.10	68.10	68.10
95	26.78	48.40	838.08	1084.46	1099.69	22.44	29.04	29.45
96	64.73	117.01	816.03	816.03	816.03	52.83	52.83	52.83
97	42.66	77.11	843.92	843.92	998.36	36.00	36.00	42.59
98	5.53	10.00	848.99	848.99	1080.65	4.69	4.69	5.98
99	52.02	94.03	858.06	858.06	858.06	44.64	44.64	44.64
100	46.12	85.16	823.95	823.95	823.95	38.00	38.00	38.00
101	25.19	46.51	822.35	822.35	822.35	20.71	20.71	20.71
102	10.97	20.25	802.67	802.67	802.67	8.81	8.81	8.81
103	42.17	77.86	788.51	788.51	788.51	33.25	33.25	33.25
104	12.07	21.82	851.29	851.29	1043.89	10.28	10.28	12.60
105	59.60	107.74	842.80	842.80	997.68	50.23	50.23	59.47
106	46.83	86.47	824.47	824.47	824.47	38.61	38.61	38.61
107	115.59	208.93	831.22	831.22	831.22	96.08	96.08	96.08
108	4.12	7.45	854.88	854.88	989.94	3.52	3.52	4.08
109	76.37	138.04	847.72	847.72	847.72	64.74	64.74	64.74
110	80.74	145.94	796.78	796.78	796.78	64.33	64.33	64.33
111	50.73	180.56	556.72	556.72	556.72	28.24	28.24	28.24
112	92.00	169.86	822.45	822.45	822.45	75.66	75.66	75.66
113	36.80	66.51	846.21	846.21	1005.50	31.14	31.14	37.00
114	41.64	75.27	858.60	858.60	908.07	35.75	35.75	37.81
115	47.51	169.08	574.71	574.71	574.71	27.30	27.30	27.30
116	46.72	166.25	563.62	563.62	563.62	26.33	26.33	26.33
117	54.69	98.84	801.00	801.00	801.00	43.80	43.80	43.80
118	67.81	241.33	568.79	568.79	568.79	38.57	38.57	38.57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Evapotranspiration (mm)			Evapotranspiration (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
119	69.31	246.65	577.63	577.63	577.63	40.03	40.03	40.03
120	59.99	213.52	580.11	580.11	580.11	34.80	34.80	34.80
121	59.76	212.69	575.93	575.93	575.93	34.42	34.42	34.42
122	77.81	143.67	823.56	823.56	823.56	64.09	64.09	64.09
123	71.70	129.61	814.09	814.09	944.45	58.37	58.37	67.72
124	56.60	102.31	866.52	866.52	866.52	49.05	49.05	49.05
125	8.65	15.63	856.29	856.29	933.76	7.41	7.41	8.08
126	73.07	132.08	858.08	858.08	858.08	62.70	62.70	62.70
127	3.08	5.57	852.59	852.59	994.53	2.63	2.63	3.07
128	14.69	52.28	551.58	551.58	551.58	8.10	8.10	8.10
129	4.94	17.58	575.94	575.94	575.94	2.85	2.85	2.85
130	26.30	93.58	586.86	586.86	586.86	15.43	15.43	15.43
131	86.48	307.78	559.30	559.30	559.30	48.37	48.37	48.37
132	27.19	96.77	589.43	589.43	589.43	16.03	16.03	16.03
133	126.94	451.77	599.81	599.81	599.81	76.14	76.14	76.14
134	59.27	210.93	588.38	588.38	588.38	34.87	34.87	34.87
135	21.49	76.46	579.34	579.34	579.34	12.45	12.45	12.45
136	84.54	300.87	584.82	584.82	584.82	49.44	49.44	49.44
137	67.95	122.83	831.74	909.92	947.29	56.52	61.83	64.37
138	51.22	92.58	868.03	868.03	868.03	44.46	44.46	44.46
139	5.27	10.40	907.38	1033.87	1049.40	4.78	5.45	5.53
140	87.75	312.31	573.33	573.33	573.33	50.31	50.31	50.31
141	3.06	6.04	907.89	907.89	1004.56	2.78	2.78	3.07
142	63.84	126.08	931.65	931.65	931.65	59.48	59.48	59.48
143	59.29	211.02	587.66	587.66	587.66	34.84	34.84	34.84
144	88.40	314.62	593.10	593.10	593.10	52.43	52.43	52.43
145	26.45	94.14	567.04	567.04	567.04	15.00	15.00	15.00
146	74.53	265.26	583.42	583.42	583.42	43.48	43.48	43.48
147	102.77	202.97	894.53	894.53	894.53	91.93	91.93	91.93
148	68.12	134.54	902.78	902.78	1058.19	61.50	61.50	72.09

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

SUB	Area	Rainfall	Evapotranspiration (mm)			Evapotranspiration (MCM)		
	km^2	(MCM)	case a	case b	case c	case a	case b	case c
149	84.22	166.32	854.87	854.87	854.87	71.99	71.99	71.99
150	2.26	8.06	548.04	548.04	548.04	1.24	1.24	1.24
151	28.20	100.36	587.37	587.37	587.37	16.56	16.56	16.56
152	58.69	115.90	884.45	884.45	1263.46	51.90	51.90	74.15
153	0.61	1.21	897.86	897.86	1064.53	0.55	0.55	0.65
154	62.00	220.65	587.86	587.86	587.86	36.45	36.45	36.45
155	51.13	181.95	566.73	566.73	566.73	28.97	28.97	28.97
156	29.70	58.66	903.88	1055.28	1061.56	26.85	31.34	31.53
157	58.82	116.17	872.60	872.60	924.35	51.33	51.33	54.37
158	3.11	6.13	896.59	896.59	1120.32	2.78	2.78	3.48
159	52.18	103.05	884.38	884.38	920.79	46.14	46.14	48.05
160	9.49	18.74	903.98	903.98	1018.71	8.58	8.58	9.67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 ค่าเฉลี่ยรายปีปริมาณฝนและปริมาณการใช้น้ำของพืช แยกตาม HRUs ของ 3 กรณี ประกอบด้วย a) without irrigation b) current irrigation c) full potential irrigation

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
1	1	FRSESANDLOAM	3.03	35	1846.33	738.30	738.30	738.30
2	1	FRSESANDLOAM	5.02	35	1846.33	839.41	839.41	839.41
3	1	FRSTSANDLOAM	13.00	36	1846.33	726.57	726.57	726.57
4	1	FRSTSANDLOAM	24.30	36	1846.33	849.34	849.34	849.34
5	2	FRSECLAYLOAM	10.70	77	1846.33	851.40	851.40	851.40
6	2	FRSECLAYLOAM	4.53	77	1846.33	858.57	858.57	858.57
7	2	FRSESANDLOAM	11.90	35	1846.33	839.12	839.12	839.12
8	2	FRSESANDLOAM	9.27	35	1846.33	744.04	744.04	744.04
9	2	FRSTSANDLOAM	12.40	36	1846.33	728.95	728.95	728.95
10	2	FRSTSANDLOAM	30.70	36	1846.33	849.79	849.79	849.79
11	3	FRSTSANDLOAM	2.71	36	1846.33	732.75	732.75	732.75
12	3	FRSTSANDLOAM	33.70	36	1846.33	852.39	852.39	852.39
13	4	FRSTCLAYLOAM	0.66	79	1846.33	856.90	856.90	856.90
14	4	FRSTCLAYLOAM	2.76	79	1846.33	861.88	861.88	861.88
15	4	FRSTLOAM	2.13	36	1846.33	857.87	857.87	857.87
16	4	FRSTLOAM	1.64	36	1846.33	842.99	842.99	842.99
17	4	FRSTSANDLOAM	1.30	36	1846.33	723.80	723.80	723.80
18	4	FRSTSANDLOAM	12.70	36	1846.33	851.80	851.80	851.80
19	4	RICESANDLOAM	0.67	62	1846.33	734.26	734.26	974.41
20	4	RICESANDLOAM	7.40	62	1846.33	843.05	843.05	1275.83
21	5	FRSTCLAYLOAM	1.43	79	1846.33	856.22	856.22	856.22
22	5	FRSTCLAYLOAM	6.63	79	1846.33	861.84	861.84	861.84
23	5	RICECLAYLOAM	1.11	84	1846.33	852.50	852.50	1185.97
24	5	RICESANDLOAM	1.38	62	1846.33	843.50	843.50	1276.72
25	6	FRSELOAM	0.26	35	1846.33	848.78	848.78	848.78
26	6	FRSELOAM	1.58	35	1846.33	827.34	827.34	827.34
27	6	FRSESANDLOAM	1.71	35	1846.33	740.57	740.57	740.57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm)		
						case a	case b	case c
28	6	FRSESANDLOAM	2.70	35	1846.33	839.76	839.76	839.76
29	6	FRSTLOAM	1.76	36	1846.33	857.75	857.75	857.75
30	6	FRSTLOAM	3.02	36	1846.33	838.78	838.78	838.78
31	6	FRSTSANDLOAM	15.00	36	1846.33	851.14	851.14	851.14
32	6	FRSTSANDLOAM	3.41	36	1846.33	757.21	757.21	757.21
33	6	RICECLAYLOAM	4.44	84	1846.33	852.41	852.41	1179.27
34	6	RICESANDLOAM	2.61	62	1846.33	842.84	842.84	1275.14
35	6	RICESANDLOAM	0.50	62	1846.33	761.65	761.65	979.12
36	7	FRSTCLAYLOAM	1.37	79	1846.33	854.13	854.13	854.13
37	7	FRSTCLAYLOAM	9.98	79	1846.33	861.82	861.82	861.82
38	7	FRSTSANDLOAM	7.02	36	1846.33	852.40	852.40	852.40
39	7	RICECLAYLOAM	6.54	84	1846.33	851.98	851.98	1170.99
40	7	RICESANDLOAM	9.78	62	1846.33	843.71	843.71	1274.63
41	8	FRSECLAYLOAM	2.58	77	1846.33	852.34	852.34	852.34
42	8	FRSECLAYLOAM	10.20	77	1846.33	858.24	858.24	858.24
43	8	FRSESANDLOAM	12.50	35	1846.33	837.98	837.98	837.98
44	8	FRSESANDLOAM	29.60	35	1846.33	728.09	728.09	728.09
45	8	FRSTCLAYLOAM	22.10	79	1846.33	861.90	861.90	861.90
46	8	FRSTCLAYLOAM	1.38	79	1846.33	857.16	857.16	857.16
47	8	FRSTSANDLOAM	3.42	36	1846.33	849.22	849.22	849.22
48	8	FRSTSANDLOAM	2.42	36	1846.33	723.97	723.97	723.97
49	9	FRSECLAYLOAM	20.50	77	1846.33	858.49	858.49	858.49
50	9	FRSECLAYLOAM	24.10	77	1846.33	852.06	852.06	852.06
51	9	FRSTCLAYLOAM	25.90	79	1846.33	862.29	862.29	862.29
52	9	FRSTCLAYLOAM	15.50	79	1846.33	857.31	857.31	857.31
53	10	FRSECLAYLOAM	9.92	77	1846.33	858.61	858.61	858.61
54	10	FRSECLAYLOAM	33.20	77	1846.33	850.98	850.98	850.98
55	11	FRSECLAYLOAM	17.80	77	1846.33	858.28	858.28	858.28
56	11	FRSESANDLOAM	3.02	35	1846.33	726.03	726.03	726.03
57	11	FRSESANDLOAM	4.69	35	1846.33	841.99	841.99	841.99

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
58	11	FRSTCLAYLOAM	1.93	79	1846.33	854.55	854.55	854.55
59	11	FRSTCLAYLOAM	13.80	79	1846.33	861.82	861.82	861.82
60	11	FRSTLOAM	1.96	36	1846.33	840.52	840.52	840.52
61	11	FRSTLOAM	3.03	36	1846.33	857.87	857.87	857.87
62	11	FRSTSANDLOAM	1.33	36	1846.33	721.63	721.63	721.63
63	11	FRSTSANDLOAM	7.68	36	1846.33	851.30	851.30	851.30
64	11	RICECLAYLOAM	14.70	84	1846.33	851.79	851.79	1157.07
65	11	RICESANDLOAM	14.90	62	1846.33	843.72	843.72	1272.87
66	12	FRSECLAYLOAM	33.00	77	1846.33	850.64	850.64	850.64
67	12	FRSECLAYLOAM	35.30	77	1846.33	858.26	858.26	858.26
68	12	FRSTCLAYLOAM	44.60	79	1846.33	861.92	861.92	861.92
69	12	FRSTCLAYLOAM	21.50	79	1846.33	855.15	855.15	855.15
70	12	FRSTSANDLOAM	17.30	36	1846.33	852.48	852.48	852.48
71	13	FRSTLOAM	3.56	36	1846.33	834.41	834.41	834.41
72	13	FRSTLOAM	1.23	36	1846.33	857.77	857.77	857.77
73	13	FRSTSANDLOAM	7.58	36	1846.33	852.28	852.28	852.28
74	13	RICECLAYLOAM	2.14	84	1846.33	852.22	852.22	1155.19
75	13	RICESANDLOAM	7.03	62	1846.33	843.68	843.68	1268.64
76	14	FRSECLAYLOAM	4.50	77	1846.33	858.22	858.22	858.22
77	14	FRSECLAYLOAM	3.03	77	1846.33	851.59	851.59	851.59
78	14	FRSELOAM	3.25	35	1846.33	849.60	849.60	849.60
79	14	FRSELOAMSAND	1.72	35	1846.33	833.28	833.28	833.28
80	14	FRSELOAMSAND	6.28	35	1846.33	882.23	882.23	882.23
81	14	FRSTCLAYLOAM	13.00	79	1846.33	861.86	861.86	861.86
82	14	FRSTLOAMSAND	5.24	36	1846.33	895.47	895.47	895.47
83	14	FRSTLOAMSAND	0.91	36	1846.33	849.22	849.22	849.22
84	14	FRSTSANDLOAM	3.89	36	1846.33	852.49	852.49	852.49
85	15	FRSECLAYLOAM	0.36	77	1846.33	858.25	858.25	858.25
86	15	FRSESANDLOAM	0.86	35	1846.33	843.86	843.86	843.86
87	15	FRSTCLAYLOAM	0.38	79	1846.33	861.79	861.79	861.79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
88	15	FRSTSANDLOAM	0.12	36	1846.33	852.62	852.62	852.62
89	15	RICECLAYLOAM	0.63	84	1846.33	852.69	852.69	1153.85
90	15	RICESANDLOAM	0.82	62	1846.33	843.84	843.84	1267.24
91	16	FRSECLAYLOAM	4.05	77	1846.33	858.21	858.21	858.21
92	16	FRSECLAYLOAM	9.28	77	1846.33	851.51	851.51	851.51
93	16	FRSELOAMSAND	2.97	35	1846.33	832.16	832.16	832.16
94	16	FRSELOAMSAND	3.98	35	1846.33	881.28	881.28	881.28
95	16	FRSTCLAYLOAM	3.63	79	1846.33	861.93	861.93	861.93
96	16	FRSTCLAYLOAM	6.23	79	1846.33	856.79	856.79	856.79
97	16	FRSTLOAM	11.00	36	1846.33	858.53	858.53	858.53
98	16	FRSTLOAMSAND	1.54	36	1846.33	844.00	844.00	844.00
99	16	FRSTLOAMSAND	3.88	36	1846.33	894.83	894.83	894.83
100	17	FRSELOAM	1.89	35	1846.33	849.62	849.62	849.62
101	17	FRSELOAMSAND	1.27	35	1846.33	886.72	886.72	886.72
102	17	FRSESANDLOAM	1.37	35	1846.33	843.86	843.86	843.86
103	17	FRSTLOAM	10.00	36	1846.33	858.31	858.31	858.31
104	17	RICECLAYLOAM	2.75	84	1846.33	852.61	852.61	1153.53
105	17	RICELOAMSAND	3.06	62	1846.33	893.32	893.32	1274.36
106	17	RICESANDLOAM	1.54	62	1846.33	843.87	843.87	1267.24
107	18	FRSECLAYLOAM	10.50	77	1846.33	858.13	858.13	858.13
108	18	FRSECLAYLOAM	24.90	77	1846.33	850.54	850.54	850.54
109	18	FRSELOAMSAND	7.01	35	1846.33	882.55	882.55	882.55
110	18	FRSELOAMSAND	2.15	35	1846.33	802.14	802.14	802.14
111	18	FRSTCLAYLOAM	3.56	79	1846.33	861.85	861.85	861.85
112	18	FRSTCLAYLOAM	12.80	79	1846.33	854.94	854.94	854.94
113	18	FRSTLOAM	13.60	36	1846.33	858.45	858.45	858.45
114	18	FRSTLOAMSAND	1.19	36	1846.33	801.54	801.54	801.54
115	18	FRSTLOAMSAND	4.99	36	1846.33	895.69	895.69	895.69
116	19	FRSTLOAM	2.79	36	1846.33	839.83	839.83	839.83
117	19	FRSTLOAM	2.44	36	1846.33	858.14	858.14	858.14

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
118	19	FRSTSANDLOAM	7.90	36	1846.33	852.57	852.57	852.57
119	19	FRSTSANDLOAM	0.61	36	1846.33	719.54	719.54	719.54
120	19	RICELOAMSAND	4.60	62	1846.33	893.30	893.30	1272.69
121	19	RICESANDLOAM	19.60	62	1846.33	843.92	843.92	1258.95
122	20	RICECLAYLOAM	0.38	84	1846.33	852.76	852.76	1141.44
123	20	RICESANDLOAM	0.71	62	1846.33	843.89	843.89	1253.48
124	21	FRSTCLAYLOAM	6.60	79	1846.33	857.37	857.37	857.37
125	21	FRSTCLAYLOAM	8.64	79	1846.33	861.77	861.77	861.77
126	21	FRSTLOAM	9.27	36	1846.33	858.27	858.27	858.27
127	21	FRSTSANDLOAM	20.00	36	1846.33	852.56	852.56	852.56
128	21	RICESANDLOAM	23.30	62	1846.33	843.79	843.79	1246.74
129	22	FRSTLOAM	0.70	36	1846.33	857.57	857.57	857.57
130	22	FRSTLOAM	1.31	36	1846.33	841.16	841.16	841.16
131	22	FRSTLOAMSAND	1.69	36	1846.33	897.12	897.12	897.12
132	22	FRSTLOAMSAND	0.88	36	1846.33	801.46	801.46	801.46
133	22	FRSTSANDLOAM	2.82	36	1846.33	852.33	852.33	852.33
134	22	RICECLAYLOAM	6.63	84	1846.33	852.37	852.37	1131.16
135	22	RICELOAMSAND	5.09	62	1846.33	892.87	892.87	1260.12
136	22	RICESANDLOAM	14.60	62	1846.33	843.56	843.56	1238.57
137	23	FRSTCLAYLOAM	23.70	79	1846.33	861.75	861.75	861.75
138	23	FRSTCLAYLOAM	1.88	79	1846.33	856.29	856.29	856.29
139	23	FRSTLOAM	5.57	36	1846.33	838.49	838.49	838.49
140	23	FRSTLOAM	1.71	36	1846.33	857.65	857.65	857.65
141	24	FRSTCLAYLOAM	2.70	79	1846.33	861.76	861.76	861.76
142	24	FRSTSANDLOAM	0.84	36	1846.33	852.14	852.14	852.14
143	24	RICECLAYLOAM	2.34	84	1846.33	852.17	852.17	1123.75
144	24	RICESANDLOAM	0.42	62	1846.33	843.52	843.52	1234.76
145	25	FRSTSANDLOAM	6.76	36	1846.33	852.41	852.41	852.41
146	25	RICESANDLOAM	8.39	62	1846.33	843.64	843.64	1234.78
147	26	FRSTSANDLOAM	0.09	36	1846.33	852.84	852.84	852.84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
148	26	RICESANDLOAM	0.07	62	1846.33	843.97	1276.54	1234.38
149	27	FRSECLAYLOAM	2.55	77	1846.33	858.15	858.15	858.15
150	27	FRSECLAYLOAM	3.69	77	1846.33	852.82	852.82	852.82
151	27	FRSTCLAYLOAM	4.17	79	1846.33	861.89	861.89	861.89
152	27	FRSTCLAYLOAM	6.11	79	1846.33	857.44	857.44	857.44
153	27	FRSTSANDLOAM	9.14	36	1846.33	852.03	852.03	852.03
154	27	RICESANDLOAM	7.99	62	1846.33	843.63	843.63	1232.94
155	28	RICECLAYLOAM	11.20	84	1846.33	852.78	1094.11	1115.71
156	28	RICESANDLOAM	24.30	62	1846.33	843.91	1211.84	1227.45
157	29	FRSELOAM	3.21	35	1846.33	848.69	848.69	848.69
158	29	FRSELOAM	8.21	35	1846.33	828.29	828.29	828.29
159	29	FRSTCLAYLOAM	19.50	79	1846.33	861.71	861.71	861.71
160	29	FRSTLOAM	9.79	36	1846.33	837.91	837.91	837.91
161	29	FRSTLOAM	3.19	36	1846.33	857.49	857.49	857.49
162	29	FRSTSANDLOAM	1.44	36	1846.33	762.15	762.15	762.15
163	29	FRSTSANDLOAM	14.10	36	1846.33	851.55	851.55	851.55
164	30	FRSTSANDLOAM	6.12	36	1846.33	852.49	852.49	852.49
165	30	RICECLAYLOAM	1.56	84	1846.33	852.83	1075.13	1112.33
166	30	RICESANDLOAM	6.67	62	1846.33	843.86	1209.31	1227.27
167	30	RICESANDLOAM	3.03	62	1846.33	866.74	866.74	866.74
168	31	FRSECLAYLOAM	3.09	77	1846.33	858.03	858.03	858.03
169	31	FRSECLAYLOAM	5.87	77	1846.33	852.13	852.13	852.13
170	31	FRSTCLAYLOAM	6.74	79	1846.33	855.43	855.43	855.43
171	31	FRSTCLAYLOAM	1.32	79	1846.33	861.72	861.72	861.72
172	31	FRSTSANDLOAM	25.90	36	1846.33	851.76	851.76	851.76
173	31	RICESANDLOAM	7.73	62	1846.33	843.05	843.05	1225.87
174	32	FRSTCLAYLOAM	37.10	79	1846.33	861.73	861.73	861.73
175	32	FRSTSANDLOAM	20.30	36	1846.33	851.72	851.72	851.72
176	32	RICECLAYLOAM	13.60	84	1846.33	851.77	851.77	1110.75
177	32	RICESANDLOAM	3.71	62	1846.33	842.11	842.11	1221.86

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
178	33	FRSTCLAYLOAM	2.23	79	1846.33	861.60	861.60	861.60
179	33	FRSTSANDLOAM	3.75	36	1846.33	852.15	852.15	852.15
180	33	RICECLAYLOAM	1.58	84	1846.33	851.76	851.76	1106.94
181	33	RICESANDLOAM	0.46	62	1846.33	843.44	843.44	1223.63
182	34	FRSECLAYLOAM	8.80	77	1846.33	858.19	858.19	858.19
183	34	FRSELOAM	2.61	35	1846.33	849.54	849.54	849.54
184	34	FRSTCLAYLOAM	3.60	79	1846.33	861.73	861.73	861.73
185	34	RICECLAYLOAM	6.36	84	1846.33	852.69	852.69	1107.74
186	35	FRSECLAYLOAM	9.88	77	1807.50	870.98	870.98	870.98
187	35	FRSECLAYLOAM	1.30	77	1807.50	864.65	864.65	864.65
188	35	FRSESANDLOAM	7.05	35	1807.50	850.11	850.11	850.11
189	35	FRSTCLAYLOAM	3.08	79	1807.50	862.56	862.56	862.56
190	35	FRSTCLAYLOAM	9.55	79	1807.50	866.83	866.83	866.83
191	35	FRSTLOAM	2.17	36	1807.50	858.38	858.38	858.38
192	35	FRSTLOAM	11.20	36	1807.50	836.22	836.22	836.22
193	35	FRSTSANDLOAM	0.73	36	1807.50	764.17	764.17	764.17
194	35	FRSTSANDLOAM	10.50	36	1807.50	850.93	850.93	850.93
195	35	RICECLAYLOAM	17.60	84	1807.50	847.80	847.80	1121.77
196	35	RICESANDLOAM	4.42	62	1807.50	834.75	834.75	1207.85
197	36	FRSTCLAYLOAM	0.86	79	1807.50	866.91	866.91	866.91
198	37	FRSECLAYLOAM	1.50	77	1846.33	858.20	858.20	858.20
199	37	FRSELOAM	0.53	35	1846.33	849.58	849.58	849.58
200	37	RICECLAYLOAM	0.65	84	1846.33	852.74	852.74	1105.21
201	37	RICELOAM	1.16	62	1846.33	861.00	861.00	1100.24
202	37	RICESANDLOAM	1.20	62	1846.33	843.29	843.29	1222.46
203	38	FRSTCLAYLOAM	12.40	79	1846.33	861.81	861.81	861.81
204	38	FRSTSANDLOAM	14.30	36	1846.33	852.54	852.54	852.54
205	38	RICECLAYLOAM	13.50	84	1846.33	852.89	852.89	1104.19
206	38	RICESANDLOAM	2.57	62	1846.33	843.77	843.77	1223.16
207	39	FRSECLAYLOAM	5.87	77	1846.33	858.28	858.28	858.28

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
208	39	FRSECLAYLOAM	22.00	77	1846.33	851.23	851.23	851.23
209	39	FRSESANDLOAM	7.79	35	1846.33	724.35	724.35	724.35
210	39	FRSESANDLOAM	0.63	35	1846.33	837.36	837.36	837.36
211	39	FRSTCLAYLOAM	5.29	79	1846.33	855.74	855.74	855.74
212	39	FRSTCLAYLOAM	3.34	79	1846.33	862.15	862.15	862.15
213	39	FRSTSANDLOAM	13.50	36	1846.33	852.55	852.55	852.55
214	39	FRSTSANDLOAM	0.97	36	1846.33	714.40	714.40	714.40
215	40	FRSECLAYLOAM	0.83	77	1846.33	858.25	858.25	858.25
216	40	RICECLAYLOAM	0.95	84	1846.33	852.91	852.91	1102.53
217	41	FRSECLAYLOAM	60.70	77	1846.33	850.77	850.77	850.77
218	41	FRSECLAYLOAM	15.40	77	1846.33	859.06	859.06	859.06
219	41	FRSTCLAYLOAM	11.10	79	1846.33	856.71	856.71	856.71
220	41	FRSTCLAYLOAM	11.20	79	1846.33	863.01	863.01	863.01
221	41	FRSTSANDLOAM	10.30	36	1846.33	853.02	853.02	853.02
222	41	RICECLAYLOAM	4.70	84	1846.33	851.48	851.48	1103.32
223	41	RICECLAYLOAM	14.10	84	1846.33	846.21	846.21	1086.42
224	41	RICESANDLOAM	3.97	62	1846.33	843.95	843.95	1221.46
225	42	FRSTSANDLOAM	5.17	36	1846.33	852.34	852.34	852.34
226	42	RICESANDLOAM	4.21	62	1846.33	843.47	843.47	1220.74
227	43	FRSTCLAYLOAM	18.10	79	1807.50	866.86	866.86	866.86
228	43	FRSTCLAYLOAM	3.41	79	1807.50	862.30	862.30	862.30
229	43	FRSTLOAM	2.11	36	1807.50	858.37	858.37	858.37
230	43	FRSTLOAM	12.10	36	1807.50	838.06	838.06	838.06
231	43	FRSTSANDLOAM	1.09	36	1807.50	730.73	730.73	730.73
232	43	FRSTSANDLOAM	11.40	36	1807.50	851.54	851.54	851.54
233	43	RICECLAYLOAM	20.60	84	1807.50	848.47	848.47	1109.24
234	43	RICESANDLOAM	9.24	62	1807.50	835.51	835.51	1206.44
235	44	FRSTCLAYLOAM	20.20	79	1807.50	866.84	866.84	866.84
236	44	FRSTCLAYLOAM	3.28	79	1807.50	862.79	862.79	862.79
237	44	FRSTLOAM	5.63	36	1807.50	858.54	858.54	858.54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
238	44	FRSTLOAM	12.20	36	1807.50	834.97	834.97	834.97
239	44	RICECLAYLOAM	19.30	84	1807.50	848.51	848.51	1105.65
240	44	RICESANDLOAM	9.40	62	1807.50	835.59	835.59	1205.17
241	45	FRSTCLAYLOAM	1.25	79	1807.50	866.92	866.92	866.92
242	46	FRSECLAYLOAM	3.77	77	1846.33	858.21	858.21	858.21
243	46	FRSELOAM	1.22	35	1846.33	849.47	849.47	849.47
244	46	FRSTCLAYLOAM	5.11	79	1846.33	861.71	861.71	861.71
245	47	FRSTLOAM	0.06	36	1807.50	858.98	858.98	858.98
246	47	FRSTSANDLOAM	0.11	36	1807.50	851.46	851.46	851.46
247	47	RICESANDLOAM	0.27	62	1807.50	835.37	835.37	1205.01
248	48	FRSECLAYLOAM	2.37	77	1846.33	850.61	850.61	850.61
249	48	FRSECLAYLOAM	0.85	77	1846.33	858.06	858.06	858.06
250	48	FRSESANDLOAM	5.33	35	1846.33	838.04	838.04	838.04
251	48	FRSESANDLOAM	8.91	35	1846.33	722.89	722.89	722.89
252	48	FRSTCLAYLOAM	1.32	79	1846.33	857.31	857.31	857.31
253	48	FRSTCLAYLOAM	2.48	79	1846.33	861.82	861.82	861.82
254	48	FRSTSANDLOAM	3.39	36	1846.33	728.17	728.17	728.17
255	48	FRSTSANDLOAM	17.50	36	1846.33	851.75	851.75	851.75
256	48	RICESANDLOAM	8.47	62	1846.33	843.65	843.65	1219.55
257	49	FRSTCLAYLOAM	1.06	79	1807.50	866.83	866.83	866.83
258	49	FRSTLOAM	1.18	36	1807.50	859.05	859.05	859.05
259	49	FRSTSANDLOAM	2.17	36	1807.50	851.12	851.12	851.12
260	49	RICELOAM	2.54	62	1807.50	849.10	1082.43	1096.80
261	49	RICESANDLOAM	3.69	62	1807.50	834.89	1199.33	1204.68
262	50	FRSECLAYLOAM	6.39	77	1807.50	870.99	870.99	870.99
263	50	FRSTCLAYLOAM	1.60	79	1807.50	866.84	866.84	866.84
264	50	FRSTSANDLOAM	1.60	36	1807.50	851.58	851.58	851.58
265	50	RICECLAYLOAM	8.55	84	1807.50	848.48	1082.12	1101.01
266	50	RICESANDLOAM	2.09	62	1807.50	835.49	1199.79	1205.16
267	51	FRSTSANDLOAM	3.10	36	1846.33	852.64	852.64	852.64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
268	51	RICECLAYLOAM	0.76	84	1846.33	852.72	852.72	1090.98
269	51	RICESANDLOAM	4.24	62	1846.33	843.84	843.84	1218.21
270	52	FRSTSANDLOAM	1.39	36	1846.33	718.32	718.32	718.32
271	52	FRSTSANDLOAM	6.48	36	1846.33	852.37	852.37	852.37
272	52	RICESANDLOAM	5.46	62	1846.33	843.74	843.74	1218.09
273	53	RICECLAYLOAM	3.82	84	1807.50	848.87	1080.18	1099.98
274	53	RICELOAM	3.67	62	1807.50	849.07	1067.45	1094.67
275	53	RICESANDLOAM	2.62	62	1807.50	835.21	1199.53	1204.90
276	54	FRSECLAYLOAM	38.20	77	1846.33	852.10	852.10	852.10
277	54	FRSECLAYLOAM	18.80	77	1846.33	858.63	858.63	858.63
278	54	FRSESANDLOAM	18.10	35	1846.33	723.55	723.55	723.55
279	54	FRSESANDLOAM	2.93	35	1846.33	837.95	837.95	837.95
280	54	FRSTCLAYLOAM	10.60	79	1846.33	862.53	862.53	862.53
281	54	FRSTCLAYLOAM	5.65	79	1846.33	856.90	856.90	856.90
282	54	FRSTSANDLOAM	19.40	36	1846.33	852.30	852.30	852.30
283	54	FRSTSANDLOAM	12.20	36	1846.33	712.29	712.29	712.29
284	55	FRSTSANDLOAM	1.14	36	1807.50	851.34	851.34	851.34
285	55	RICESANDLOAM	2.40	62	1807.50	835.57	835.57	1205.16
286	56	FRSECLAYLOAM	0.81	77	1807.50	866.51	866.51	866.51
287	56	FRSECLAYLOAM	4.35	77	1807.50	871.02	871.02	871.02
288	56	FRSELOAM	1.94	35	1807.50	858.12	858.12	858.12
289	56	FRSELOAM	1.94	35	1807.50	841.14	841.14	841.14
290	56	FRSTCLAYLOAM	10.40	79	1807.50	866.94	866.94	866.94
291	56	FRSTLOAM	2.18	36	1807.50	858.98	858.98	858.98
292	56	FRSTLOAM	0.29	36	1807.50	845.41	845.41	845.41
293	56	RICECLAYLOAM	5.16	84	1807.50	848.93	848.93	1100.25
294	57	FRSECLAYLOAM	6.77	77	1807.50	871.08	871.08	871.08
295	57	FRSELOAM	6.59	35	1807.50	858.34	858.34	858.34
296	57	FRSELOAM	4.06	35	1807.50	841.32	841.32	841.32
297	57	FRSESANDLOAM	23.50	35	1807.50	850.12	850.12	850.12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
298	57	FRSTLOAM	11.40	36	1807.50	841.67	841.67	841.67
299	57	FRSTLOAM	19.60	36	1807.50	858.92	858.92	858.92
300	57	FRSTSANDLOAM	53.70	36	1807.50	851.59	851.59	851.59
301	57	RICESANDLOAM	82.30	62	1807.50	835.70	835.70	1204.17
302	58	FRSTSANDLOAM	13.20	36	1807.50	851.68	851.68	851.68
303	58	FRSTSANDLOAM	0.87	36	1807.50	714.85	714.85	714.85
304	58	RICESANDLOAM	32.00	62	1807.50	835.68	835.68	1203.29
305	59	FRSTSANDLOAM	1.60	36	1807.50	851.16	851.16	851.16
306	59	RICESANDLOAM	4.14	62	1807.50	835.55	835.55	1202.80
307	60	FRSTCLAYLOAM	42.10	79	1846.33	862.06	862.06	862.06
308	60	FRSTSANDLOAM	10.10	36	1846.33	852.83	852.83	852.83
309	60	RICECLAYLOAM	41.30	84	1846.33	852.96	852.96	1083.85
310	60	RICESANDLOAM	7.70	62	1846.33	843.91	843.91	1214.01
311	61	FRSTCLAYLOAM	0.20	79	1807.50	863.78	863.78	863.78
312	61	FRSTCLAYLOAM	3.14	79	1807.50	866.90	866.90	866.90
313	61	FRSTLOAM	0.49	36	1807.50	844.15	844.15	844.15
314	61	FRSTLOAM	0.34	36	1807.50	858.50	858.50	858.50
315	61	RICECLAYLOAM	13.30	84	1807.50	848.70	848.70	1093.06
316	62	FRSELOAM	0.30	35	1807.50	857.62	857.62	857.62
317	62	FRSELOAM	1.82	35	1807.50	840.75	840.75	840.75
318	62	FRSESANDLOAM	9.52	35	1807.50	850.20	850.20	850.20
319	62	FRSESANDLOAM	0.99	35	1807.50	734.75	734.75	734.75
320	62	FRSTLOAM	3.31	36	1807.50	840.52	840.52	840.52
321	62	FRSTLOAM	0.84	36	1807.50	858.47	858.47	858.47
322	62	FRSTSANDLOAM	0.70	36	1807.50	723.86	723.86	723.86
323	62	FRSTSANDLOAM	7.16	36	1807.50	851.62	851.62	851.62
324	62	RICESANDLOAM	17.80	62	1807.50	835.66	835.66	1201.00
325	63	FRSECLAYLOAM	8.17	77	1846.33	858.39	858.39	858.39
326	63	FRSTCLAYLOAM	8.12	79	1846.33	861.96	861.96	861.96
327	63	RICECLAYLOAM	5.24	84	1846.33	853.00	853.00	1080.59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
328	64	FRSECLAYLOAM	21.30	77	1846.33	858.59	858.59	858.59
329	64	FRSESANDLOAM	25.80	35	1846.33	843.85	843.85	843.85
330	64	FRSTCLAYLOAM	2.14	79	1846.33	862.21	862.21	862.21
331	64	FRSTSANDLOAM	9.25	36	1846.33	852.74	852.74	852.74
332	65	FRSECLAYLOAM	11.70	77	1846.33	851.31	851.31	851.31
333	65	FRSECLAYLOAM	3.28	77	1846.33	858.13	858.13	858.13
334	65	FRSELOAM	3.95	35	1846.33	849.54	849.54	849.54
335	65	FRSELOAM	0.24	35	1846.33	841.36	841.36	841.36
336	65	FRSTLOAM	2.82	36	1846.33	858.29	858.29	858.29
337	65	FRSTSANDLOAM	4.58	36	1846.33	851.40	851.40	851.40
338	66	FRSESANDLOAM	11.00	35	1846.33	722.42	722.42	722.42
339	66	FRSESANDLOAM	5.62	35	1846.33	838.03	838.03	838.03
340	66	FRSTSANDLOAM	5.94	36	1846.33	714.85	714.85	714.85
341	66	FRSTSANDLOAM	12.80	36	1846.33	849.62	849.62	849.62
342	67	FRSTLOAM	3.00	36	1846.33	858.30	858.30	858.30
343	68	FRSECLAYLOAM	21.50	77	1807.50	871.17	871.17	871.17
344	68	FRSEHEAVYCLA	4.87	77	1807.50	769.16	769.16	769.16
345	68	FRSTCLAYLOAM	3.54	79	1807.50	867.04	867.04	867.04
346	68	FRSTSANDLOAM	5.31	36	1807.50	851.59	851.59	851.59
347	69	RICELOAM	2.65	62	1807.50	849.06	849.06	1087.74
348	69	RICESANDLOAM	2.45	62	1807.50	835.62	835.62	1200.94
349	70	RICESANDLOAM	25.20	62	1807.50	835.59	835.59	1200.93
350	71	FRSECLAYLOAM	1.55	77	1846.33	858.10	858.10	858.10
351	71	FRSECLAYLOAM	11.70	77	1846.33	850.19	850.19	850.19
352	71	FRSELOAM	12.90	35	1846.33	849.53	849.53	849.53
353	71	FRSELOAM	0.96	35	1846.33	841.17	841.17	841.17
354	71	FRSTLOAM	6.06	36	1846.33	858.39	858.39	858.39
355	71	FRSTSANDLOAM	24.30	36	1846.33	851.20	851.20	851.20
356	72	FRSECLAYLOAM	26.70	77	1846.33	858.33	858.33	858.33
357	72	FRSESANDLOAM	5.97	35	1846.33	843.75	843.75	843.75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
358	73	FRSECLAYLOAM	33.70	77	1807.50	871.14	871.14	871.14
359	73	FRSELOAM	40.90	35	1807.50	858.64	858.64	858.64
360	74	FRSECLAYLOAM	13.70	77	1807.50	871.27	871.27	871.27
361	74	FRSELOAM	14.60	35	1807.50	858.76	858.76	858.76
362	74	FRSTCLAYLOAM	5.60	79	1807.50	867.16	867.16	867.16
363	74	FRSTLOAM	12.70	36	1807.50	859.34	859.34	859.34
364	75	FRSECLAYLOAM	16.10	77	1807.50	871.03	871.03	871.03
365	75	FRSEHEAVYCLA	19.40	77	1807.50	768.99	768.99	768.99
366	75	FRSESANDLOAM	9.47	35	1807.50	850.21	850.21	850.21
367	75	RICESANDLOAM	27.50	62	1807.50	835.52	835.52	1200.89
368	76	FRSESANDLOAM	5.69	35	1846.33	838.97	838.97	838.97
369	76	FRSESANDLOAM	16.30	35	1846.33	722.48	722.48	722.48
370	76	FRSTLOAM	3.97	36	1846.33	858.43	858.43	858.43
371	76	FRSTSANDLOAM	10.00	36	1846.33	851.93	851.93	851.93
372	76	FRSTSANDLOAM	0.70	36	1846.33	722.51	722.51	722.51
373	77	FRSECLAYLOAM	2.87	77	1807.50	870.97	870.97	870.97
374	77	FRSECLAYLOAM	1.42	77	1807.50	865.62	865.62	865.62
375	77	FRSELOAM	1.42	35	1807.50	858.33	858.33	858.33
376	77	FRSELOAM	1.38	35	1807.50	840.23	840.23	840.23
377	77	FRSESANDLOAM	2.31	35	1807.50	850.63	850.63	850.63
378	77	FRSTCLAYLOAM	1.77	79	1807.50	866.88	866.88	866.88
379	77	FRSTCLAYLOAM	0.43	79	1807.50	863.53	863.53	863.53
380	77	FRSTLOAM	0.73	36	1807.50	843.35	843.35	843.35
381	77	FRSTLOAM	2.43	36	1807.50	859.06	859.06	859.06
382	77	FRSTSANDLOAM	0.41	36	1807.50	733.61	733.61	733.61
383	77	FRSTSANDLOAM	2.77	36	1807.50	850.69	850.69	850.69
384	77	RICECLAYLOAM	1.86	84	1807.50	849.01	849.01	1092.51
385	77	RICELOAM	3.74	62	1807.50	849.03	849.03	1086.19
386	77	RICESANDLOAM	5.21	62	1807.50	835.54	835.54	1200.90
387	78	RICELOAM	3.96	62	1807.50	849.05	849.05	1084.42

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
388	78	RICESANDLOAM	10.80	62	1807.50	835.59	835.59	1200.85
389	79	FRSELOAM	4.29	35	1846.33	849.17	849.17	849.17
390	79	FRSELOAM	1.00	35	1846.33	840.92	840.92	840.92
391	79	FRSESANDLOAM	4.27	35	1846.33	839.13	839.13	839.13
392	79	FRSESANDLOAM	5.66	35	1846.33	722.42	722.42	722.42
393	79	FRSTLOAM	34.10	36	1846.33	858.31	858.31	858.31
394	79	FRSTSANDLOAM	9.83	36	1846.33	850.92	850.92	850.92
395	79	FRSTSANDLOAM	3.63	36	1846.33	712.05	712.05	712.05
396	79	RICECLAYLOAM	9.33	84	1846.33	852.48	852.48	1079.63
397	79	RICELOAM	6.27	62	1846.33	860.55	860.55	1074.62
398	80	FRSECLAYLOAM	8.75	77	1846.33	858.74	858.74	858.74
399	80	FRSESANDLOAM	30.40	35	1846.33	843.52	843.52	843.52
400	80	FRSTSANDLOAM	19.10	36	1846.33	852.28	852.28	852.28
401	80	FRSTSANDLOAM	2.90	36	1846.33	712.23	712.23	712.23
402	81	FRSESANDLOAM	2.74	35	1807.50	850.07	850.07	850.07
403	81	RICESANDLOAM	5.32	62	1807.50	835.51	835.51	1200.80
404	82	RICECLAYLOAM	1.10	84	1807.50	849.17	1079.90	1091.78
405	82	RICELOAM	1.50	62	1807.50	849.02	1066.64	1084.44
406	82	RICESANDLOAM	3.15	62	1807.50	835.59	1199.86	1200.86
407	83	FRSELOAMSAND	6.88	35	1846.33	882.41	882.41	882.41
408	83	FRSELOAMSAND	16.30	35	1846.33	802.12	802.12	802.12
409	83	FRSESANDLOAM	2.56	35	1846.33	737.56	737.56	737.56
410	83	FRSESANDLOAM	6.88	35	1846.33	839.45	839.45	839.45
411	83	FRSTLOAMSAND	61.60	36	1846.33	897.36	897.36	897.36
412	83	FRSTLOAMSAND	5.93	36	1846.33	801.52	801.52	801.52
413	84	FRSELOAM	2.47	35	1807.50	858.42	858.42	858.42
414	84	FRSESANDLOAM	0.93	35	1807.50	850.64	850.64	850.64
415	84	FRSTLOAM	1.76	36	1807.50	858.95	858.95	858.95
416	84	FRSTSANDLOAM	1.08	36	1807.50	850.97	850.97	850.97
417	84	RICELOAM	0.81	62	1807.50	848.89	848.89	1084.38

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
418	84	RICESANDLOAM	1.97	62	1807.50	835.30	835.30	1200.71
419	85	FRSEHEAVYCLA	4.46	77	1807.50	769.10	769.10	769.10
420	85	FRSELOAM	0.86	35	1807.50	851.53	851.53	851.53
421	85	FRSELOAM	7.67	35	1807.50	858.36	858.36	858.36
422	85	FRSESANDLOAM	3.78	35	1807.50	849.58	849.58	849.58
423	85	FRSTHEAVYCLA	5.42	79	1807.50	773.71	773.71	773.71
424	85	FRSTLOAM	2.45	36	1807.50	858.96	858.96	858.96
425	85	FRSTSANDLOAM	5.02	36	1807.50	850.56	850.56	850.56
426	85	FRSTSANDLOAM	0.34	36	1807.50	817.77	817.77	817.77
427	86	FRSTCLAYLOAM	43.50	79	1846.33	862.06	862.06	862.06
428	87	FRSECLAYLOAM	7.85	77	1846.33	853.34	853.34	853.34
429	87	FRSECLAYLOAM	6.03	77	1846.33	859.19	859.19	859.19
430	87	FRSESANDLOAM	9.60	35	1846.33	840.89	840.89	840.89
431	87	FRSESANDLOAM	4.56	35	1846.33	737.88	737.88	737.88
432	87	FRSTCLAYLOAM	6.04	79	1846.33	863.26	863.26	863.26
433	87	FRSTLOAM	10.20	36	1846.33	859.64	859.64	859.64
434	87	FRSTSANDLOAM	1.27	36	1846.33	718.08	718.08	718.08
435	87	FRSTSANDLOAM	3.85	36	1846.33	852.50	852.50	852.50
436	87	RICECLAYLOAM	17.70	84	1846.33	854.10	854.10	1080.35
437	87	RICELOAM	7.51	62	1846.33	862.15	862.15	1071.10
438	88	FRSECLAYLOAM	6.00	77	1846.33	859.51	859.51	859.51
439	88	FRSESANDLOAM	19.70	35	1846.33	844.56	844.56	844.56
440	88	FRSTCLAYLOAM	6.11	79	1846.33	863.33	863.33	863.33
441	88	FRSTSANDLOAM	19.50	36	1846.33	853.32	853.32	853.32
442	89	FRSESANDLOAM	38.40	35	1846.33	724.01	724.01	724.01
443	89	FRSESANDLOAM	14.90	35	1846.33	839.08	839.08	839.08
444	89	FRSTSANDLOAM	6.25	36	1846.33	849.32	849.32	849.32
445	89	FRSTSANDLOAM	6.24	36	1846.33	712.21	712.21	712.21
446	90	FRSESANDLOAM	7.21	35	1846.33	839.90	839.90	839.90
447	90	FRSESANDLOAM	9.96	35	1846.33	722.48	722.48	722.48

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
448	90	FRSTLOAM	4.86	36	1846.33	858.55	858.55	858.55
449	90	FRSTSANDLOAM	14.10	36	1846.33	851.99	851.99	851.99
450	90	FRSTSANDLOAM	1.48	36	1846.33	726.23	726.23	726.23
451	91	FRSESANDLOAM	4.27	35	1846.33	839.24	839.24	839.24
452	91	FRSESANDLOAM	11.80	35	1846.33	724.74	724.74	724.74
453	91	FRSTSANDLOAM	2.90	36	1846.33	850.08	850.08	850.08
454	91	FRSTSANDLOAM	6.34	36	1846.33	718.83	718.83	718.83
455	92	FRSTCLAYLOAM	1.63	79	1846.33	859.38	859.38	859.38
456	92	FRSTCLAYLOAM	18.80	79	1846.33	863.64	863.64	863.64
457	92	FRSTSANDLOAM	8.55	36	1846.33	852.91	852.91	852.91
458	92	FRSTSANDLOAM	1.52	36	1846.33	733.48	733.48	733.48
459	92	RICECLAYLOAM	12.80	84	1846.33	853.93	853.93	1079.93
460	92	AGRLCLAYLOAM	1.05	87	1846.33	793.90	793.90	793.90
461	92	AGRLCLAYLOAM	2.55	87	1846.33	797.52	797.52	797.52
462	92	AGRLSANDLOAM	13.40	67	1846.33	797.77	797.77	797.77
463	92	AGRLSANDLOAM	2.72	67	1846.33	694.15	694.15	694.15
464	93	FRSESANDLOAM	10.10	35	1846.33	843.34	843.34	843.34
465	93	FRSESANDLOAM	4.73	35	1846.33	735.35	735.35	735.35
466	93	FRSTCLAYLOAM	16.40	79	1846.33	862.85	862.85	862.85
467	93	FRSTSANDLOAM	18.10	36	1846.33	852.40	852.40	852.40
468	93	FRSTSANDLOAM	4.80	36	1846.33	726.67	726.67	726.67
469	93	AGRLSANDLOAM	10.60	67	1846.33	795.04	795.04	795.04
470	93	AGRLSANDLOAM	3.50	67	1846.33	694.73	694.73	694.73
471	94	FRSEHEAVYCLA	53.50	77	1807.50	769.32	769.32	769.32
472	94	FRSTHEAVYCLA	34.80	79	1807.50	773.97	773.97	773.97
473	95	RICECLAYLOAM	11.80	84	1807.50	848.69	1079.23	1089.18
474	95	RICELOAM	6.77	62	1807.50	848.69	1064.39	1080.47
475	95	RICESANDLOAM	1.59	62	1807.50	727.49	727.49	841.99
476	95	RICESANDLOAM	6.64	62	1807.50	834.88	1199.44	1199.44
477	96	FRSECLAYLOAM	14.60	77	1807.50	871.54	871.54	871.54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
478	96	FRSEHEAVYCLA	13.20	77	1807.50	769.67	769.67	769.67
479	96	FRSTCLAYLOAM	10.40	79	1807.50	867.50	867.50	867.50
480	96	FRSTHEAVYCLA	6.64	79	1807.50	774.39	774.39	774.39
481	96	AGRLCLAYLOAM	19.90	87	1807.50	793.11	793.11	793.11
482	97	FRSELOAM	7.02	35	1807.50	841.45	841.45	841.45
483	97	FRSELOAM	3.43	35	1807.50	857.79	857.79	857.79
484	97	FRSESANDLOAM	0.95	35	1807.50	738.69	738.69	738.69
485	97	FRSESANDLOAM	5.42	35	1807.50	849.49	849.49	849.49
486	97	RICECLAYLOAM	6.31	84	1807.50	848.77	848.77	1086.79
487	97	RICELOAM	13.70	62	1807.50	848.84	848.84	1079.36
488	97	RICELOAM	1.30	62	1807.50	830.46	830.46	1045.56
489	97	RICESANDLOAM	4.52	62	1807.50	834.77	834.77	1199.31
490	98	RICECLAYLOAM	2.18	84	1807.50	848.95	848.95	1085.76
491	98	RICELOAM	3.35	62	1807.50	849.01	849.01	1077.33
492	99	FRSECLAYLOAM	12.00	77	1807.50	871.75	871.75	871.75
493	99	FRSELOAM	6.76	35	1807.50	859.16	859.16	859.16
494	99	FRSESANDLOAM	22.60	35	1807.50	850.80	850.80	850.80
495	99	FRSTCLAYLOAM	3.68	79	1807.50	867.73	867.73	867.73
496	99	FRSTSANDLOAM	7.01	36	1807.50	851.99	851.99	851.99
497	100	FRSELOAM	1.50	35	1846.33	840.09	840.09	840.09
498	100	FRSELOAM	6.60	35	1846.33	849.38	849.38	849.38
499	100	FRSESANDLOAM	14.70	35	1846.33	840.22	840.22	840.22
500	100	FRSESANDLOAM	6.87	35	1846.33	722.57	722.57	722.57
501	100	FRSTLOAM	1.30	36	1846.33	851.12	851.12	851.12
502	100	FRSTLOAM	4.94	36	1846.33	858.26	858.26	858.26
503	100	FRSTSANDLOAM	8.51	36	1846.33	851.33	851.33	851.33
504	100	FRSTSANDLOAM	1.72	36	1846.33	724.07	724.07	724.07
505	101	FRSECLAYLOAM	1.60	77	1846.33	859.76	859.76	859.76
506	101	FRSECLAYLOAM	2.19	77	1846.33	853.20	853.20	853.20
507	101	FRSESANDLOAM	1.65	35	1846.33	843.32	843.32	843.32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
508	101	FRSESANDLOAM	3.86	35	1846.33	723.92	723.92	723.92
509	101	FRSTCLAYLOAM	2.60	79	1846.33	858.34	858.34	858.34
510	101	FRSTCLAYLOAM	1.50	79	1846.33	863.79	863.79	863.79
511	101	FRSTSANDLOAM	8.71	36	1846.33	850.86	850.86	850.86
512	101	FRSTSANDLOAM	3.07	36	1846.33	761.72	761.72	761.72
513	102	FRSESANDLOAM	3.56	35	1846.33	729.11	729.11	729.11
514	102	FRSESANDLOAM	2.52	35	1846.33	838.93	838.93	838.93
515	102	FRSTLOAM	1.17	36	1846.33	858.44	858.44	858.44
516	102	FRSTSANDLOAM	3.15	36	1846.33	851.53	851.53	851.53
517	102	FRSTSANDLOAM	0.57	36	1846.33	717.43	717.43	717.43
518	103	FRSECLAYLOAM	3.79	77	1846.33	855.82	855.82	855.82
519	103	FRSECLAYLOAM	3.96	77	1846.33	858.83	858.83	858.83
520	103	FRSESANDLOAM	9.59	35	1846.33	838.81	838.81	838.81
521	103	FRSESANDLOAM	17.50	35	1846.33	732.88	732.88	732.88
522	103	FRSTCLAYLOAM	0.52	79	1846.33	858.59	858.59	858.59
523	103	FRSTCLAYLOAM	0.62	79	1846.33	862.68	862.68	862.68
524	103	FRSTSANDLOAM	2.30	36	1846.33	849.09	849.09	849.09
525	103	FRSTSANDLOAM	3.91	36	1846.33	720.83	720.83	720.83
526	104	FRSTCLAYLOAM	1.37	79	1807.50	866.83	866.83	866.83
527	104	FRSTLOAM	0.47	36	1807.50	858.99	858.99	858.99
528	104	RICELOAM	10.20	62	1807.50	848.86	848.86	1076.10
529	105	FRSELOAM	5.44	35	1807.50	837.58	837.58	837.58
530	105	FRSELOAM	2.63	35	1807.50	857.95	857.95	857.95
531	105	FRSESANDLOAM	0.89	35	1807.50	731.88	731.88	731.88
532	105	FRSESANDLOAM	1.65	35	1807.50	849.75	849.75	849.75
533	105	FRSTCLAYLOAM	0.42	79	1807.50	861.72	861.72	861.72
534	105	FRSTCLAYLOAM	6.78	79	1807.50	866.89	866.89	866.89
535	105	FRSTLOAM	4.78	36	1807.50	837.88	837.88	837.88
536	105	FRSTLOAM	1.74	36	1807.50	858.45	858.45	858.45
537	105	FRSTSANDLOAM	0.46	36	1807.50	721.17	721.17	721.17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
538	105	FRSTSANDLOAM	2.32	36	1807.50	851.16	851.16	851.16
539	105	RICECLAYLOAM	19.10	84	1807.50	848.60	848.60	1085.63
540	105	RICESANDLOAM	0.69	62	1807.50	727.48	727.48	838.88
541	105	RICESANDLOAM	12.70	62	1807.50	835.35	835.35	1199.83
542	106	FRSECLAYLOAM	8.69	77	1846.33	859.41	859.41	859.41
543	106	FRSECLAYLOAM	11.50	77	1846.33	852.54	852.54	852.54
544	106	FRSESANDLOAM	9.27	35	1846.33	742.43	742.43	742.43
545	106	FRSESANDLOAM	8.14	35	1846.33	839.57	839.57	839.57
546	106	FRSTSANDLOAM	2.90	36	1846.33	773.04	773.04	773.04
547	106	FRSTSANDLOAM	6.37	36	1846.33	849.72	849.72	849.72
548	107	FRSECLAYLOAM	14.50	77	1807.50	871.16	871.16	871.16
549	107	FRSEHEAVYCLA	22.90	77	1807.50	769.21	769.21	769.21
550	107	FRSELOAM	33.30	35	1807.50	858.48	858.48	858.48
551	107	FRSTCLAYLOAM	19.70	79	1807.50	867.09	867.09	867.09
552	107	FRSTHEAVYCLA	17.30	79	1807.50	773.84	773.84	773.84
553	107	FRSTLOAM	7.43	36	1807.50	859.09	859.09	859.09
554	107	FRSTLOAM	0.52	36	1807.50	852.93	852.93	852.93
555	108	FRSTCLAYLOAM	0.95	79	1807.50	866.85	866.85	866.85
556	108	FRSTLOAM	0.72	36	1807.50	859.01	859.01	859.01
557	108	RICELOAM	2.45	62	1807.50	849.03	849.03	1076.28
558	109	FRSECLAYLOAM	24.20	77	1807.50	871.16	871.16	871.16
559	109	FRSEHEAVYCLA	4.99	77	1807.50	769.18	769.18	769.18
560	109	FRSTCLAYLOAM	25.90	79	1807.50	867.05	867.05	867.05
561	109	FRSTHEAVYCLA	10.80	79	1807.50	773.79	773.79	773.79
562	109	FRSTLOAM	10.40	36	1807.50	859.18	859.18	859.18
563	110	FRSECLAYLOAM	3.96	77	1807.50	871.79	871.79	871.79
564	110	FRSEHEAVYCLA	21.30	77	1807.50	770.00	770.00	770.00
565	110	FRSTCLAYLOAM	14.50	79	1807.50	867.81	867.81	867.81
566	110	FRSTHEAVYCLA	17.30	79	1807.50	774.79	774.79	774.79
567	110	AGRLCLAYLOAM	20.20	87	1807.50	793.60	793.60	793.60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
568	110	AGRLHEAVYCLA	3.62	87	1807.50	710.87	710.87	710.87
569	111	AGRLCLAYLOAM	24.70	87	3558.92	570.12	570.12	570.12
570	111	AGRLSANDLOAM	24.20	67	3558.92	544.78	544.78	544.78
571	111	AGRLSANDLOAM	1.84	67	3558.92	534.37	534.37	534.37
572	112	FRSELOAMSAND	31.60	35	1846.33	803.98	803.98	803.98
573	112	FRSELOAMSAND	7.21	35	1846.33	884.25	884.25	884.25
574	112	FRSESANDLOAM	6.07	35	1846.33	840.97	840.97	840.97
575	112	FRSESANDLOAM	5.75	35	1846.33	780.79	780.79	780.79
576	112	FRSTCLAYLOAM	19.90	79	1846.33	866.27	866.27	866.27
577	112	FRSTCLAYLOAM	1.28	79	1846.33	861.83	861.83	861.83
578	112	AGRLSANDLOAM	3.91	67	1846.33	743.89	743.89	743.89
579	112	AGRLSANDLOAM	16.30	67	1846.33	801.04	801.04	801.04
580	113	FRSELOAM	2.92	35	1807.50	858.06	858.06	858.06
581	113	FRSELOAM	3.54	35	1807.50	839.52	839.52	839.52
582	113	FRSTLOAM	2.00	36	1807.50	858.95	858.95	858.95
583	113	FRSTLOAM	0.66	36	1807.50	841.93	841.93	841.93
584	113	FRSTSANDLOAM	7.58	36	1807.50	851.58	851.58	851.58
585	113	RICELOAM	10.60	62	1807.50	848.80	848.80	1075.80
586	113	RICESANDLOAM	9.46	62	1807.50	835.46	835.46	1199.83
587	114	FRSECLAYLOAM	3.87	77	1807.50	871.03	871.03	871.03
588	114	FRSELOAM	11.70	35	1807.50	858.49	858.49	858.49
589	114	FRSTCLAYLOAM	5.73	79	1807.50	866.87	866.87	866.87
590	114	FRSTLOAM	12.00	36	1807.50	858.89	858.89	858.89
591	114	RICELOAM	6.95	62	1807.50	848.97	848.97	1075.20
592	114	RICESANDLOAM	1.34	62	1807.50	835.70	835.70	1200.07
593	115	FRSTCLAYLOAM	19.60	79	3558.92	591.76	591.76	591.76
594	115	FRSTSANDLOAM	9.27	36	3558.92	549.64	549.64	549.64
595	115	AGRLCLAYLOAM	18.70	87	3558.92	569.30	569.30	569.30
596	116	FRSTCLAYLOAM	1.43	79	3558.92	596.05	596.05	596.05
597	116	FRSTLOAMSAND	0.63	36	3558.92	572.93	572.93	572.93

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
598	116	FRSTLOAMSAND	2.58	36	3558.92	594.51	594.51	594.51
599	116	FRSTSANDLOAM	4.77	36	3558.92	553.90	553.90	553.90
600	116	AGRLCLAYLOAM	10.70	87	3558.92	573.69	573.69	573.69
601	116	AGRLLOAMSAND	9.93	67	3558.92	569.40	569.40	569.40
602	116	AGRLSANDLOAM	16.70	67	3558.92	548.67	548.67	548.67
603	117	FRSTCLAYLOAM	8.46	79	1807.50	867.65	867.65	867.65
604	117	FRSTHEAVYCLA	11.20	79	1807.50	774.59	774.59	774.59
605	117	AGRLCLAYLOAM	35.00	87	1807.50	793.37	793.37	793.37
606	118	FRSECLAYLOAM	7.48	77	3558.92	609.77	609.77	609.77
607	118	FRSESANDLOAM	2.86	35	3558.92	587.15	587.15	587.15
608	118	FRSESANDLOAM	1.57	35	3558.92	567.68	567.68	567.68
609	118	AGRLCLAYLOAM	41.60	87	3558.92	569.25	569.25	569.25
610	118	AGRLSANDLOAM	1.68	67	3558.92	533.88	533.88	533.88
611	118	AGRLSANDLOAM	12.60	67	3558.92	543.50	543.50	543.50
612	119	FRSELOAMSAND	0.52	35	3558.92	628.75	628.75	628.75
613	119	FRSELOAMSAND	8.61	35	3558.92	604.36	604.36	604.36
614	119	FRSESANDLOAM	3.83	35	3558.92	591.18	591.18	591.18
615	119	FRSESANDLOAM	4.04	35	3558.92	573.02	573.02	573.02
616	119	FRSTCLAYLOAM	12.10	79	3558.92	596.68	596.68	596.68
617	119	FRSTCLAYLOAM	1.66	79	3558.92	587.91	587.91	587.91
618	119	FRSTSANDLOAM	2.74	36	3558.92	538.03	538.03	538.03
619	119	FRSTSANDLOAM	8.43	36	3558.92	554.11	554.11	554.11
620	119	AGRLCLAYLOAM	17.10	87	3558.92	574.37	574.37	574.37
621	119	AGRLLOAMSAND	5.54	67	3558.92	570.20	570.20	570.20
622	119	AGRLSANDLOAM	4.74	67	3558.92	549.40	549.40	549.40
623	120	FRSECLAYLOAM	2.32	77	3558.92	616.57	616.57	616.57
624	120	FRSECLAYLOAM	3.39	77	3558.92	618.80	618.80	618.80
625	120	FRSELOAM	2.12	35	3558.92	600.19	600.19	600.19
626	120	FRSELOAM	2.24	35	3558.92	594.58	594.58	594.58
627	120	FRSELOAMSAND	4.47	35	3558.92	608.26	608.26	608.26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
628	120	FRSTCLAYLOAM	0.78	79	3558.92	591.97	591.97	591.97
629	120	FRSTCLAYLOAM	7.47	79	3558.92	600.66	600.66	600.66
630	120	FRSTLOAMSAND	0.96	36	3558.92	582.79	582.79	582.79
631	120	FRSTLOAMSAND	6.51	36	3558.92	599.49	599.49	599.49
632	120	AGRLCLAYLOAM	2.92	87	3558.92	574.21	574.21	574.21
633	120	AGRLCLAYLOAM	3.86	87	3558.92	578.68	578.68	578.68
634	120	AGRLLOAM	4.79	67	3558.92	557.27	557.27	557.27
635	120	AGRLLOAM	1.14	67	3558.92	556.60	556.60	556.60
636	120	PASTLOAM	9.45	49	3558.92	525.00	525.00	525.00
637	120	PASTLOAMSAND	7.59	49	3558.92	576.44	576.44	576.44
638	121	FRSECLAYLOAM	2.56	77	3558.92	601.08	601.08	601.08
639	121	FRSECLAYLOAM	15.90	77	3558.92	606.80	606.80	606.80
640	121	FRSEHEAVYCLA	7.72	77	3558.92	546.12	546.12	546.12
641	121	FRSTCLAYLOAM	11.30	79	3558.92	588.66	588.66	588.66
642	121	FRSTHEAVYCLA	12.90	79	3558.92	546.62	546.62	546.62
643	121	AGRLCLAYLOAM	9.29	87	3558.92	566.14	566.14	566.14
644	122	FRSECLAYLOAM	2.63	77	1846.33	861.34	861.34	861.34
645	122	FRSECLAYLOAM	4.18	77	1846.33	854.63	854.63	854.63
646	122	FRSELOAM	1.16	35	1846.33	835.36	835.36	835.36
647	122	FRSELOAM	2.14	35	1846.33	852.35	852.35	852.35
648	122	FRSESANDLOAM	0.79	35	1846.33	802.20	802.20	802.20
649	122	FRSESANDLOAM	6.18	35	1846.33	842.73	842.73	842.73
650	122	FRSTLOAM	0.41	36	1846.33	856.63	856.63	856.63
651	122	FRSTLOAM	4.77	36	1846.33	862.06	862.06	862.06
652	122	FRSTSANDLOAM	2.01	36	1846.33	769.24	769.24	769.24
653	122	FRSTSANDLOAM	11.40	36	1846.33	852.41	852.41	852.41
654	122	AGRLLOAM	3.24	67	1846.33	802.19	802.19	802.19
655	122	AGRLLOAM	16.50	67	1846.33	808.73	808.73	808.73
656	122	AGRLSANDLOAM	22.50	67	1846.33	800.96	800.96	800.96
657	123	FRSELOAM	13.30	35	1807.50	858.46	858.46	858.46

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm)		
						case a	case b	case c
658	123	FRSELOAM	6.37	35	1807.50	833.53	833.53	833.53
659	123	FRSTHEAVYCLA	5.97	79	1807.50	773.51	773.51	773.51
660	123	FRSTLOAM	6.44	36	1807.50	858.97	858.97	858.97
661	123	RICEHEAVYCLA	21.20	84	1807.50	754.82	754.82	965.91
662	123	RICELOAM	11.90	62	1807.50	848.91	848.91	1071.91
663	123	RICESANDLOAM	5.97	62	1807.50	834.72	834.72	1199.33
664	123	RICESANDLOAM	0.62	62	1807.50	743.26	743.26	837.95
665	124	FRSECLAYLOAM	18.80	77	1807.50	871.27	871.27	871.27
666	124	FRSELOAM	3.85	35	1807.50	858.74	858.74	858.74
667	124	FRSTCLAYLOAM	23.80	79	1807.50	867.15	867.15	867.15
668	124	FRSTLOAM	10.10	36	1807.50	859.21	859.21	859.21
669	125	FRSECLAYLOAM	0.60	77	1807.50	871.05	871.05	871.05
670	125	FRSELOAM	1.33	35	1807.50	858.45	858.45	858.45
671	125	FRSTLOAM	3.71	36	1807.50	859.01	859.01	859.01
672	125	RICELOAM	3.01	62	1807.50	849.06	849.06	1071.71
673	126	FRSECLAYLOAM	20.30	77	1807.50	871.21	871.21	871.21
674	126	FRSEHEAVYCLA	5.63	77	1807.50	769.18	769.18	769.18
675	126	FRSELOAM	10.10	35	1807.50	858.65	858.65	858.65
676	126	FRSTCLAYLOAM	23.60	79	1807.50	867.07	867.07	867.07
677	126	FRSTLOAM	13.40	36	1807.50	859.21	859.21	859.21
678	127	FRSTLOAM	1.12	36	1807.50	859.00	859.00	859.00
679	127	RICELOAM	1.96	62	1807.50	848.93	848.93	1071.63
680	128	FRSTSANDLOAM	2.85	36	3558.92	553.38	553.38	553.38
681	128	FRSTSANDLOAM	0.29	36	3558.92	538.34	538.34	538.34
682	128	AGRLCLAYLOAM	1.74	87	3558.92	573.58	573.58	573.58
683	128	AGRLSANDLOAM	0.86	67	3558.92	538.50	538.50	538.50
684	128	AGRLSANDLOAM	8.95	67	3558.92	548.42	548.42	548.42
685	129	FRSTCLAYLOAM	0.43	79	3558.92	590.30	590.30	590.30
686	129	FRSTCLAYLOAM	0.19	79	3558.92	598.89	598.89	598.89
687	129	FRSTLOAMSAND	0.04	36	3558.92	588.36	588.36	588.36

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
688	129	FRSTLOAMSAND	0.29	36	3558.92	597.96	597.96	597.96
689	129	FRSTSANDLOAM	0.40	36	3558.92	557.32	557.32	557.32
690	129	AGRLLOAMSAND	3.59	67	3558.92	573.18	573.18	573.18
691	130	FRSTLOAMSAND	15.20	36	3558.92	603.01	603.01	603.01
692	130	AGRLLOAMSAND	0.81	67	3558.92	565.07	565.07	565.07
693	130	AGRLLOAMSAND	4.41	67	3558.92	578.35	578.35	578.35
694	130	AGRLSANDLOAM	1.07	67	3558.92	546.06	546.06	546.06
695	130	AGRLSANDLOAM	4.86	67	3558.92	556.80	556.80	556.80
696	131	AGRLCLAYLOAM	13.10	87	3558.92	577.41	577.41	577.41
697	131	AGRLCLAYLOAM	4.85	87	3558.92	567.75	567.75	567.75
698	131	AGRLLOAMSAND	15.60	67	3558.92	573.30	573.30	573.30
699	131	AGRLSANDLOAM	10.70	67	3558.92	541.66	541.66	541.66
700	131	AGRLSANDLOAM	42.20	67	3558.92	551.99	551.99	551.99
701	132	FRSTLOAMSAND	14.80	36	3558.92	601.52	601.52	601.52
702	132	FRSTLOAMSAND	1.62	36	3558.92	579.31	579.31	579.31
703	132	AGRLLOAMSAND	1.91	67	3558.92	563.61	563.61	563.61
704	132	AGRLLOAMSAND	8.86	67	3558.92	576.63	576.63	576.63
705	133	FRSECLAYLOAM	21.50	77	3558.92	624.20	624.20	624.20
706	133	FRSESANDLOAM	0.37	35	3558.92	580.79	580.79	580.79
707	133	FRSESANDLOAM	5.58	35	3558.92	602.11	602.11	602.11
708	133	FRSTCLAYLOAM	1.61	79	3558.92	597.27	597.27	597.27
709	133	FRSTCLAYLOAM	24.90	79	3558.92	605.90	605.90	605.90
710	133	FRSTLOAMSAND	25.60	36	3558.92	605.19	605.19	605.19
711	133	AGRLCLAYLOAM	29.40	87	3558.92	583.76	583.76	583.76
712	133	AGRLLOAMSAND	18.00	67	3558.92	580.71	580.71	580.71
713	134	FRSECLAYLOAM	10.40	77	3558.92	606.64	606.64	606.64
714	134	FRSECLAYLOAM	19.70	77	3558.92	600.27	600.27	600.27
715	134	FRSESANDLOAM	7.03	35	3558.92	583.18	583.18	583.18
716	134	FRSESANDLOAM	5.81	35	3558.92	564.92	564.92	564.92
717	134	FRSTCLAYLOAM	1.34	79	3558.92	577.61	577.61	577.61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
718	134	FRSTCLAYLOAM	9.28	79	3558.92	588.57	588.57	588.57
719	134	FRSTHEAVYCLA	5.70	79	3558.92	546.53	546.53	546.53
720	135	FRSECLAYLOAM	3.08	77	3558.92	604.56	604.56	604.56
721	135	FRSEHEAVYCLA	2.60	77	3558.92	544.28	544.28	544.28
722	135	FRSTCLAYLOAM	13.40	79	3558.92	586.47	586.47	586.47
723	135	FRSTHEAVYCLA	2.38	79	3558.92	544.71	544.71	544.71
724	136	FRSELOAM	3.43	35	3558.92	603.35	603.35	603.35
725	136	FRSELOAM	0.82	35	3558.92	597.24	597.24	597.24
726	136	FRSELOAMSAND	1.17	35	3558.92	611.06	611.06	611.06
727	136	FRSELOAMSAND	2.65	35	3558.92	636.89	636.89	636.89
728	136	FRSESANDLOAM	9.87	35	3558.92	578.63	578.63	578.63
729	136	FRSESANDLOAM	2.42	35	3558.92	598.15	598.15	598.15
730	136	FRSTLOAM	25.70	36	3558.92	566.20	566.20	566.20
731	136	FRSTLOAMSAND	23.00	36	3558.92	602.64	602.64	602.64
732	136	AGRLLOAMSAND	12.50	67	3558.92	578.03	578.03	578.03
733	136	AGRLLOAMSAND	3.00	67	3558.92	564.76	564.76	564.76
734	137	FRSELOAM	5.28	35	1807.50	858.39	858.39	858.39
735	137	FRSELOAM	5.74	35	1807.50	835.43	835.43	835.43
736	137	FRSESANDLOAM	5.44	35	1807.50	850.17	850.17	850.17
737	137	FRSTLOAM	0.59	36	1807.50	852.53	852.53	852.53
738	137	FRSTLOAM	10.20	36	1807.50	858.94	858.94	858.94
739	137	FRSTSANDLOAM	10.30	36	1807.50	851.16	851.16	851.16
740	137	RICEHEAVYCLA	1.38	84	1807.50	753.71	753.71	962.49
741	137	RICEHEAVYCLA	10.70	84	1807.50	754.61	754.61	958.54
742	137	RICELOAM	9.09	62	1807.50	848.27	1063.75	1070.86
743	137	RICESANDLOAM	9.19	62	1807.50	835.24	1199.93	1199.93
744	138	FRSECLAYLOAM	26.10	77	1807.50	871.16	871.16	871.16
745	138	FRSTCLAYLOAM	18.10	79	1807.50	867.00	867.00	867.00
746	138	FRSTLOAM	7.03	36	1807.50	859.05	859.05	859.05
747	139	FRSTCLAYLOAM	0.51	79	1975.00	932.10	932.10	932.10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm)		
						case a	case b	case c
748	139	FRSTLOAM	0.07	36	1975.00	918.35	918.35	918.35
749	139	FRSTLOAM	0.66	36	1975.00	923.91	923.91	923.91
750	139	RICELOAM	4.03	62	1975.00	901.40	1066.56	1086.84
751	140	FRSECLAYLOAM	7.92	77	3558.92	617.57	617.57	617.57
752	140	FRSECLAYLOAM	7.80	77	3558.92	611.62	611.62	611.62
753	140	FRSESANDLOAM	6.23	35	3558.92	595.12	595.12	595.12
754	140	FRSESANDLOAM	1.00	35	3558.92	574.84	574.84	574.84
755	140	FRSTCLAYLOAM	2.00	79	3558.92	585.91	585.91	585.91
756	140	FRSTCLAYLOAM	6.90	79	3558.92	599.40	599.40	599.40
757	140	FRSTSANDLOAM	4.34	36	3558.92	557.17	557.17	557.17
758	140	FRSTSANDLOAM	0.38	36	3558.92	543.22	543.22	543.22
759	140	AGRLCLAYLOAM	6.87	87	3558.92	577.24	577.24	577.24
760	140	AGRLCLAYLOAM	2.89	87	3558.92	566.39	566.39	566.39
761	140	AGRLSANDLOAM	37.20	67	3558.92	552.30	552.30	552.30
762	140	AGRLSANDLOAM	4.25	67	3558.92	541.53	541.53	541.53
763	141	FRSELOAM	1.16	35	1975.00	916.64	916.64	916.64
764	141	FRSESANDLOAM	0.30	35	1975.00	908.05	908.05	908.05
765	141	RICELOAM	1.60	62	1975.00	901.49	901.49	1086.37
766	142	FRSECLAYLOAM	17.50	77	1975.00	930.00	930.00	930.00
767	142	FRSTCLAYLOAM	46.30	79	1975.00	932.27	932.27	932.27
768	143	FRSECLAYLOAM	22.90	77	3558.92	608.14	608.14	608.14
769	143	FRSECLAYLOAM	17.30	77	3558.92	602.33	602.33	602.33
770	143	AGRLCLAYLOAM	6.23	87	3558.92	557.74	557.74	557.74
771	143	AGRLCLAYLOAM	2.71	87	3558.92	567.73	567.73	567.73
772	143	AGRLSANDLOAM	1.67	67	3558.92	532.40	532.40	532.40
773	143	AGRLSANDLOAM	8.49	67	3558.92	541.69	541.69	541.69
774	144	FRSTLOAMSAND	45.90	36	3558.92	604.85	604.85	604.85
775	144	AGRLLOAMSAND	42.50	67	3558.92	580.39	580.39	580.39
776	145	FRSTLOAMSAND	6.38	36	3558.92	599.50	599.50	599.50
777	145	FRSTLOAMSAND	0.59	36	3558.92	577.46	577.46	577.46

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm)		
						case a	case b	case c
778	145	FRSTSANDLOAM	2.63	36	3558.92	543.39	543.39	543.39
779	145	FRSTSANDLOAM	16.90	36	3558.92	558.09	558.09	558.09
780	146	FRSTLOAMSAND	9.21	36	3558.92	585.27	585.27	585.27
781	146	FRSTLOAMSAND	34.90	36	3558.92	601.84	601.84	601.84
782	146	FRSTSANDLOAM	5.09	36	3558.92	543.74	543.74	543.74
783	146	FRSTSANDLOAM	10.20	36	3558.92	560.23	560.23	560.23
784	146	AGRLLOAMSAND	9.48	67	3558.92	577.21	577.21	577.21
785	146	AGRLSANDLOAM	0.71	67	3558.92	546.39	546.39	546.39
786	146	AGRLSANDLOAM	4.95	67	3558.92	555.75	555.75	555.75
787	147	FRSECLAYLOAM	24.50	77	1975.00	929.95	929.95	929.95
788	147	FRSECLAYLOAM	6.86	77	1975.00	923.87	923.87	923.87
789	147	FRSTCLAYLOAM	27.40	79	1975.00	932.47	932.47	932.47
790	147	FRSTCLAYLOAM	4.44	79	1975.00	930.37	930.37	930.37
791	147	AGRLCLAYLOAM	4.06	87	1975.00	835.67	835.67	835.67
792	147	AGRLCLAYLOAM	35.50	87	1975.00	837.35	837.35	837.35
793	148	FRSECLAYLOAM	5.74	77	1975.00	929.84	929.84	929.84
794	148	FRSESANDLOAM	13.70	35	1975.00	907.49	907.49	907.49
795	148	FRSTLOAM	1.78	36	1975.00	924.05	924.05	924.05
796	148	FRSTSANDLOAM	9.34	36	1975.00	916.00	916.00	916.00
797	148	RICECLAYLOAM	13.60	84	1975.00	899.97	899.97	1093.03
798	148	RICELOAM	5.69	62	1975.00	901.49	901.49	1081.36
799	148	RICESANDLOAM	18.30	62	1975.00	884.48	884.48	1263.60
800	149	FRSECLAYLOAM	15.90	77	1975.00	930.04	930.04	930.04
801	149	AGRLCLAYLOAM	68.30	87	1975.00	837.32	837.32	837.32
802	150	FRSTLOAMSAND	0.26	36	3558.92	569.84	569.84	569.84
803	150	FRSTLOAMSAND	0.22	36	3558.92	591.08	591.08	591.08
804	150	FRSTSANDLOAM	1.01	36	3558.92	534.41	534.41	534.41
805	150	FRSTSANDLOAM	0.32	36	3558.92	549.81	549.81	549.81
806	150	AGRLSANDLOAM	0.43	67	3558.92	544.75	544.75	544.75
807	150	AGRLSANDLOAM	0.03	67	3558.92	538.91	538.91	538.91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area	CN	Rainfall	Evapotranspiration (mm)		
			km^2		(mm)	case a	case b	case c
808	151	FRSECLAYLOAM	10.40	77	3558.92	609.36	609.36	609.36
809	151	FRSECLAYLOAM	3.33	77	3558.92	614.05	614.05	614.05
810	151	FRSESANDLOAM	4.36	35	3558.92	591.64	591.64	591.64
811	151	AGRLCLAYLOAM	2.17	87	3558.92	564.53	564.53	564.53
812	151	AGRLCLAYLOAM	1.25	87	3558.92	573.82	573.82	573.82
813	151	AGRLSANDLOAM	0.67	67	3558.92	538.00	538.00	538.00
814	151	AGRLSANDLOAM	6.07	67	3558.92	548.46	548.46	548.46
815	152	RICESANDLOAM	58.70	62	1975.00	884.45	884.45	1263.46
816	153	FRSESANDLOAM	0.34	35	1975.00	908.34	908.34	908.34
817	153	RICESANDLOAM	0.27	62	1975.00	884.57	884.57	1262.67
818	154	FRSTCLAYLOAM	5.96	79	3558.92	603.29	603.29	603.29
819	154	FRSTCLAYLOAM	1.52	79	3558.92	598.81	598.81	598.81
820	154	FRSTLOAMSAND	21.60	36	3558.92	602.59	602.59	602.59
821	154	FRSTLOAMSAND	2.01	36	3558.92	585.57	585.57	585.57
822	154	AGRLCLAYLOAM	8.02	87	3558.92	581.45	581.45	581.45
823	154	AGRLCLAYLOAM	2.70	87	3558.92	573.51	573.51	573.51
824	154	AGRLLOAMSAND	1.25	67	3558.92	564.68	564.68	564.68
825	154	AGRLLOAMSAND	13.90	67	3558.92	577.97	577.97	577.97
826	154	AGRLSANDLOAM	0.66	67	3558.92	545.76	545.76	545.76
827	154	AGRLSANDLOAM	4.37	67	3558.92	556.45	556.45	556.45
828	155	FRSECLAYLOAM	3.98	77	3558.92	605.88	605.88	605.88
829	155	FRSECLAYLOAM	2.22	77	3558.92	610.95	610.95	610.95
830	155	FRSESANDLOAM	6.18	35	3558.92	568.76	568.76	568.76
831	155	FRSESANDLOAM	5.13	35	3558.92	587.88	587.88	587.88
832	155	AGRLCLAYLOAM	9.46	87	3558.92	570.73	570.73	570.73
833	155	AGRLCLAYLOAM	11.10	87	3558.92	560.98	560.98	560.98
834	155	AGRLSANDLOAM	6.63	67	3558.92	535.57	535.57	535.57
835	155	AGRLSANDLOAM	6.46	67	3558.92	544.69	544.69	544.69
836	156	FRSECLAYLOAM	3.00	77	1975.00	929.77	929.77	929.77
837	156	FRSECLAYLOAM	0.31	77	1975.00	927.51	927.51	927.51

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	Area km^2	CN	Rainfall (mm)	Evapotranspiration (mm) case a	case b	case c
838	156	FRSESANDLOAM	2.64	35	1975.00	907.51	907.51	907.51
839	156	FRSTCLAYLOAM	1.29	79	1975.00	932.05	932.05	932.05
840	156	FRSTCLAYLOAM	0.10	79	1975.00	930.10	930.10	930.10
841	156	FRSTSANDLOAM	5.81	36	1975.00	915.73	915.73	915.73
842	156	RICECLAYLOAM	8.39	84	1975.00	898.98	1067.46	1089.01
843	156	RICESANDLOAM	8.17	62	1975.00	884.15	1261.56	1262.26
844	157	FRSECLAYLOAM	5.27	77	1975.00	929.91	929.91	929.91
845	157	FRSECLAYLOAM	10.90	77	1975.00	920.97	920.97	920.97
846	157	RICECLAYLOAM	8.03	84	1975.00	898.99	898.99	1088.57
847	157	RICESANDLOAM	4.02	62	1975.00	883.79	883.79	1262.72
848	157	AGRLCLAYLOAM	2.44	87	1975.00	835.49	835.49	835.49
849	157	AGRLCLAYLOAM	28.20	87	1975.00	837.28	837.28	837.28
850	158	RICECLAYLOAM	2.51	84	1975.00	899.53	899.53	1086.80
851	158	RICESANDLOAM	0.59	62	1975.00	884.10	884.10	1262.68
852	159	FRSECLAYLOAM	1.77	77	1975.00	930.31	930.31	930.31
853	159	FRSECLAYLOAM	8.76	77	1975.00	921.49	921.49	921.49
854	159	FRSTCLAYLOAM	5.88	79	1975.00	927.37	927.37	927.37
855	159	FRSTCLAYLOAM	3.67	79	1975.00	933.07	933.07	933.07
856	159	RICECLAYLOAM	7.26	84	1975.00	899.66	899.66	1083.65
857	159	RICECLAYLOAM	1.32	84	1975.00	893.89	893.89	1070.49
858	159	RICELOAM	1.92	62	1975.00	902.65	902.65	1075.24
859	159	AGRLCLAYLOAM	21.60	87	1975.00	838.25	838.25	838.25
860	160	RICECLAYLOAM	5.07	84	1975.00	899.71	899.71	1081.26
861	160	RICELOAM	0.98	62	1975.00	901.88	901.88	1073.21
862	160	AGRLCLAYLOAM	3.44	87	1975.00	910.88	910.88	910.88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

การเผยแพร่ผลงานวิชาการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเผยแพร่ผลงานวิชาการ

ภาคผนวก ข1 วิโรจน์ กิมาลา และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย.2555. การประเมินปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, ณ โรงแรม เซ็นทารา แกรนด์แอนคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ อุดรธานี

ภาคผนวก ข2 วิโรจน์ กิมาลา และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2556. การวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, ณ โรงแรมดิเอ็มเพลส เชียงใหม่

ภาคผนวก ข3 Kimala, V. and E. Kositsakulchai.2012.Estimation of Streamflow by SWAT Model in Sedone River Basin, LAO PDR. International Conference Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia, Thailand.

ภาคผนวก ข4 วิโรจน์ กิมาลา และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2556. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับวิเคราะห์บัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่2 ฉบับที่3 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

ESTIMATION OF STREAMFLOW BY SWAT MODELIN SEDONE RIVER BASIN, LAO P D R

วิโรจน์ กิมาลา (VilothKimala)[1], **เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย** (EkasitKositsakulchai)[2]

[1] นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (land_kimala@yahoo.com)
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengesk@ku.ac.th)

บทคัดย่อ:บทความนี้นำเสนอผลของการประเมินปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ซึ่งมีพื้นที่ 7,114 ตร.กม. ด้วยแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ลักษณะพื้นที่มีความแตกต่างของระดับภูมิประเทศ ที่ระดับต่ำสุด 100 เมตร จนถึงระดับสูงสุด 2,500 เมตร ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1,800 มม. ในเขตที่ลุ่ม จนถึง 3,500 มม. ในเขตที่สูง ในพื้นที่ลุ่มน้ำเดียวกัน โดยข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองประกอบด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลดิน ข้อมูลสภาพอากาศแบบอนุกรมเวลา ตั้งแต่ปี 1996 ถึง 2010 และข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า ปี 1996 ถึง 2010 ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ผลของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ของแบบจำลองพบว่า มีการประมาณการในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือได้ค่า R^2และ NSE ในค่าที่สูง โดยค่าเท่ากับ 0.95 และ 0.87ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง SWAT มีประสิทธิภาพในการทำนายลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ และแบบจำลอง SWAT ยังมีความสามารถใช้เป็นเครื่องมือการวิเคราะห์กระบวนการทางอุทกวิทยา ในการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำเซโดน.

คำสำคัญ:แบบจำลอง SWAT, ปริมาณการไหล, ลุ่มน้ำเซโดน

Abstract: This paper showed the result of the estimation of streamflow at Sedone river basin, drainage area of 7,114 Km^2, in Lao PDR by using Soil and Water assessment Tool (SWAT). The basin has different level of terrain as the lowest level is 100 meter to the highest as in 2,500 meters. The average of annual rainfall is 1,800 millimeters in the lowland to 3,500 meters of the highland in the same watershed. The data used in the SWAT model were land use, soil, climate from 1996 to 2010, and the streamflow from 1996 to 2010. The result of calibration and validation of the model showed the reliable estimation of streamflow. The value of R^2 and NSE were high which is 0.95 and 0.87, respectively. This paper reveals the SWAT model is effective to predict hydrological status of river basin. This SWAT model also uses as a tool to analyze hydrological process in order to plan for water resource management in Sedone river basin.

Keywords: Streamflow, SWAT model, Sedone river basin, Lao PDR.

[1] ผู้ติดต่อหลัก (Corresponding author)

ภาคผนวก ข1 การประเมินปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, ณ โรงแรม เซ็นทารา แกรนด์แอนคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ อุดรธานี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. คำนำ

สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวเป็นประเทศที่มีทรัพยากรน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ทั้งทางด้านคุณภาพและยังคงเพียงพอสำหรับความต้องการของการใช้น้ำในทุก ๆกิจกรรมไม่ว่าจะเป็นการเกษตร การบริโภค อุตสาหกรรมและการเดินทาง ซึ่งเราสามารถกล่าวได้ว่าการพัฒนาทรัพยากรน้ำเป็นสิ่งสำคัญมากไม่ว่าจะเป็นงานในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคม. โดยประเทศลาวประกอบด้วยลุ่มน้ำที่สำคัญอยู่ 11 ลุ่มน้ำด้วยกัน ซึ่งแม่น้ำเซโดน (Sedone river) ก็เป็นแม่น้ำที่สำคัญอีกสายหนึ่งของการพัฒนาเศรษฐกิจภาคใต้ของประเทศลาว ดังนั้นการพัฒนาทรัพยากรน้ำจึงเป็นหน้าที่ที่สำคัญอีกหน้าที่หนึ่งไปพร้อม ๆกับการพัฒนาเศรษฐกิจสังคม

ลักษณะพื้นของลุ่มน้ำมีความแตกต่างของระดับภูมิประเทศ ที่ระดับต่ำสุด 100 เมตร จนถึงระดับสูงสุด 2,500 เมตร ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1,800 มม. ในเขตที่ลุ่ม จนถึง 3,500 มม. ในเขตที่สูง ในพื้นที่ลุ่มน้ำเดียวกันลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำส่วนใหญ่เป็นเทือกเขาสูงชันสลับซับซ้อนมีพื้นที่ที่เป็นเนินเขาพื้นที่ลอนลาดต่อเนื่องจากพื้นที่ภูเขาสูงลงสู่ที่ราบ. การศึกษานี้เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาในการประเมินปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนด้วยแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาซึ่งสามารถใช้ร่วมกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้โดยSWATเป็นแบบจำลองประเภท distributed hydrological modelซึ่งมีความสามารถในการจำลองแบบที่มีความซับซ้อนทั้งทางด้านอุทกวิทยาหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นประเภท river basin scale model ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบในเชิงปริมาณของการจัดการพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่พื้นที่ลุ่มน้ำที่ซับซ้อนโดยเป็นแบบจำลองที่เป็น public domain model ซึ่งทำขึ้นโดย Agricultural Research Service ที่ Grassland Soil and Water Research Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา แบบจำลองSWATจำลองลักษณะกายภาพตามแบบจำลองทางอุทกวิทยาซึ่งสามารถทำงานได้ในขั้นเวลาแบบรายวันแบบรายเดือนได้ดีเช่นเดียวกับแบบรายปีสำหรับการจำลองแบบระยะยาวนาน SWAT ใช้รูปแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์จัดเก็บข้อมูล คุณลักษณะของดินสภาพอากาศและข้อมูลการจัดการพืช [1], [2], [3], [4], [5] และ [6] แนวคิดพื้นฐานของแบบจำลอง SWAT คือ การแบ่งหน่วยที่ดินเป็นหน่วยย่อยที่มีการตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU) ซึ่งหน่วยย่อยHRUs เป็นการรวมขอบเขตพื้นที่ดินกับพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งประกอบด้วยการครอบคลุมพื้นที่ดินเฉพาะดิน และการจัดการรวมกันทั้งหมดในรูปแบบจำลองนี้ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการจำลองการไหลของน้ำในพื้นที่ตามแต่ทางภูมิศาสตร์เงื่อนไขและวิธีปฏิบัติในการจัดการที่แตกต่าง[7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]และ [18]วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อตรวจสอบถึงความสามารถการใช้งานของแบบจำลองSWATในการปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

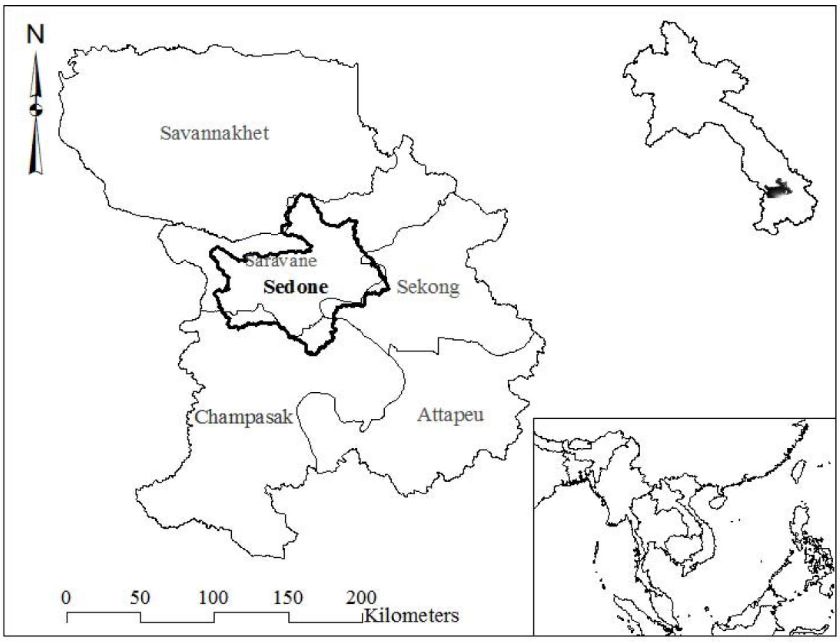
2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ขอบเขตของการศึกษา

ลุ่มน้ำเซโดนตั้งอยู่ระหว่างละติจูด15° 00' ถึง 16° 00' N และลองจิจูด 105° 35' ถึง 106° 40' E (รูปที่ 1) มีพื้นที่ลุ่มน้ำ7,114km^2 พื้นที่ส่วนใหญ่ครอบคลุมทั้งจังหวัดสาละวัน (5160 km^2 หรือ 72%)ซกอง(698km^2 หรือ9.7%) และ จำปาศักดิ์(1355 km^2 หรือ 18%)ในเขตลุ่มน้ำมี13 อำเภอ โดย4 อำเภอในจำปาศักดิ์7 อำเภอในสาละวัน และ 2 อำเภอในเซกอง ซึ่งแม่น้ำเซโดนเป็นลำน้ำสายหลักในเขตลุ่มน้ำ โดยมีความยาวทั้งหมดเท่ากับ 1,574 km.

ภาคผนวก ข1 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 1ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองSWATในการประเมินปริมาณการไหลในลุ่มน้ำเซโดนประกอบด้วย ข้อมูลระดับเชิงเลข(DEM)ข้อมูลการใช้ที่ดิน (landuse data) ข้อมูลดิน(soil data) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ(climate data) และข้อมูลปริมาณการไหลเฝ้าสังเกตุ(observed runoff)

2.2.1 ข้อมูล DEM

ข้อมูล DEM ได้เป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางการไหลในแต่ละหน่วย (cell) ข้อมูลจะทำการเชื่อมต่อกับอีกหน่วยข้อมูลที่เป็นตำแหน่งใกล้เคียงที่ลาดที่สุดที่โดยกำหนดค่าของทิศทางการไหลโดยข้อมูล DEM ของลุ่มน้ำมีขนาดของเซลล์ที่มีความละเอียดจะอยู่ที่ 50ม. X50 ม.ข้อมูล DEM ได้จากกรมแผนที่ของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

2.2.2 ข้อมูลการใช้ประโยชน์พื้นที่ดิน(Land Use Data)

การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ร้อยละ 70% เป็นพื้นที่ป่าไม้พื้นที่เกษตรกรรม ประมาณ ร้อยละ 30% และพื้นที่อื่น ๆมีอยู่จำนวนน้อยโดยการใช้ที่ดินประกอบด้วย ป่าดิบแล้ง (upper dry evergreen) ป่าโคก (dry dipterocarp) พื้นที่นา (rice paddy) พื้นที่เกษตร (agricultural plantation) พื้นที่โล่งและหิน (barren land)ทุ่งหญ้า (grassland) พื้นที่ปลูกสร้าง (urban or built-up area) พื้นที่น้ำ (water bodies) ข้อมูลการใช้ที่ดินเป็นข้อมูลของปี 2008 โดยได้จากกระทรวงเกษตรและป่าไม้ของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

2.2.3 ข้อมูลดิน (Soil data)

ข้อมูลดินในขอบเขตพื้นที่ศึกษาได้ใช้จากลักษณะองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของดินตาม

ภาคผนวก ข1 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.4 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Climate Data)

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของแบบจำลอง SWAT ประกอบไปด้วยข้อมูลฝนรายวันอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวันโดยข้อมูลที่ใช้นี้ได้จากการเก็บรวบรวมจากสถานีวัดที่การกระจายในลำน้ำเซโดนเป็นข้อมูลช่วงระยะเวลา 1996ถึง2010 ที่ได้รับจาก 4 สถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

2.2.5 ข้อมูลน้ำท่า (Observed Runoff)

ข้อมูลการไหลของน้ำท่าเป็นข้อมูลรายวันในช่วงปี 1996 ถึง 2010 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกใช้ในการสอบเทียบ (calibration)และตรวจพิสูจน์(validation)ของแบบจำลอง

2.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองSWAT

แบบจำลองSWATประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญ เช่น ข้อมูลประเภทดินข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำ โดยแบบจำลองจะทำการคำนวณปริมาณการไหลจาก HRUsของ sub-watershed ตามลำดับเพื่อทำให้เป็นแบบจำลองที่มีความง่ายและมีประสิทธิภาพของการประมวลผลเพิ่มขึ้นในระดับเกณฑ์ได้ถูกตั้งค่าให้ HRUs มีความหลากหลายและจำนวน 15% ของการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ และ 15% ของข้อมูลดินทั่วพื้นที่ที่ถูกเลือกให้เป็นเกณฑ์ในการแสดงผลของ HRUs

2.4 การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

ก่อนที่นำแบบจำลองทางอุทกวิทยามาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาเรื่องใด ๆก็ตามควรต้องมีการผ่านขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองเสียก่อนโดยจุดประสงค์การปรับเทียบแบบจำลองเพื่อลดความแตกต่างระหว่างข้อมูลจากการวัดกับข้อมูลจากแบบจำลองให้เหลือน้อยที่สุดโดยทุกแบบจำลองจำเป็นต้องมีการปรับเทียบกับทุกพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษาโดยหลักเกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองโดยผลลัพธ์ในการจำลองมีค่าเท่ากับข้อมูลจากการวัด

การตรวจสอบของแบบจำลองได้รับการพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานเทคนิคที่เหมาะสมโดยการตรวจสอบเป็นขบวนการทำซ้ำของการปรับพารามิเตอร์ที่จะทำให้ค่าของการจำลองใกล้เคียงกับค่าที่สังเกตุและมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้ [19] ในการศึกษาครั้งนี้ ช่วงเวลาในการสอบเทียบ(calibration)และตรวจพิสูจน์ (validation)ได้ถูกแยกออกเป็น 2 ช่วงเวลาได้แก่ ปี 1996 ถึง 2005 เป็นระยะเวลาสำหรับการสอบเทียบแบบจำลองและช่วงปี 2006 ถึง 2010 เป็นช่วงระยะเวลาสำหรับการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

2.5 การประเมินผลการปรับเทียบ

การประเมินประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแบบจำลองเป็นการประเมินผลการปรับเทียบของข้อมูลทั้งสองกลุ่มเพื่อยอมรับข้อมูลทั้งสองกลุ่มเข้าด้วยกันได้และเป็นในแนวทางเดียวกัน [20] โดยค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล(Coefficient of Efficiency) มีสมการดังนี้

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs} - \overline{Q}_{obs})^2} \qquad (1)$$

เมื่อ Q_{obs}คือค่าจากการวัด

Q_{sim}คือค่าจากแบบจำลอง

Q_{avg}คือค่าเฉลี่ยค่าจากการวัด

โดยที่ NSE มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองเข้ากันได้ดีถ้ามีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้ง

ภาคผนวก ข1 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.6 ค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหว

ขั้นตอนสำหรับตรวจสอบแบบจำลองพื่อการประมาณการค่า streamflowแสดงใน(รูปที่ 2) คือการไหลของผลการตรวจสอบที่ได้รับโดยการปรับ curve number (CN2) พารามิเตอร์โดยในการศึกษาหลายแห่งได้ใช้ curve number (CN2) เป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุด [21], [22] และ [23] ค่า curve number (CN2) เป็นพารามิเตอร์ความสมดุลของสภาพความชื้นในดินซึ่งอนุญาตให้แบบจำลองทำการปรับเปลี่ยนสภาพความชื้นในดินเพื่อประเมินการไหล การปรับค่าของพารามิเตอร์ของแบบจำลองแสดงในตาราง 1

3. ผลการศึกษา

ผลของการสอบเทียบแบบจำลอง (calibration 1996 – 2005)ระหว่างค่าของการเฝ้าสังเกตุ(observed data) และค่าของการจำลอง (simulated data) ของแบบจำลองมีความสอดคล้องกันดี ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2 และ 4 โดยภาพรวมปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในช่วงเดือน สิงหาคม และปริมาณการไหลต่ำสุดในช่วงเดือน มกราคม และแบบจำลองยังได้แสดงให้เห็นการตอบสนองได้อย่างชัดเจนของเส้นแสดงที่มีฝนตกมากและสอดคล้องกับปริมาณการไหลตัวอย่างเช่นในเดือนสิงหาคมของปี 1996 นอกจากนี้ผลของการสอบเทียบแบบจำลอง (calibration) ยังแสดงความน่าเชื่อถือของประสิทธิภาพของแบบจำลองในค่าที่สูง โดยได้ค่าของ R^2 และ NSE เท่ากับ 0.95 และ 0.80 ตามลำดับ โดยภาพรวมแล้วผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นค่าความสัมพันธ์กันในทางที่ดี ระหว่างปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยกับค่าที่ได้จากการเลียนแบบ และโดยเฉพาะผลของการคาดการณ์จากแบบจำลอง และข้อมูลเฝ้าสังเกตุ นอกจากนี้ผลของการจำลองจากแบบจำลองได้ประเมินค่าสูงกว่าปริมาณค่าการสังเกตุ.

ผลของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (validation) 2006 – 2010ระหว่างค่าของการเฝ้าสังเกตุ (observed data) และค่าของการจำลอง (simulated data) ของแบบจำลองมีความสอดคล้องกันดี ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3 และ 5 ผลของแบบจำลองยังแสดงความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพของแบบจำลองในค่าที่สูง โดยได้ค่าของ R^2 และ NSE เท่ากับ 0.92 และ 0.76 ตามลำดับ

ผลของการจำลองของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองได้ประเมินค่าเป็น over-estimation และผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณของน้ำท่ารายปีของแบบจำลองแสดงในตาราง2

ตาราง 1 ค่าของพารามิเตอร์ในการสอบเทียบแบบจำลอง

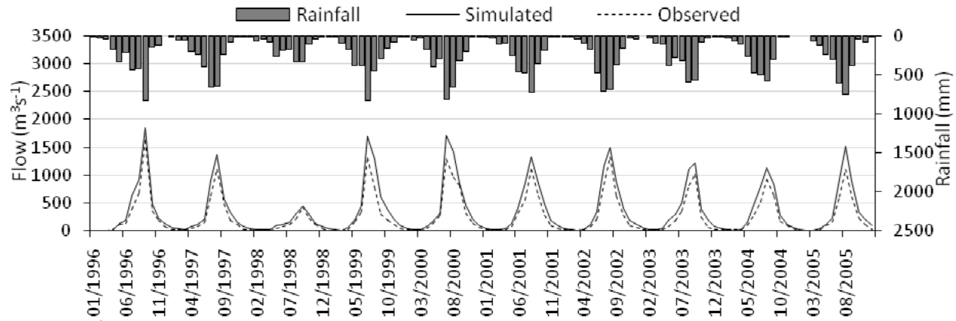
Parameter	Description	Model range	Fitted value
CN2	Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	±10%	-10%

ตาราง 2ปริมาณของน้ำท่ารายปีของการจำลอง (simulated) และ ค่าของการเฝ้าสังเกตุ (observed)

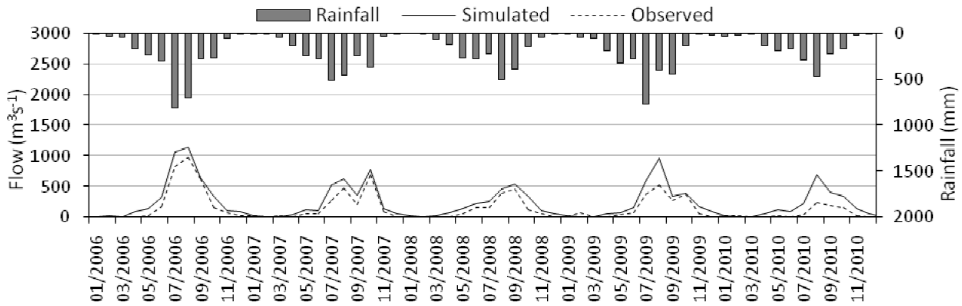
No	Description	Annual streamflow(MCM)
1	Simulated flow	7,164.00
2	Observed flow	7,020.00

ภาคผนวก ข1 (ต่อ)

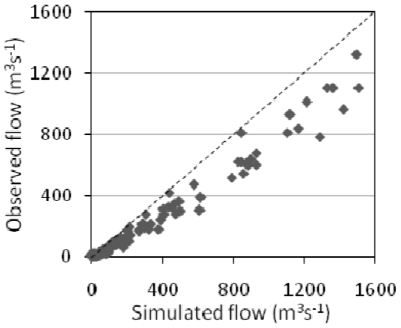
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



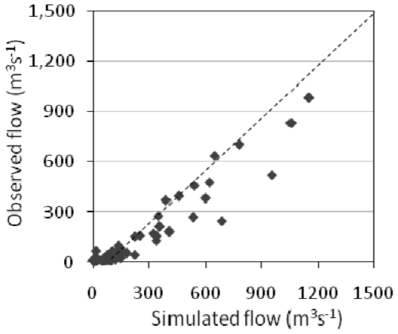
รูปที่2ปริมาณการไหลรายเดือนจากการจำลอง (simulated) และ ค่าของการเฝ้าสังเกตุ (observed)กับปริมาณน้ำฝนรายเดือนในการสอบเทียบแบบจำลองระหว่าง 1996 – 2005



รูปที่ 3 ปริมาณการไหลรายเดือนจากการจำลอง (simulated) และ ค่าของการเฝ้าสังเกตุ (observed)และปริมาณน้ำฝนรายเดือนในการตรวจพิสูจน์แบบจำลองระหว่าง 2006 – 2010



รูปที่ 4ปริมาณการไหลรายเดือนจากการจำลองและ ค่าของการเฝ้าสังเกตุในการสอบเทียบแบบจำลองระหว่าง 1996 – 2005



รูปที่ 5ปริมาณการไหลรายเดือนจากการจำลองและ ค่าของการเฝ้าสังเกตุในการตรวจพิสูจน์แบบจำลองระหว่าง 2006 – 2010

ภาคผนวก ข1 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลที่ได้จากแบบจำลอง SWAT แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองได้ประเมินค่าการไหลสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับค่าของการเฝ้าสังเกตุโดยได้ค่า R^2และ NSE เท่ากับ 0.97และ 0.82 สำหรับการสอบเทียบแบบจำลองและ R^2และ NSE เท่ากับ 0.93 และ0.78 สำหรับการตรวจพิสูจน์แบบจำลองโดยผลที่ได้รับจากการประเมินของแบบจำลองได้ค่าที่สูงกว่าค่าการเฝ้าสังเกตุ ถึงอย่างไรก็ตามถือว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้ในค่าที่ดี และเชื่อถือได้และปัญหาสาเหตุที่ทำให้ผลของแบบจำลองในลักษณะนี้ก็เพราะความแตกต่างกันของพื้นที่ความแตกต่างกันของปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ และความจำกัดของข้อมูล ผลที่ได้รับจากแบบจำลองนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันเป็นอย่างมากจากข้อมูลการวัดและผลที่ได้จากแบบจำลองในช่วงปี 2008 ถึง 2010 โดยในช่วงนี้ผลที่ได้รับแสดงให้เห็นถึงการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งสาเหตุเป็นอย่างนี้ก็เพราะมีการกั้นน้ำเพื่อกักเก็บน้ำในลำน้ำสาขาต่างๆเพื่อใช้เข้าในการเกษตรและชลประทาน

แบบจำลอง SWAT ได้เป็นที่ยอมรับ และมีความน่าเชื่อถือได้ในการใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อวางแผนสำหรับการจัดการลุ่มน้ำ และยังสามารถเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์กระบวนการทางอุทกวิทยาในการวางแผนทรัพยากรน้ำและการจัดการน้ำในเขตพื้นที่ศึกษา ซึ่งการศึกษาที่สามารถต่อขยายไปยังลุ่มน้ำที่คล้ายกันในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณมายัง กระทรวงเกษตรและป่าไม้ กรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวต่อการให้ข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ เรารู้สึกทราบซึ้ง และขอบคุณถึงทีมที่พัฒนาเครื่องมือ SWAT นี้เป็นอย่างสูงที่ได้นำเสนอเครื่องมือต่อการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Bingner, R.L., 1996. Runoff Simulated from Goodwin Creek Watershed Using SWAT. Transactions of the ASAE, 39: 85-90.

[2] Brown, C.D., and Hollis, J. M., 1996. SWAT Semi-Empirical Model to Predict Concentrations of Pesticides Entering Surface Waters from Agricultural Land, Pesticide Science. 47: 41-50.

[3] Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, S., and Williams, J. R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development. J. Amer. Water Res. Assoc. 34: 73-89.

[4] Zhang, X. S., Hao, F. H., Cheng, H. G., and Li, D. F., 2003. Application of SWAT Model in theUpstream Watershed of the LUOHE River. Chinese Geographical Science, 13: 334-339.

[5] Bouraoui, F., Benabdallah, S., Jrad, A., and Bidoglio, G., 2005. Application of the SWAT model on the Medjerda river basin, Tunisia, Physics and Chemistry of the Earth 30: 497-507.

[6] Easton, Z. M., Fuka,D. R., Walter, M. T., and Steenhuis, T. S., 2008. Re-conceptualizing the soil and water assessment tool (SWAT) model to predict runoff from variable source areas, Journal of Hydrology 348: 279-291.

[7] Saleh, A., Arnold, J. G., Gassman, P. W., Wiliams, J. R., and MacFarland, A. M., 2000. Application of SWAT for Upper North Bosque River watershed.Transactions of the ASAE.43 : 1077-1087.

[8] Spruill, C. A., Workman, S. R., and Taraba, J. L., 2000. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the

ภาคผนวก ข1 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

SWAT model, Transactions of the ASAE.43: 1431-1439.

[9] Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., and Hauck, M., 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources, J. American Water Resources Association 37: 1169-1188.

[10] Kirsch, K., Kirsch, A., and Arnold, J. G., 2002. Predicting sediment and phosphorus loads in the Rock River basin using SWAT, Transactions of the ASABE. 45: 1757-1769.

[11] White, K. L., and Chaubey, I., 2005. Sensitivity analysis, calibration, and validations for a multisite ltivariable SWAT model, J. American Water Resources Association. 41: 1077-1089.

[12] Qi, C., and Grunwald. L., 2005.GIS-Based Hydrologic modeling in the Sandusky watershed using SWAT.Transactions of the ASAE.48: 160-180.

[13] Jha, M. K., and Arnold, J. G., 2007. Water quality modeling for the Raccoon River watershed using SWAT, Transactions of the ASAE.50: 479-493.

[14] Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., and Arnold, J. G., 2007. The Soil and Water Assessement Tool: historical development, applications, and the future research directions, Transactions of the ASABE. 50: 1211-1250.

[15] Parajuli P. B., and Barnes, P. L., 2007. New methods in modeling source specific bacteria scale using SWAT, ASABE publication No. 701P0207. ASABE: St. Joseph, MI.

[16] Guo, H., Hu, Q., and Jaing, T., 2008. Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China, Journal of Hydrology.355 : 106-122.

[17] Ouyang, W., Hao, F. H., Wang, H. L., and Cheng, H. G., 2008. Nonpoint Source Pollution Responses Simulation for Conversion Cropland to Forest in Mountains by SWAT in China, Environmental Management.41 : 79-89

[18] Cao, W., Bowden, W. B., Davie, T., and Fenemor, A., 2009. Modeling Impacts of Land Cover Change on Critical Water Resources in the Motueka River Catchments, New Zealand, Water Resources Management. 23 : 137-151

[19] Donigain, A., Jr, S., 2002. Watershed Model Calibration and Validation The HSPF Experience. AQUA TERRA Consultants, 2685 Marine Way, Suite 1314, Mountain View, CA 94043.

[20] Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models, part I. A discussion of principles, J. Hydrology.10: 282-290

[21] Arabi, M.,Frakenberger, J.,Engel, B.A and J. G. Arnold, J. G., 2007. Representation of Agricultural conservation practices with SWAT. Hydrological processes, 22 : 304-3055.

[22] Das, S., Ruda, R. P., Gharabaghi, B., and Ahmed, I., 2007. Comparing the performance of SWAT and AnnAGNPS model in a watershed in Ontario, ASABE publishing paper: 701P0207.ASABE, St. Joseph, MI.

[23] Wang, X., and Yang, W., 2006. Influences of potential evapotranspiration estimation methods on SWAT's hydrologic simulation in a northwestern Minnesota watershed, Transactions of the ASABE.49 : 1755-1771.

ภาคผนวก ข1 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18
วันที่ 8-10พฤษภาคม2556ณ โรงแรมดิเอ็มเพลสเชียงใหม่

การวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว
Water Accounting Analysis of Sedone River Basin, LAO PDR

วิโรจน์ กิมาลา [1] และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย [2]
[1, 2] ห้องปฏิบัติการวิจัยการติดตามและการจัดการทางอุทกวิทยาเกษตรด้วยระบบอัจฉริยะ (INAM)
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม.
E-mail: [1] land_kimala@yahoo.com, [2] fengesk@ku.ac.th.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลของการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ซึ่งมีพื้นที่ 7,219 ตร.กม. ด้วยแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT). บัญชีน้ำมีหลักการเบื้องต้นคล้ายการจัดทำสมดุลน้ำ แต่จะจำแนกกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ได้จัดทำบัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง เป็นข้อมูลสภาพอากาศแบบอนุกรมเวลา ตั้งแต่ปี 1996 ถึง 2010 โดยการศึกษาใช้แบบจำลอง SWAT วิเคราะห์องค์ประกอบสมดุลน้ำ โดยวิเคราะห์แยกกิจกรรมการใช้น้ำตามหลักการบัญชีน้ำ ผลการวิเคราะห์ช่วยให้ทราบถึงสถานะของลุ่มน้ำเซโดนว่าอยู่ในสะถานะกำลังเปิด (an open basin) ก่าวคือ มีน้ำเหลือให้นำมาใช้เพิ่มอีก. และผลวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็น แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของพื้นที่ย่อย ๆ ในลุ่มน้ำ เพื่อใช้เป็นองค์ประกอบในการบริหารจัดการ ทรัพยากรน้ำในการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำเซโดน.

คำสำคัญ: การจัดทำบัญชีน้ำ, แบบจำลอง SWAT, ลุ่มน้ำเซโดน.

Abstract

This paper showed the result of water accounting analysis at Sedone river basin, drainage area of 7,219 Km^2, in Lao PDR by using Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Water accounting methodology is similar to water balance approach but separate the water activities. Water accounting for this study has established the annual water accountancy. The available data records from 1996 to 2010 were selected. The study use SWAT to analyze the functions of water balance by separate the water activities according to water accounting methodology. The result showed the Sedone river status is a closing basin which mean the available water is not much left. It also showed SWAT is able to use to analyze the sub-watershed of the river to use for water management purpose to plan for water resource management of Sedone river basin.

Keywords: SWAT model, Water accounting, Sedone river basin, Lao PDR.

1. คำนำ

ประเทศลาวประกอบด้วยลุ่มน้ำที่สำคัญอยู่ 11 ลุ่มน้ำ ซึ่งลุ่มน้ำเซโดน (Sedone basin) เป็นลุ่มน้ำที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจภาคใต้ของประเทศลาว ดังนั้นการพัฒนาทรัพยากรน้ำจึงเป็นหน้าที่ที่สำคัญไปพร้อมๆ กับการพัฒนาเศรษฐกิจสังคม.

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีจำกัดอีกทั้งแหล่งที่มาเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรรมชาติซึ่งไม่แน่นอนและคาดการณ์ได้ยากงานด้านการจัดสรรน้ำเป็นงานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการบริหารจัดการน้ำ โดยเฉพาะการขาดแคลนน้ำในฤดูช่วงแล้งการจัดสรรน้ำให้เพียงพอกับความต้องการทั้งปริมาณ เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ซึ่งในปัจจุบันลุ่มน้ำเซโดนมีแนวโน้มการเพิ่มปริมาณความต้องการการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ที่สูงไม่ว่าจะเป็นด้านการเกษตร อุปโภค บริโภคและ อุตสาหกรรม เป็นต้น เนื่องจากมีการขยายตัวของชุมชนและจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยมาตรการในการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่เพียงพอกับความต้องการมากที่สุด.

ในปัจจุบันนี้ ทั่วโลกได้ตระหนักถึงปัญหาทรัพยากรน้ำในทุกด้าน จึงได้มีการพยายามที่จะหาแนวทางในการบริหารและจัดการทรัพยากรน้ำ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเหมาะกับแต่ละสภาพพื้นที่ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึง การบริหารและจัดการน้ำ โดยใช้หลักการของ บัญชีน้ำ (water accounting). การวิเคราะห์บัญชีน้ำ เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการประเมินการบริหารจัดการน้ำทั้งระบบและยังเป็นเครื่องมือที่ช่วยทำความเข้าใจถึงกิจกรรมการใช้น้ำในด้านต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่กระบวนการปรับปรุงการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มกิจกรรมต่างๆ ให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [1]. ซึ่งในปัจจุบัน ได้มีการนำหลักการของบัญชีน้ำ ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต่าง ๆ [2], [3], [4], [5] และ [6].

ภาคผนวก ข2 การวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, ณ โรงแรมดิเอ็มเพลสเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลองมีส่วนสำคัญในการเป็นเครื่องมือทำให้การบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะ Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาซึ่งสามารถใช้ร่วมกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้โดย SWAT เป็นแบบจำลองประเภท distributed hydrological model ซึ่งมีความสามารถในการจำลองแบบที่มีความซับซ้อนทั้งทางด้านอุทกวิทยา แนวคิดพื้นฐานของแบบจำลอง SWAT คือการแบ่งหน่วยที่ดินเป็นหน่วยย่อยที่มีการตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU) ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบในเชิงปริมาณของการจัดการพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่พื้นที่ลุ่มน้ำที่ซับซ้อน [7] โดยแบบจำลองนี้ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการจำลองการไหลของน้ำในพื้นที่ตามแต่ทางภูมิศาสตร์เงื่อนไขและวิธีปฏิบัติในการจัดการที่แตกต่าง [8] และ [9]. การศึกษานี้เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว.

2. อุปกรณ์และวิธีการ

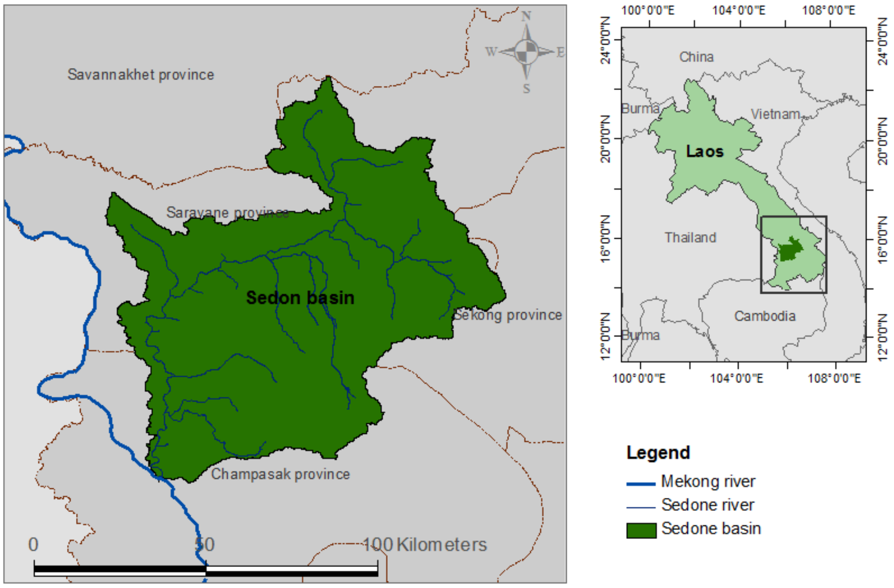
2.1 ขอบเขตของการศึกษา

ลุ่มน้ำเซโดนตั้งอยู่ระหว่างละติจูด15° 00' ถึง 16° 00' N และลองจิจูด 105° 35' ถึง 106° 40' E (รูปที่ 1) มีพื้นที่ลุ่มน้ำ7,129 km^2 พื้นที่ส่วนใหญ่ครอบคลุมทั้งจังหวัดสาละวัน 72% เซกอง 9.7% และจำปาศักดิ์ 18%. ในเขตลุ่มน้ำมี 13 อำเภอ โดย 4 อำเภอในจำปาศักดิ์ 7 อำเภอในสาละวัน และ 2 อำเภอในเซกอง ซึ่งแม่น้ำเซโดนเป็นลำน้ำสายหลักในเขตลุ่มน้ำ โดยมีความยาวทั้งหมดเท่ากับ 274 km.

สภาพอากาศของลุ่มน้ำร้อนและชื้นฤดูฝนส่วนใหญ่อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมนอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชั่นซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ทำให้มีฝนตกชุกในช่วงเดือนฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม อุณหภูมิของพื้นที่ลุ่มน้ำมีอุณหภูมิอยู่ในเฉลี่ยรายเดือน 24-28 องศาเซลเซียส.

2.2 การจัดทำบัญชีน้ำ (Water Accounting)

การจัดทำบัญชีน้ำ (water accounting) เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยสถาบันการจัดการน้ำนานาชาติ (International Water Management Institute, IWMI) [10] มีเป้าหมายเพื่อทำความเข้าใจถึงกิจกรรมการใช้น้ำในด้านต่างๆ ในลุ่มน้ำและเพื่อให้ทราบถึงแนวทางที่สามารถปรับปรุงในการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มกิจกรรมต่างๆ ให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบถึงผลิตผลที่ได้จากน้ำในภาพรวมระดับลุ่มน้ำ โดยมีหลักการเบื้องต้นคล้ายกับการทำสมดุลของน้ำ (water balance) ทั้งนี้การจัดทำบัญชีน้ำจะพิจารณาจำแนกกิจกรรมการใช้น้ำต่าง ๆ โดยผนวกแนวความคิดทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางการจัดการน้ำ เช่น สิทธิการใช้น้ำ ชนิดของผลประโยชน์จากการใช้น้ำเพิ่มเข้ามาวิเคราะห์).



รูปที่ 1ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน

ภาคผนวก ข2 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.1 หลักการของการจัดทำบัญชีน้ำ

Molden [11] ได้เสนอการจัดการน้ำโดยใช้วิธีการจัดทำบัญชีน้ำ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาการใช้น้ำ การสูญหาย และผลผลิตจากน้ำในหน่วยที่พิจารณา ซึ่งการจัดทำบัญชีน้ำมีหลักการพื้นฐานคล้ายกับการทำสมดุลของน้ำ (water balance) ซึ่งพิจารณาถึงปริมาณน้ำไหลเข้า (inflow) ปริมาณไหลออก (outflow) จากขอบเขตพื้นที่ที่พิจารณา (domain) การจัดทำบัญชีน้ำสามารถวิเคราะห์ได้ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับลุ่มน้ำ (basin level) ระดับโครงการชลประทาน (irrigation service level) และระดับแปลงเพาะปลูก (field level) ซึ่งแสดงสมการสมดุลน้ำดังนี้

$$\Delta S = \Sigma I - \Sigma O \qquad (1)$$

โดยที่ ΔS คือการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

ΣI คือผลรวมปริมาณน้ำไหลเข้า

ΣO คือผลรวมปริมาณน้ำไหลออก

การทำบัญชีน้ำต่างจากการทำสมดุลน้ำ โดยการทำบัญชีน้ำจะพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลออก (depletion & outflow) จากระบบโดยจำแนกกิจกรรมการใช้น้ำต่างๆ

2.1.2 นิยามศัพท์ของการจัดทำบัญชีน้ำ

การจัดทำบัญชีน้ำเป็นการแยกส่วนในกิจกรรมการใช้นาต่างๆ และสามารถสรุปไว้ดังนี้ [1]

1. ปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมด (gross inflow, GI) ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลเข้าในหน่วยที่พิจารณา ประกอบด้วย น้ำฝน น้ำท่าผิวดิน และน้ำท่าใต้ดิน.
2. ปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิ (net inflow, NI) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าหน่วยที่พิจารณารวมกับการเปลี่ยนแปลงของแหล่งกักเก็บ
3. ปริมาณน้ำที่สูญหายไป (water depletion, WD) เป็นน้ำที่ใช้หรือสูญหายไปโดยไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ซึ่งประกอบด้วย 4 กลุ่ม คือ

- การระเหย (evaporation) น้ำที่สูญหายไปโดยระเหยจากผิวดินผิวน้ำและการคายน้ำจากพืช
- การไหลลงแอ่ง (flow to sink) น้ำที่ไหลลงพื้นที่ที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้หรือไม่คุ้มค่าที่จะ นำกลับมาใช้อีก อาทิ พื้นที่ที่มีความเค็มสูง
- การปนเปื้อนมลพิษ (pollution) น้ำที่คุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่จะนำมาใช้
- การรวมเข้าไปในผลิตผล (incorporation into product) น้ำที่ถูกรวมเข้าไปในผลิตผลทั้งทางเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น น้ำที่บรรจุขวดหรือรวมเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของพืช

4. น้ำถูกใช้ไป (process consumption, P) น้ำที่ถูกใช้ไปเพื่อเกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์
5. น้ำไม่ถูกใช้ (non-process depletion, NP) น้ำที่สูญหายไปแต่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามต้องการของมนุษย์ ซึ่งน้ำส่วนนี้อาจสูญหายไปโดยมีประโยชน์ (beneficial) หรือไม่มีประโยชน์ (non-beneficial) ก็ได้
6. น้ำที่มีข้อผูกพัน (committed water, C) เป็นส่วนหนึ่งของน้ำที่ไหลออกจากหน่วยที่พิจารณา แต่น้ำส่วนนี้เป็นปริมาณที่กำหนดไว้ตามข้อตกลงต่างๆ เช่น เพื่อรักษาสมดุลนิเวศ หรือสิทธิการผู้ใช้น้ำด้านท้ายน้ำ
7. ปริมาณน้ำที่ไหลออกไปโดยไม่มีข้อผูกพัน (uncommitted outflow, UC) น้ำที่ไหลออกจากหน่วยที่พิจารณา โดยน้ำส่วนนี้เป็นส่วนที่เหลือจากการสูญหายและไม่มีข้อกำหนดผูกพัน ซึ่งสามารถแยกได้เป็น น้ำที่ยังนำมาใช้ได้ (utilizable outflow, UO) และน้ำที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้ (non-utilizable outflow, NUO) โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจัดการและเครื่องมือต่างๆ
8. ปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ (available water, AW) ปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิหักปริมาณน้ำไหลออกที่มีข้อผูกพันและปริมาณน้ำที่ไหลออกที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้อีก (AW = N – C - NUO) หรือผลรวมของน้ำที่สูญหายไปทั้งที่ถูกใช้ไปและไม่ถูกใช้ กับน้ำไหลออกที่ยังนำมาใช้ได้ (AW = P + NP + UO)

2.1.3 ดัชนีของทำบัญชีน้ำ

ดัชนีที่ใช้สำหรับการจัดทำบัญชีน้ำจะอยู่ในรูปอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่อยู่ในเทอมต่างๆได้แก่ อัตราส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไป อัตราส่วนปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไปและอยู่ในรูปของผลผลิตที่ได้จากน้ำ เป็นต้น. เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีของพื้นที่ที่พิจารณา ซึ่งประกอบด้วย

อัตราส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไป (depletion fraction, DF) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าที่มีการสูญหายเนื่องมีการนำใช้ไปตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ และนอกเหนือความต้องการ โดยกำหนดอัตราส่วนปริมาณน้ำที่สูญหายไปให้อยู่ในเทอมของปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมด ปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิและปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ ซึ่งสมการแสดงไว้ดังนี้

$$DF_{Net} = \frac{\text{Depletion}}{\text{Net Inflow}} \qquad (2)$$

$$DF_{Gross} = \frac{\text{Depletion}}{\text{Gross inflow}} \qquad (3)$$

$$DF_{Available} = \frac{\text{Depletion}}{\text{Available water}} \qquad (4)$$

อัตราส่วนปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไป (Process fraction, PF) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่สูญหายเนื่องจากถูกใช้ไป โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่สูญหายทั้งหมดและปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ซึ่งสมการแสดงไว้ดังนี้

$$DF_{Depletion} = \frac{\text{Process depletion}}{\text{Total depletion}} \qquad (5)$$

ภาคผนวก ข2 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$DF_{Available} = \frac{Processdepletion}{Availablewater} \quad (6)$$

การวิเคราะห์หาดัชนีสมรรถนะของพื้นที่จะนำองค์ประกอบของบัญชีน้ำต่าง ๆ มาประกอบ ในการวิเคราะห์ เพื่อทำให้ทราบถึงสถานะของพื้นที่ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 สถานะ คือ

1. ลุ่มน้ำปิด (a close basin) เป็นลุ่มน้ำที่ไม่มีแหล่งน้ำที่จะนำมาใช้ได้เพิ่มอีก
2. ลุ่มน้ำกำลังปิด (a closing basin) เป็นลุ่มน้ำที่มีแหล่งน้ำเหลือให้ใช้เพิ่มอีกไม่มาก
3. ลุ่มน้ำเปิด (an open basin) เป็นลุ่มน้ำที่ยังมีแหล่งน้ำที่จะมาใช้ได้อีก

2.3 แบบจำลอง SWAT model

แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองวัฏจักรทางอุทกวิทยา ที่จำลองลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำเป็นการกระจายพารามีเตอร์ตามสภาพทางกายภาพของพื้นที่จริง.

แบบจำลอง SWAT พัฒนาขึ้นโดย United States Department of Agriculture Agricultural Research Service (USDA-ARS) [7] เพื่อใช้ในการทำนายผลของการใช้ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำ ได้แก่น้ำท่า ตะกอน และสารเคมีจากการเกษตร ของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน โดยสามารถจำลองกระบวนการทางกายภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำย่อยๆได้ดี.

แบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลที่สำคัญ เช่นข้อมูลประเภทดินข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำ โดยแบบจำลองจะทำการคำนวณปริมาณการไหลจาก HRUs ของ watershed, sub-watershed ตามลำดับ.

การวิเคราะห์และการคำนวณด้วยแบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ส่วนพื้นดิน (land phase) และส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (routing phase).

การคำนวณทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง SWAT model ส่วนพื้นดิน (land phase) ใช้สมการสมดุลน้ำ (water balance equation) ดังนี้

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{Surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (7)$$

เมื่อ SW_t คือปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (mm)

SW_0 คือปริมาณน้ำในดินเริ่มต้น (mm)

t คือเวลา (days)

R_{day} คือปริมาณฝนในวันที่ i (mm)

Q_{surf} คือปริมาณน้ำผิวดินในวันที่ i (mm)

E_a คือปริมาณการคายระเหยในวันที่ i (mm)

W_{seep} คือปริมาณน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดินในวันที่ i (mm)

Q_{gw} คือปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i (mm).

การคำนวนปริมาณน้ำท่าของแบบจำลอง SWAT model สามารถเลือกคำนวนปริมาณท่าได้ 2 วิธี ได้แก่ SCS Curve number และ Green & Ampt infiltration. โดยในการศึกษานี้ ใช้วิธี SCS Curve number โดยมีสมการหลักคือ

$$Q_{Surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a - S)} \quad (8)$$

เมื่อ Q คือปริมานน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (m^3/s)

R คือปริมาณน้ำฝนรายวัน (mm)

S คือ Retention parameter (mm)

โดยตัวแปร S จะมีความสัมพันธ์กับค่า Curve number (CN) ดังสมการ

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \quad (9)$$

เมื่อ CN คือ ค่า Curve number

2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณการไหลในลุ่มน้ำเซโดนประกอบด้วย ข้อมูลระดับเชิงเลข (DEM) ข้อมูลการใช้ที่ดิน ข้อมูลดิน ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และข้อมูลน้ำท่าเพื่อใช้ในการตรวจแบบจำลอง.

2.4.1 ข้อมูล DEM

ข้อมูล DEM ได้เป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางการไหลในแต่ละหน่วย (cell) ข้อมูลจะทำการเชื่อมต่อกับอีกหน่วยข้อมูลที่เป็นตำแหน่งใกล้เคียงที่ลาดที่สุดที่โดยกำหนดค่าของทิศทางการไหลโดยข้อมูล DEM ของลุ่มน้ำมีขนาดของเซลล์ที่มีความละเอียดจะอยู่ที่ 50ม. X50 ม.ข้อมูล DEM ได้จากกรมแผนที่ของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว.

2.4.2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบหลักของการประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าสู่หน่วยที่พิจารณาขององค์ประกอบการจัดทำบัญชีน้ำ (water accounting), จากการรวบรวมข้อมูล พบว่ามีสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมด 4 สถานีที่กระจายในลุ่มน้ำ โดยเป็นข้อมูลช่วง

ภาคผนวก ข2 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลา 1996 ถึง 2010 ที่ได้รับจาก กรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ทั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบความกลมกลืนของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve ก่อนนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง.

2.4.3 ข้อมูลการใช้ประโยชน์พื้นที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ร้อยละ 70% เป็นพื้นที่ป่าไม้พื้นที่เกษตรกรรม ประมาณ ร้อยละ 30% และพื้นที่อื่น ๆมีอยู่จำนวนน้อย โดยการใช้ที่ดินประกอบด้วย ป่าดิบแล้ง (upper dry evergreen) ป่าโคก (dry dipterocarp) พื้นที่นา (rice paddy) พื้นที่เกษตร (agricultural plantation) พื้นที่โล่งและหิน (barren land) ทุ่งหญ้า (grassland) พื้นที่ปลูกสร้าง (urban or built-up area) พื้นที่น้ำ (water bodies) ข้อมูลการใช้ที่ดินเป็นข้อมูลของปี 2008 โดยได้จากกระทรวงเกษตรและป่าไม้ของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

2.4.4 ข้อมูลดิน

ข้อมูลดินในขอบเขตพื้นที่ศึกษาได้ใช้จากลักษณะองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของดินตามแบบจำลอง SWAT model โดยข้อมูลดินประกอบด้อยดินร่วน (loam), ดินร่วนเหนียว (clay loam), ดินทรายปนดินร่วน (loamy sand), ดินร่วนปนทราย (sandy loam) และ ดินทราย (sand) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากแหล่งข้อมูลของกระทรวงเกษตรและป่าไม้ของของสาธารณรัฐประ ชาธิปไตยประชาชนลาว.

2.4.5 ข้อมูลน้ำท่า

ข้อมูลการไหลของน้ำท่าเป็นข้อมูลรายวันในช่วงปี 1996 ถึง 2010 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) และตรวจพิสูจน์ (Validation) ของแบบจำลอง.

2.5 วิธีการศึกษา

2.5.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญ เช่นข้อมูลประเภทดินข้อมูลการใช้ประโยชย์ที่ดิน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำ. โดยขั้นตอนในการประเมินปริมาณด้วยแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย: การเตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง (data preparation), การแบ่งลุ่มน้ำโดย (watershed delineation and HRU definition) เซิ่งแบบจำลองจะทำการคำนวณปริมาณน้ำจาก HRUs ของ sub-watershed ตามลำดับ จากนั้นทำการ model simulation, ทำการสอบเทียบ (calibration) และตรวจพิสูจน์ (validation) ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลอง (Parameter sensitivity analysis) และประเมินประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย Coefficient of determination (R^2) และ Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency (*NSE*) เท่ากับ 0.97และ 0.86 [12] จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ.

2.5.2 การวิเคราะผลจากแบบจำลอง SWAT

การคำนวณปริมาณน้ำของแบบจำลอง SWAT model ใช้สมการสมดุลน้ำ (water balance equation) โดยในส่วนนี้ได้ทำการวิเคราะผลจากส่วนของน้ำท่าผิวดินที่ได้จากแบบจำลองโดยผลที่ได้จากแบบจำลองจะประกอบด้วยปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลเข้าในหน่วยที่พิจารณา (inflow) น้ำที่สูญหายไปโดยการคายน้ำจากพืช (evaporation) และปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ลำน้ำ (outflow) เพื่อทำการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

3. ผลและวิจารณ์

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลเฉลี่ย 15 ปี ระหว่างปี 1996 ถึงปี 2010 โดยสามารถแยกการวิเคราะห์ได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์บัญชี น้ำเฉลี่ยรายปี ทั้งลุ่มน้ำ (ตารางที่ 1 และ รูปที่ 2) การวิเคราะห์รายฤดูการทั้งลุ่มน้ำ

3.1 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ

สภาพการใช้น้ำในปัจจุบัน ปริมาณน้ำฝนเป็นที่มาของน้ำที่ไหลเข้าสู่ลุ่มน้ำทั้งหมด ซึ่งมีค่าประมาณ 15,466.36 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (ตารางที่ 1) จากการวิเคราะห์ พบว่าประมาณ 40% ของน้ำสูญหายจากลุ่มน้ำ โดยการระเหยจากพืช เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ป่าไม้มากกว่า 65 % ปริมาณการใช้น้ำของป่าไม้จึงมีค่าถึง 4,076.50 ล้านลูกบาศก์เมตร ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ แต่หากพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมถือว่าปริมาณน้ำส่วนนี้ถูกใช้อย่างมีประโยชน์ ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ ประกอบด้วยน้ำท่าที่ไหลลงสู่แม่น้ำโขง ซึ่งมีประมาณ 9,621.07 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี โดยสรุปแล้ว ในสภาพปัจจุบันพบว่าลุ่มน้ำเซโดนมีการใช้น้ำประมาณ 35% ของปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ได้

3.2 บัญชีน้ำรายฤดูกาลทั้งลุ่มน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งช่วงเวลาออกเป็น ช่วงแล้ง และช่วงฝน สำหรับช่วงแล้ง (ตุลาคม – มีนาคม) และช่วงฝน (เมษายน – กันยายน) โดยปกติแล้ว พบว่าทุกองค์ประกอบของบัญชีน้ำทั้งปริมาณน้ำที่ไหลเข้า ปริมาณน้ำที่สูญหายไป และปริมาณน้ำที่ไหลออก มีปริมาณน้ำในช่วงฝน มากกว่าในช่วงแล้ง ปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมด (GI) น้ำสูญหายไปดัง (ตารางที่ 1).

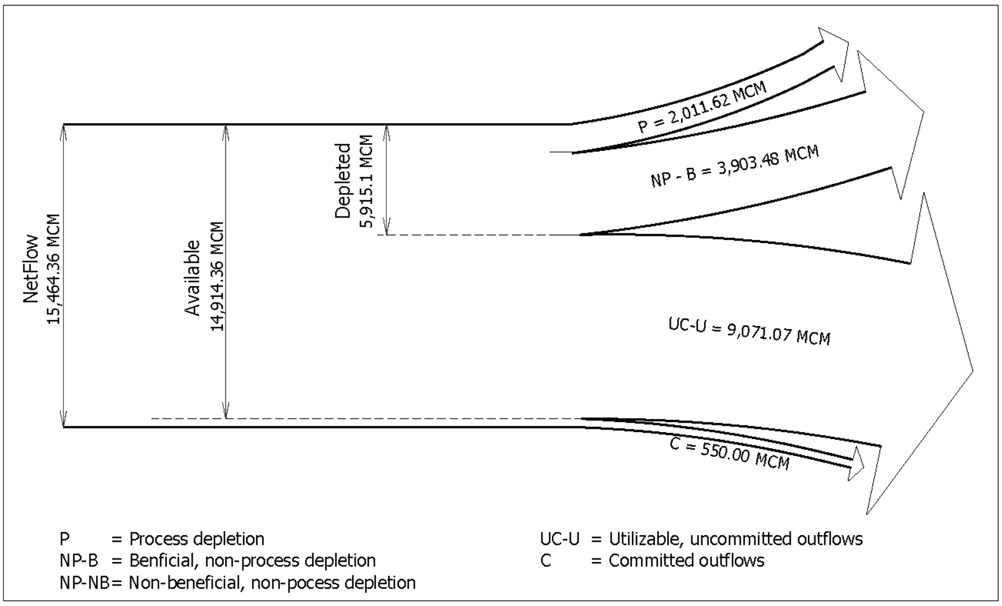
การจัดทำบัญชีน้ำเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถประยุกต์ในการวิเคราะห์การบริหารจัดการน้ำในพื้นโดยใช้ดัชนีในการประเมินและยังเป็นเครื่องมือที่ช่วยอธิบายและทราบถึงปริมาณน้ำที่สูญหายในกิจกรรมการใช้น้ำในพื้นที่ การจัดทำบัญชีน้ำมีข้อจำกัดในด้านการวิเคราะห์องค์ประกอบและการให้คำจำกัดความของปริมาณน้ำบางกลุ่มของบัญชีน้ำในพื้นที่ อาจส่งผลให้การประเมินการบริหารจัดการน้ำผิดพลาดได้.

ภาคผนวก ข2 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตาราง 1 บัญชีน้ำรายฤดูกาลของลุ่มน้ำเซโดนเปรียบเทียบระหว่างช่วงแล้ง (ต.ค – ม.ค.) และช่วงฝน (ม.ย. – ก.ย.)

	Dry period (Nov - Mac)		Wet period (Apl - Oct)		Annual	
	Volume (MCM)	Total (MCM)	Volume (MCM)	Total (MCM)	Volume (MCM)	Total (MCM)
Inflow						
Gross flow		**1,536.20**		**13,928.16**		**15,464.36**
Precipitation	1,536.2		13,928.16		15,464.36	
Net flow		**1,536.20**		**13,928.16**		**15,464.36**
Depletive use						
Process depletion		675.14		1,163.46		1,838.6
Evapotranspiration	650.14		1,138.46		1,788.6	
Municipal and industrial uses.	25.00		25.00		50.00	
Non-process depletion		1,336.48		2,740.02		4,076.5
Beneficial (Forest evaporation)	1,336.48		2,740.02		4,076.5	
Total depletion		**2,011.62**		**3,903.48**		**5,915.1**
Outflow						
Outflow from river		2,354.5		7,266.57		9,621.07
Committed water		250.00		300.00		550.00
Uncommitted outflow		2,104.5		6,966.57		9,071.07
Available water		**1,286.2**		**13,628.16**		**14,914.36**
Indicator						
Depleted fraction (gross)		1.31		0.28		0.38
Depleted fraction (net)		1.31		0.28		0.38
Depleted fraction (Available)		1.56		0.29		0.40
Process fraction (Depleted)		0.34		0.30		0.31
Process fraction (Available)		0.52		0.09		0.12



รูปที่ 2 บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำเซโดน หน่วยเป็นล้านลูกบาศก์เมตรต่อ (MCM)

ภาคผนวก ข2 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. สรุปผล

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้วิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน โดยทำเป็นแบบวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำ วิเคราะห์บัญชีน้ำรายฤดูกาลทั้งลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT model ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำไหลเข้า (inflow) ในพื้นที่ทั้งหมดคือปริมาณน้ำฝนมีปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งสิ้น 15,464.36 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำที่ที่สูญหายไป (depletive use) ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดเป็น 2 ลักษณะ คือการใช้น้ำที่มีประโยชน์ (process depletion) มีปริมาณน้ำ 2,011.62 ล้านลูกบาศก์เมตร และการใช้น้ำที่ไม่มีประโยชน์ (no-process depletion) มีปริมาณน้ำ 3,903.48 ล้านลูกบาศก์เมตร และการมีมีปริมาณน้ำไหลออกทั้งสิ้น 9,621.07 ล้านลูกบาศก์เมตร ผลการวิเคราะห์ช่วยให้ทราบถึงสถานะของลุ่มน้ำในปัจจุบัน เพื่อนำไปเป็นข้อมูล และกำหนดกลยุทธในการวางแผนจัดการ ไม่ว่าจะเป็นด้านการเกษตร อุปโภค บริโภค และ อุตสาหกรรม เป็นต้น โดยภาพรวมของลุ่มน้ำเซโดนนี้อยู่ในสถานะกำลังเปิด (an open basin) ก่าวคือ มีน้ำเหลือให้นำมาใช้เพิ่มอีก.

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือได้ในการใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อวางแผนสำหรับการจัดการลุ่มน้ำ นอกนั้นแบบจำลองยังสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของพื้นที่ย่อย ๆ ในลุ่มน้ำ และยังสามารถเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์กระบวนการทางอุทกวิทยาในการวางแผนทรัพยากรน้ำและการจัดการน้ำในเขตพื้นที่ศึกษา ซึ่งการศึกษาที่สามารถต่อขยายไปยังลุ่มน้ำที่คล้ายกันในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณมายัง ศูนย์นานาชาติสิรินธร เพื่อการพัฒนาการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี (PSIC) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสนับสนุนทุนสำหรับการศึกษานี้. เรารู้สึกทราบซึ้ง และขอบคุณถึงทีมที่พัฒนาเครื่องมือ SWAT model นี้ เป็นอย่างสูงที่ได้นำเสนอเครื่องมือต่อการวิจัยในครั้งนี้ด้วย.

เอกสารอ้างอิง

[1] เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย และ บัญชา ขวัญยืน. 2545. การจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำแม่น้ำแม่กลอง. วิศวกรรมสาร มก. 46: 122-133.

[2] ไชยวัฒน์ เจริญจิระตระกูล และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2545. การวิเคราะห์บัญชีน้ำของโครงการชลประทานพลเทพ. วิทยาสารกำแพงแสน 47: 122-133.

[3] วิศิษฎ์ เกษรมาลา และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2552. สมรรถภาพการบริหารจัดการน้ำของกลุ่มผู้ใช้น้ำในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุร. วิทยาสารกำแพงแสน. 3: 67-79.

[4] Sakthivadivel, R. and D. Molden. 2001. Linking water accounting analysis to institutions: Synthesis of studies in five countries. *In* Integrated Water- Resources Management in a River-Basin Context. International Water Management Institute (IWMI), 19-42.

[5] Peranginangin N., R. Sakthivadivel, N.R. Scott, E. Kendy and T.S. Steenhuis. 2003. Water accounting for conjunctive groundwater/surface water management: case of the Singkarak-Ombilin River basin, Indonrsia. Journal of Hydrology, 205: 1 – 22.

[6] Shilpaker, R.L. 2003. Geo-information Procedures for Water Accounting: A Case of The East Rapti River Basin, Nepal. M.S. Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Netherlands.

[7] Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, S., and Williams, J. R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development. J. Amer. Water Res. Assoc. 34: 73-89.

[8] Spruill, C. A., Workman, S. R., and Taraba, J. L., 2000. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model, Transactions of the ASAE.43: 1431-1439.

[9] Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., and Hauck, M., 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources, J. American Water Resources Association 37: 1169-1188.

[10] Molden, D., R. Sakthivadivel and Z Habib. 2000. Basin level Use and Productivity of water: Examples from South Asia. IWMI Research Report 49. International Water Management Institute (IWMI), Colombo.

[11] Molden, D. 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper no 1. International Irrigation Management Institute (IIMI), Colombo.

[12] Viloth, K. and E. Kositsakulchai. 2012. Estimation of Streamflow by SWAT Model in Sedone River Basin, LAO PDR. International Conference Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia, Thailand.

ภาคผนวก ข2 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PAWEES 2012 International Conference
Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia
27-29 November 2012, Thailand

Estimation of Streamflow by SWAT Model in Sedone River Basin, LAO PDR

Viloth Kimala - Ekasit Kositsakulchai

Abstract This paper showed the result of the streamflow estimation at Sedone river basin, drainage area of 7,217 Km^2, in Lao PDR by using Soil and Water assessment Tool (SWAT). The basin has different level of terrain as the lowest level of 100 meters to the highest of 2,500 meters. The average of annual rainfall is 1,800 millimeters in the lowland and 3,500 millimeters in the highland within the same river basin. The data for the SWAT model included land use, soil, climate from 1996 to 2010, and the streamflow from 1996 to 2010. Critical parameters were the initial Soil Conservation Service (SCS) runoff curve number for moisture condition II (CN2), available water capacity of the soil (SOL_AWC) and soil evaporation compensation factor (ESCO). Despite data limitation, the result of calibration and validation of the model showed a reliable estimation of monthly streamflow. The value of the coefficient of determination (R^2) and the Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) were high which is 0.96 and 0.89, respectively. The model estimated annual streamflow of Sedone basin of 9,620 MCM. This paper reveals the SWAT model is effective to predict hydrological status of river basin. This SWAT model also uses as a tool to analyze hydrological process in order to plan for water resource management in Sedone river basin.

Keywords Streamflow, SWAT model, Sedone river basin, Lao PDR.

Doctoral student Viloth Kimala (✉)
Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at KamphaengSaen, Kasetsart University, Thailand. Email: land.kimala1@gmail.com

Assistant Professor Ekasit Kositsakulchai
Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at KamphaengSaen, Kasetsart University, Thailand. Email: fengesk@ku.ac.th

Introduction

Laos PDR is a country with abundant water resources and still has enough to use for the needs of all activities such as supplied for domestic, agriculture and industrial uses and travel we can say that the water resources development is very important, whether it is in the economic and social development. The country consist 11 major watersheds which Sedone river is also an important watershed in economic development of southern of Laos. Therefore, the water resources development is a critical function in line with social economic development. The Sedone basin has different level, lower at 100 meters, and highest at 2,000 meters. The average of annual rainfall is 1,800 mm in the lowest area to 3,500 mm in the highest area. Most area of the topography of the watershed has a steep and complex mountain, hilly area, slope roofing area from high mountain to the plain. Climate data which is the most critical data using for estimate of the model is limited. In Sedone basin, there are just four the meteorological stations, Pakse, Salavan, Kongsedone, and Paksong, that daily data is available in term of time series from 1996-2010. Paksong meteorological station is only the station that has highest rainfall 3,500 mm. Therefore, the rainfall of the areas that is in level of 2,000 meters and the beginning of the basin effect to most of sub-basins. It makes the estimate streamflow of basin is higher than the reality. According to the report of Water resource and envelopment department on the need of water and decreasing of it which mean the quantity of Sedone River is insufficiency. The level of river lowers than level of irrigation development, and consumption recently with the insufficient water might also affect to the irrigator development project in the future. The monthly average amount of water release of the highest is 1,249 m^3/s and lowest is only 9 m^3/s. Therefore, most of Sedoe basins due to water storage cause of geology.

ภาคผนวก ข3 Estimation of Streamflow by SWAT Model in Sedone River Basin, LAO PDR. International Conference Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia, Thailand.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

The quantity of water in dry season is limited which related to lacking of water in this season, about 92% of the annual discharge occurs during the rainy season and about 8% in the dry season. The basin contributes an average annual stream flow of 9,500 MCM, the total stream flow to the Mekong River (DWR and WREA 2008).

Hydrologic model is a very crucial tool for estimation water resource on river basin. Hydrologic models were developed based on the hydrologic cycle imitation. However, there are many components involved in the cycle such as interception, infiltration, depression storage, evaporation, subsurface flow, groundwater flow, overland flow, and channel flow (Chow et al. 1988). Hydrological model including black-box model, lumped (conceptual) model and distributed hydrologic model. In this study, distributed hydrological model select on SWAT model for presented. SWAT is a spatially distributed, physically based hydrological model, which can operate on a daily or monthly time step as well as annual steps for long-term simulations. The SWAT uses spatially distributed data layers for elevation, land use and soil types. Relational databases include soil attributes, weather and crop management data (Bingner 1996; Brown et al. 1996; Arnold et al. 1998; Zhang et al. 2003; Bouraoui et al. 2005; Easton et al. 2008; Ouyang et al. 2008). The SWAT model has been widely applied for simulation of surface runoff, sediment yield, and total phosphorus losses from basin in different geographical locations, conditions and management practices (Saleh et al. 2000; Spruill et al. 2000; Santhi et al. 2001; Van Liew et al. 2003; Qi and Grunwald 2005; White and Chaubery 2005; Wang et al. 2006; Ndomba et al. 2008; Thampi et al. 2010). The purpose of this study to estimate streamflow of Sedone basin, Lao PDR by using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model.

Materials and methods

Study area

The Sedone basin is location between the latitude 15° 00′ - 16° 00′ N and longitude 105° 35′ - 106° 40′ E (Figure 1). The Sedone river mainstream has a total length of 240 km. Xeset river is the main tributary with headwater from the Bolaven Plateau. The basin has a total land area of 7,217 km^2 which spans across the provinces of Saravan, (5,160 km^2 or 72% of basin area), Sekong (698 km^2 or 9.7% of basin area) and Champasack (1,354 km^2 or 18% of basin area) provinces and a part in Savannakhet Province (16 km^2 or 0.3% of basin area).

The climate of basin is tropical: hot and humid. The rainy season is mainly affective by the summer monsoon and lasts from mid-May to mid-November most precipitation comes as short, intense thundershowers. Most of the heavy rains take place between July and September. The mean annual precipitation distribute like a coaxial circle ranging from 3,500 mm at Paksong, 2,000 at Saravan to less than 1,800 mm in the plain area. Average temperature is 24 - 28°C, (Figure 2).

Description of soil and water assessment tool (SWAT)

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is a river basin scale model developed by Dr. Jeff Arnold for for the United States Department of Agriculture Agricultural Research Service (USDA-ARS) (Arnold et al. 1998) to predict the impact of land management practices on water, sediment and agricultural chemical yields in large and complex watersheds with varying soils, land use and management conditions over long periods of time. SWAT is a public domain model, and is actively supported by the Grassland, Soil and Water Research Laboratory, and Black Land Research Center in Texas (Neitsch et al. 2005). The fundamental concept of the SWAT is Hydrologic Response Unit (HRU). The HRUs are lumped land areas within the sub basin that are comprised of unique land cover, soil and management combinations. Currently, SWAT is embedded in an ArcGIS interface called ArcSWAT. The simulation of the hydrology of a basin is done in two separate divisions. One is the land phase of the hydrological cycle that controls the amount of water, sediment, nutrient and pesticide loadings to the main channel in each sub-basin. The other division is the routing phase of the hydrological cycle that can be defined as the movement of water, sediments, nutrients and organic chemicals through the channel network of the basin to the outlet. The hydrologic model is based on the water balance equation in the soil profile where the processes simulated include precipitation, infiltration, surface runoff, evapotranspiration, lateral flow and percolation. SWAT partitions ground-water into two aquifer systems: a shallow unconfined aquifer, which contributes to the return flow and a deep and confined aquifer that, besides pumping, is disconnected from the system.

In the land phase of hydrological cycle, SWAT simulates the hydrological cycle based on the water balance equation

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \qquad (1)$$

Where SW_t is the final soil water content (mm), SW_0 is the initial soil water content (mm), t is the time (days), R_{day} is the precipitation on day i (mm), Q_{surf} is the surface runoff on day i (mm), E_a is the evapotranspiration on day i (mm), W_{seep} is the percolation into soil on day i (mm), and Q_{gw} is the return flow on day i (mm).

ภาคผนวก ข3 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PAWEES 2012 International Conference
Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia
27-29 November 2012, Thailand

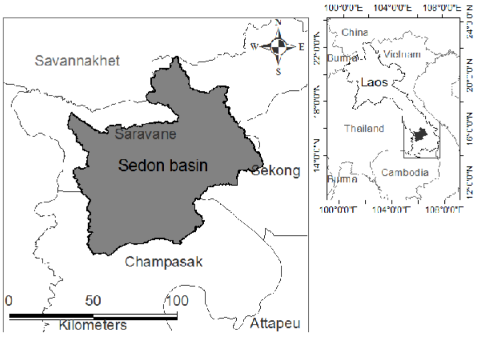


Figure 1 Location of Sedone river basin.

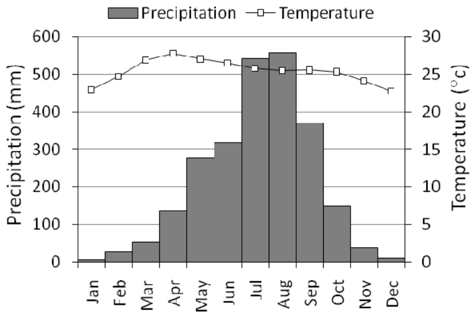


Figure 2 Monthly average temperature and precipitation in Sedone river basin.

SWAT model includes two methods for calculating the retention parameter. In the first one, the retention parameter varies with soil profile water content. This method overestimates runoff in shallow soils. In the second method, the retention parameter varies with accumulated plant evapotranspiration. Calculating daily curve number (CN) as a function of plant evapotranspiration is more dependent on antecedent climate. Three methods are incorporated into SWAT to estimate potential evapotranspiration (PET): the Penman–Monteith method (Monteith 1965), the Priestley–Taylor method (Priestley and Taylor 1972) and the Hargreaves method (Hargreaves et al. 1985).

SWAT provides two methods for estimating surface runoff: the SCS curve number procedure (USDA-SCS 1972) or the Green & Ampt infiltration method (Green and Ampt 1911). Using daily or sub-daily rainfall amounts, SWAT simulates surface runoff volumes and peak runoff rates for each HRU.

In this study, surface runoff is estimated from daily rainfall using modified SCS-CN method which is defined as follows:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \qquad (2)$$

Where Q_{surf} is the accumulated runoff or rainfall excess (mm), R_{day} is the rainfall depth for the day (mm), I_a is the initial abstractions which includes surface storage, interceptions and infiltration prior to runoff (mm), S is the retention parameter (mm). The retention parameter varies spatially due to change in soils, land use, management and slope and temporally due to changes in soil water content. The retention parameter is defined as follows:

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \qquad (3)$$

Where CN is curve number. The initial abstractions, I_a, is commonly approximated as $0.2S$. Therefore, the SCS curve number equation becomes:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \qquad (4)$$

Runoff occurs only when $R_{day} > I_a$.

Preparation of model inputs

The basic spatial input data sets used by the model include the digital elevation model (DEM), land use, soil, climate and observed runoff data.

DEM

Digital elevation model is one of the main inputs of the SWAT Model. Topography was defined by a DEM that describes the elevation of any point in a given area at a specific spatial resolution 50m grid in (Figure 3). DEM will be obtained from National Geographic Department, Vientiane Lao PDR. The DEM was used to delineate the boundary of the watershed and to analyze the drainage patterns of the land surface terrain. Terrain parameters such as slope gradient, slope length and the stream network characteristics such as channel slope, length, and width were derived from the DEM.

Land use data.

The most the land use percentage is 70% forest, about 30% agreculture land and others area . The major land use types of the study area are: upper dry evergreen, dry dipterocarp, rice paddy, agricultural plantation, barren land, grassland, urban or built-up area and water bodies, Shows in (Figure 4 Table 1). Land use is one of the most important factors that affect runoff, evapotranspiration in basin. The land use map of the study area was

ภาคผนวก ข3 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PAWEES 2012 International Conference
Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia
27-29 November 2012, Thailand

obtained from Ministry of Agriculture and Forests as the agency Lao which is the land use data in 2008.

Soil data

SWAT model requires different soil textural and physic-chemical properties such as soil texture, available water content, hydraulic conductivity, bulk density and organic carbon content of each soil type. The soil data is obtained mainly from the following sources: Ministry of Agriculture and Forests as the agency Lao PDR, Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO (1997), Major Soils of the world FAO (2002). These sources were utilized to extract the necessary soil properties in relation to the major soil type map developed by Lao ministry of water resources. The different sources have helped in correlating and verification of the soil properties. Major soil types in the basin are loam, clay loam, loamy sand, sandy loam and heavy clay, shows in (Figure 5 Table 2).

Climate Data

The climate data variables required by SWAT model for driving the hydrological balance are daily rainfall, minimum and maximum temperature, wind speed, solar radiation and relative humidity data. These data were obtained from Lao National Meteorological Service Agency. The time series data were collected from four stations (Pakse, Paksong, Saravan and Khongsedone) that are located within the watershed and covers a period of fifteen years (January 1996 to December 2010) (Figure 6).

Observed Runoff

The observed daily runoff data at the outlet of the watershed (at point Suvannakhiri station) for the years from 1996 to 2010 were obtained from the Hydrology Department of Ministry of Water Resources of Lao. These data were used for model calibration (1996-2003) and validation (2004-2010).

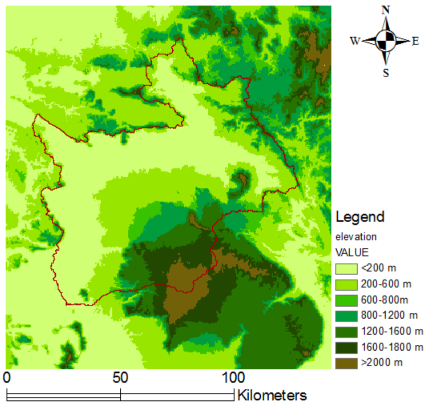


Figure 3 Elevation of Sedone river basin.

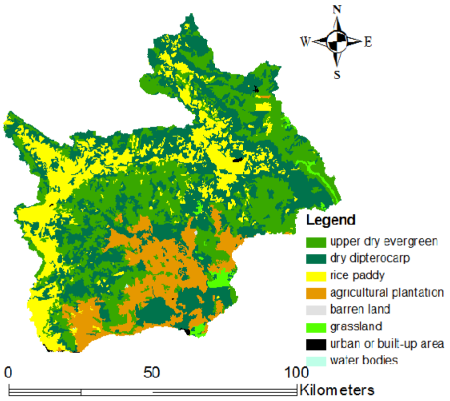


Figure 4 Major of land use of Sedone river basin.

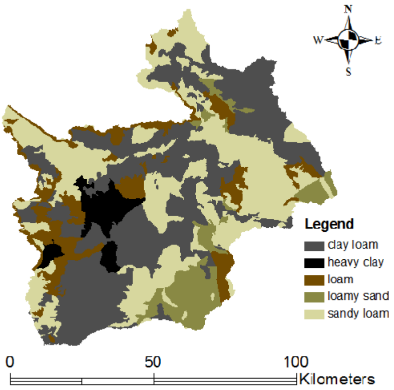


Figure 5 Major of soil of Sedone river basin

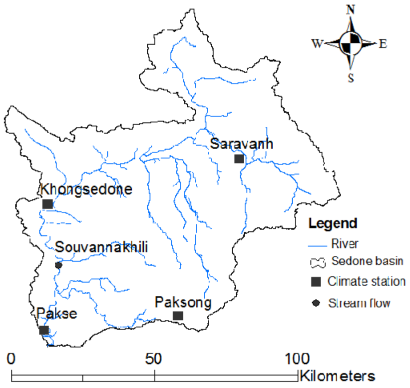


Figure 6 Climate stations of Sedone river basin

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Table 1 Major land use of Sedone river basin.

No	Landuse	Area (hectare)	Area (%)
1	upper dry evergreen	226,724.50	31.42
2	dry dipterocarp	267,969.75	37.13
3	rice paddy	124,836.00	17.30
4	agricultural plantation	91,065.00	12.62
5	barren land	105.25	0.01
6	grassland	9,132.25	1.27
7	urban or built-up area	1,664.75	0.23
8	water bodies	200.00	0.03

Table 2 Major of soil of Sedone river basin.

No	Soil	Area (hectare)	Area (%)
1	loam clay	299,548.00	41.51
2	sandy loam	244,755.25	33.91
3	loam	87,253.25	12.09
4	loamy sand	57,722.25	8.00
5	heavy clay	32,418.75	4.49

Model Set-Up

The model set-up processes include steps: data preparation, watershed delineation, HRU definition, definition of weather stations, and editor of model databases, model run and parameter sensitivity analysis. The available time series for daily precipitation covered the period January 1996 to December 2010. Four precipitation stations were chosen for the simulation. Wind speed, maximum, minimum and average temperature, relative humidity and sunshine were available at four stations. Time series for daily surface flow covering the period January 1996 to December 2010 were available at Suvannakhili gauging stations. The DEM, land use and soil map of the study area were also imported into the model and made to overlay to obtain a unique combination of land use, soil, and slope within the watershed to be modeled. The study used the sample with different thresholds for stream definition 1,500 hectare, 2,500 hectare, 5,000 hectare, 7,500 hectare, 10,000 hectare, 15,000 hectare and showed in (figure 7). Therefore, in this study, the minimum threshold area required to discretize the watershed into sub-basins was selected as 2,500 ha that has resulted in to the definitions of 162 subbasins. In this study, multiple HRUs with 5 percent land use, 5 percent soil, and 2 percent slope threshold were used. The overlay of land use, soil, and slope maps resulted into 2,470 HRUs.

Model calibration and validation

Model Calibration

SWAT model includes a large number of parameters that describe the different hydrological conditions and characteristics across the watershed. During the calibration process, model parameters are subject to adjustments, in order to obtain model results that correspond better to measured data sets. After setting up, the model was run for simulation using the default parameter values. The default simulation outputs were compared with the observed data. In this study, the model was calibrated on monthly basis using time series data from January 1997 to December 2003. The first year of the modeling period were used for 'model warm-up'. The warm-up period allows the model to get the hydrologic cycle fully operational

Model Validation

In the validation process, the model is operated with input parameters set during the calibration process without any change and the results were compared against an independent set of observed data. In this study, the model was validated on monthly basis using time series data from January 2004 to December 2010.

Evaluation of the Model

Performance of the model was evaluated in order to assess how the model simulated values fitted with the observed values. Several statistical measures are available for evaluating the performance of a hydrological model. In this study, during calibration and validation periods, the goodness-of-fit between the simulated and measured values were evaluated using the coefficient of determination (R^2) and Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency (*NSE*) (Nash and Sutcliffe, 1970)

ภาคผนวก ข3 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PAWEES 2012 International Conference
Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia
27-29 November 2012, Thailand

The coefficient of determination (R^2) describes the proportion of the total variance in the measured data that can be explained by the model. It is an indicator of strength of relationship between the observed and simulated values. It measures how well the simulated versus observed regression line approaches an ideal match and ranges from 0 to 1, with a value of 0 indicating no correlation and a value of 1 representing that the predicted values area exactly equal to the measured values (Krause et al. 2005). It is defined as:

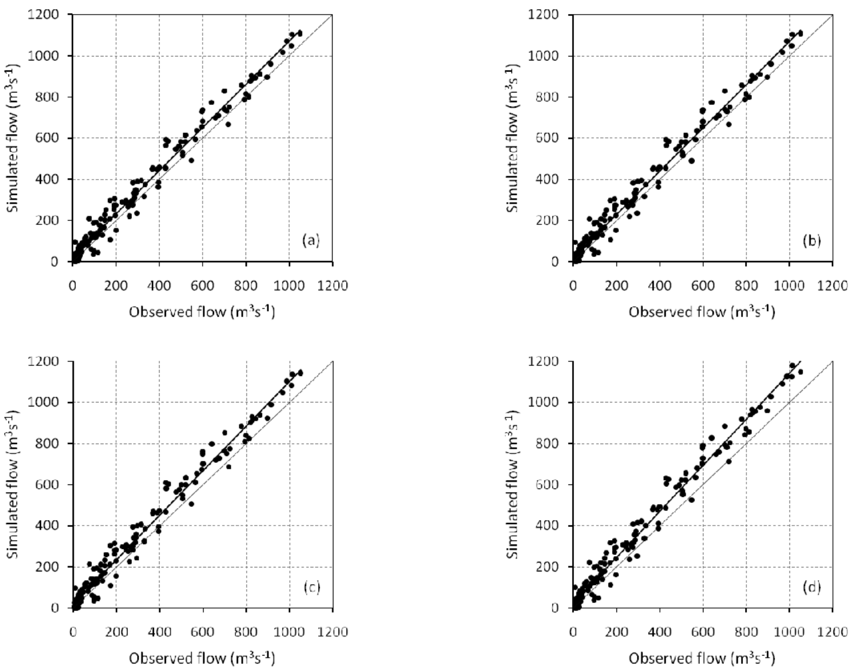
$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \left[(Q_{obs} - \overline{Q}_{obs})(Q_{sim} - \overline{Q}_{sim}) \right]}{\left[\sum_{i=1}^{n} (Q_{obs} - \overline{Q}_{obs})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^{n} (Q_{sim} - \overline{Q}_{sim})^2 \right]^{0.5}} \right]^2 \qquad (5)$$

Where, Q_{obs} is the i^{th} observed parameter, Q_{avgobs} is the mean of the observed parameters, Q_{sim} is the i^{th} simulated parameter, Q_{avgsim} is the mean of model simulated parameters and N is the total number of events

The Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency (*NSE*) has been reported in scientific literatures for model simulations of flow, and water quality constituents such as flow, sediment, nitrogen, and phosphorus yields (Moriasi et al. 2007). It is used to assess the predictive power of hydrological models and indicates how well the plot of the observed versus simulated values. The closer the model efficiency is to 1, the more accurate the model is. It is defined as:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^{n} (Q_{obs} - \overline{Q}_{obs})^2} \qquad (6)$$

Where *NSE* is the Nash-Sutcliffe efficiency of the model; Q_{obs} and Q_{sim} are the observed and simulated values, respectively, and Q_{avobs} is the average observed value.



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

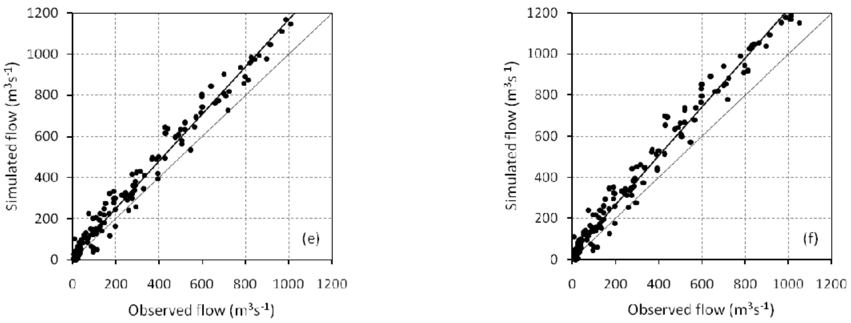


Figure 7 Scatter plot of observed and simulate flows with different thresholds for stream definition (a) 1,500 hectare, (b) 2,500 hectare, (c) 5,000 hectare, (d) 7,500 hectare, (e) 10,000 hectare, (f) 15,000 hectare.

Results and Discussion

Result of study demonstrated the reliable estimate streamflow of The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model has been calibrated and validated on monthly bases to predict the hydrological processes from the Sedone basin using time series data of 15 years from 1996- 2010. The first years of the modeling period were used for 'model warm-up'. Data 1997- 2003 were used for the calibration period and the remaining data sets from 2004 - 2010 were reserved for the validation period. During the delineation process, using a threshold value of 2,500 ha, the watershed is subdivided into 162 sub-basins, the overlay of land use, soil, and slope maps resulted into 2,470 HRUs. This resulted in a better representation of the hydrological processes and good estimation of simulated values which had a better model efficiency while comparing with the observed values.

Parameter sensitivity analysis

The parameter sensitivity analysis has used ArcSWAT extension for the whole catchment area. The sensitive parameters considered for calibration were CN2: initial SCS runoff curve number for moisture condition II, SOL_AWC: available water capacity of the soil layer (mm H2O/mm soil) and ESCO: soil evaporation compensation factor, many studies select sensitive parameter (Shimelis et al. 2008; Wang et al. 2008; Santosh et al. 2010). (Table 3) describes the most sensitive flow parameters and their fitted values.

Model calibration

During the calibration period from 1997- 2003, the simulated average monthly flow matched well with the average monthly measured flow (with R^2 = 0.96 and *NSE* = 0.88) (Figure 8) shows the comparison of the simulated versus observed average monthly flow.

It may be observed from the figure that the simulated average monthly flow (shown as solid line) is consistently under the observed average monthly flow. This shows that the trend of seasonal variability and monthly average discharges are generally well captured. The adequacy of the model is further indicated by its clear response to extreme rainfall events resulting in high streamflow in August 2000-2001. However, the model is overestimation, the peak monthly flow during (2000) of the simulation periods. Nevertheless, as it can be clearly seen on simulated versus observed average monthly flow shown in (Figure 10).

Model validation

SWAT model also successfully validated for flow from 2004 to 2010. Monthly flow rates were well predicted and measured and simulated monthly flows matched well (with R^2 = 0.96 and *NSE* = 0.89) (Figure 9 and 11). This shows that the trend of seasonal variability and monthly average discharges are generally well captured. However, the model is overestimation, the peak monthly flow in 2005 of the simulation periods.

During both calibration and validation periods, the difference between the simulated and observed values might be attributed to difference of rainfall inputs in basin from annual rainfall is 1,800 millimeters in the lowest area to 3,500 millimeters in the highest area. The other possible reason might be attributed to lack of data on the management and various water use abstractions from the reservoir such as water for domestic use and irrigation projects. Clearly there is abstraction of water from the reservoir for irrigation and other domestic purposes. However, since there is no available information on the amount of water used for these purpose, these water use were not included in the simulation.

The hydrological water balance analysis showed the total amount of precipitation falling on the subbasin

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

during the time step, actual evapotranspiration from the basin and the net amount of water that leaves the basin and contributes to streamflow in the reach (water yield). The water yield includes surface runoff contribution to streamflow, lateral flow contribution to streamflow (water flowing laterally within the soil profile that enters the main channel), groundwater contribution to streamflow (water from the shallow aquifer that returns to the reach) minus the transmission losses (water lost from tributary channels in the HRU via transmission through the bed and becomes recharge for the shallow aquifer during the time step).

The result showed that overall average annual water yield as simulated by the SWAT model for the entire basin about 1,482 mm. The average annual values of various water balance components for the study watershed are: precipitation 2,277 mm, actual ET 720 mm, lateral flow 250 mm, groundwater 670 mm and surface runoff 693 mm, in (Table 4) shows annual surface runoff of simulated and annual surface runoff observed.

The thresholds area of sub-basin will make the estimation of streamflow close to the actual value of observation because the sample area of study has very different topography and rainfall. The result of study showed the changing of sub-basin component that effect to the estimation of stream. If the threshold area of sub-basin is too large, it will effect to streamflow is higher than actual observation. But if it's too small, the estimation process will take too much time and the result will not be better.

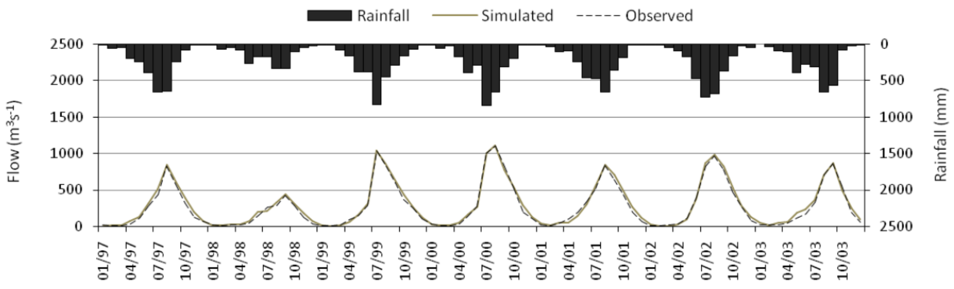


Figure 8 Observed and simulated monthly flow superimposed with monthly rainfall during calibration period (1997-2003).

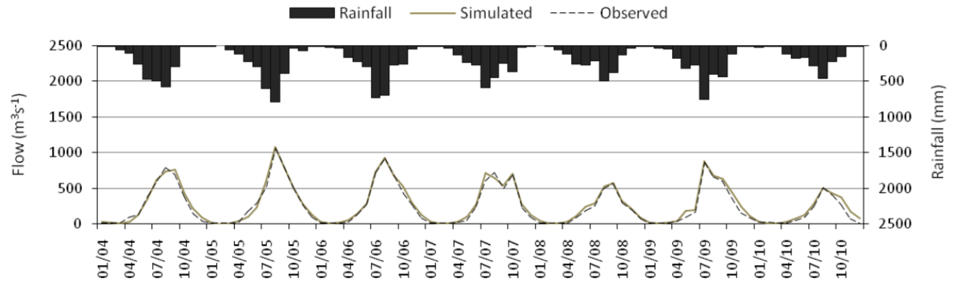


Figure 9 Observed and simulated monthly flow superimposed with monthly rainfall during validation period (2004-2010).

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

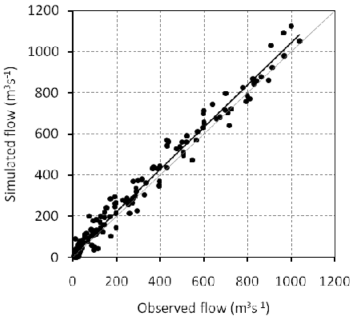


Figure 10 Scatter plot of observed and simulate flows during calibration 1997-2003.

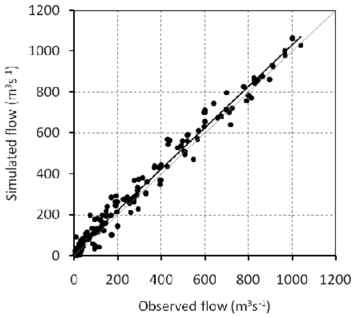


Figure 11 Scatter plot of observed and simulate flows during validation 2004-2010.

Table 3 Calibrated values of model parameters.

Parameter	Description	Model range	Fitted value
CN2	Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	±20%	-5%
SOL_AWC	available water capacity of the soil	±20%	+5%
ESCO	soil evaporation compensation factor	0-1	0.4

Table 4 Annual surface runoff of simulated and observed.

No	Description	Annual surface runoff (MCM)
1	Simulated flow	9,620.00
2	Observed flow	9,500.00

Conclusion

The SWAT model was applied to the Sedone Basin for the modelling of the hydrological water balance. It was successfully calibrated and validated for the basin. The model evaluation statistics for streamflows gave well. The results showed reliable estimates of monthly surface runoff yield with relatively high coefficient of determination (R^2) and Nash-Sutcliffe model efficiencies (*NSE*) during both calibration and validation period. The R^2 values were 0.96 and 0.96 respectively for runoff during the calibration and validation period. A good agreement between measured and simulated monthly flow was also demonstrated by *NSE* values of 0.88 and 0.89 respectively for calibration and validation periods. The study shown simulated runoff were close to the measured values during both calibration and validation periods except where the model the predicted values were generally overestimated by the model. However, the overall well captured.

The study used the sample with different thresholds is a good method of estimate streamflow in Sedone basin because its limitation of data and difference of rainfall and condition of the basin. The model needs to use the data of the area close by the control of sub-basin, so the Sedone basin is distribute into many sub-basins to make good proportion. Despite data limitation, the SWAT model produced good simulation results for monthly time steps. In general, SWAT model predictions are acceptable and thus can be considered as a planning tool for watershed management. It is a capable tool for further analyzing of the hydrological processes and water resources planning and management in the study area.

Acknowledgement

The authors would like to gratefully acknowledge to Princess Sirindhorn International Center for Research Development and Technology Transfer (PSIC) Kasetsart University for supporting the funds for this study. We appreciate the Lao National Meteorological Service Agency and Ministry of Agriculture and Forests as the agency Lao PDR for supporting the data and information. Finally, we gratefully acknowledge to the SWAT development team to provide the SWAT tools for this research.

ภาคผนวก ข3 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

References

Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR (1998) Large Area Hydrologic Modeling and Assessment. Part I: Model Development. J. American Water Resources Association. 34:73-89.

Bingner RL (1996) Runoff Simulated from Goodwin Creek Watershed Using SWAT. Transactions of the ASAE. 39:85-90.

Bouraoui, F., S. Benabdallah, A. Jrad, and G. Bidoglio. 2005. Application of the SWAT model on the Medjerda river basin, Tunisia. Physics and Chemistry of the Earth 30: 497-507.

Brown, C.D., and J.M. Hollis. 1996. SWAT-A Semi-Empirical Model to Predict Concentrations of Pesticides Entering Surface Waters from Agricultural Land. Pesticide Science. 47: 41-50.

Chow VT, Maidment DR, Mays LW (1988) Applied hydrology. McGraw-Hill, Inc., New York, NY. 570pp.

Department of Water Resources, Water Resources and Environment Authority (DWR-WREA). 2008 National Water Resources Profile. DWR-WREA. Lao PDR.

Easton, Z. M., D.R. Fuka , M.T. Walter, D.M. Cowan, E.M. Schneiderman, and T.S. Steenhuis. 2008. Re-conceptualizing the soil and water assessment tool (SWAT) model to predict runoff from variable source areas. Journal of Hydrology 348: 279-291.

FAO (1997) A world dataset of derived soil properties. Soil Use and Management. 13: 9-16.

FAO (2002) Major Soils of the world. Land and Water Digital Media Series. Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAO, Rome.

Green WH, Ampt GA (1911) Studies on soil physics, I. The flow of air and water through soils. J. Agric. Sci. 4: 11-24.

Hargreaves GL, Riley JP (1985) Agricultural benefits for Senegal River basin. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 111:113-124.

Krause P, Boyle DP, Base F (2005) Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Adv. Geosci. 5: 89-97

Monteith JL (1965) Evaporation and the environment. In The State and Movement of Water in Living Organisims, XIXth Symposium on the Society of Experimental Biology. Cambridge University Press: Swansea; 205-234.

Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Trans. ASAE. 50 (3): 885-900.

Nash JE, Sutcliffe JV (1970) River flow forecasting through conceptual models, part I. A discussion of principles. J. Hydrol. 10 (3): 282-290.

Ndomba PM, Mtalo FW, Killingtveit A (2008) SWAT model application in a data scarce tropical complex catchment in Tanzania. J. Phys. Chem.

Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR (2005) Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation: Version. USDA Agricultural Research Service and Texas A &M Blackland Research Center: Temple, TX

OuyangW, Hao FH, Wang XL, Cheng HG (2008) Nonpoint Source Pollution Responses Simulation for Conversion Cropland to Forest in Mountains by SWAT in China. Environmental Management. 41: 79-89.

Priestley CHB, Taylor RJ (1972) On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Review 100: 81-92.

Qi C, Grunwald S (2005) GIS-Based Hydrologic modeling in the Sandusky watershed using SWAT. Trans. ASAE. 48(1): 160-180.

Saleh A, Arnold JG, Gassman PW, Hauck LW, Rosenthal WD, Williams JR, McFarland AMS (2000). Application of SWAT for the upper north Bosque Watershed. Trans. ASAE. 43(5): 1077-1087.

Santosh G, Thampi Y, Raneesh T, Surya V (2010). Influence of Scale on SWAT Model Calibration for Streamflow in a River Basin in the Humid Tropics. Water Resour Manage DOI 10.1007/s11269-010-9676-y.

Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Hauck LM (2001) Validation of the SWAT model on a large river basin with point and non-point sources. J. Am. Water Resour. Assoc. 37(5): 1169-1188.

Shimelis SG, Srinivasan R, Dargahi B (2008) Hydrological modeling in the lake Tana basin, Ethiopia using SWAT model. The open Hydrol. J. 2: 49-62.

Spruill CA, Workman SR, Taraba JL (2000) Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. Trans. ASAE. 43(6): 1431-1439.

Thampi SG, Raneesh KY, Surya TV (2010) Influence of Scale on SWAT Model Calibration for Streamflow in a River Basin in the Humid Tropics. Water Resour Management. DOI 10.1007/s11269-010-9676-y.

USDA Soil Conservation Service (SCS) 1(972) National Engineering Handbook Section 4 Hydrology, USDA: Washington, DC.

Van Liew MW, Garbrecht J (2003) Hydrologic simulation of the Little Washita River Experimental Watershed using SWAT. J. Amer. Water Resour. Assoc. 39(2): 413-426.

Wang X, Melesse AM, Yang W (2006) Influences of potential evapotranspiration estimation methods on SWAT's hydrologic simulation in a northwestern Minnesota watershed. Trans. ASABE. 49(6): 1755-1771.

ภาคผนวก ข3 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wang S, Kang S, Zhang L, Li F (2008) Modeling hydrological response to different land use and climate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China. Hydrol. Process. 22: 2502 - 2510.

White KL, Chaubey I (2005) Sensitivity analysis, calibration, and validations for a multisite multivariable SWAT model. J. Am. Water Resour. Assoc. 41(5): 1077-1089.

Zhang XS, Hao FH, Cheng HG, Li DF (2003) Application of SWAT Model in the Upstream Watershed of the LUOHE River. Chinese Geographical Science 13: 334-339.

ภาคผนวก ข3 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Journal of Science and Technology Vol. 2, No. 2, 2013 วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 2556

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับการจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว

Application of SWAT model for Water Accounting in Sedone River Basin, Lao PDR

วิโรจน์ กิมาลา[1] และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย[1*]

Viloth Kimala[1] and Ekasit Kositsakulchai[1*]

ABSTRACT

This research demonstrated the application of SWAT model for water accounting analysis in Sedone River Basin in Lao PDR, where there was the drainage area of 7,217 km^2. The available data from 2001 to 2010 were selected. Water accounting analysis was based on three case studies: without irrigation, current irrigation and full potential irrigation. The analysis results were summarized on an annual basis and divided into sub-areas along the River. The SWAT model was applicable for the analysis of water balance components at the hydrologic response unit (HRU) scale of sub-watershed and the application of GIS could enhance the result visualization. The SWAT model simulated water balance components on daily time step, but recorded results of each HRU as an annual mean. Therefore it was limiting for the analysis of accounting water on monthly or seasonal basis. The result of water accounting analysis demonstrated the net inflow into the basin of about 15,600 MCM annually, with depleted water from evapotranspiration of about 37% of the inflow and outflow to stream of about 63%. Finally, water accounting analysis showed the current status of the Sedon River Basin to be an open basin, which implied that there was adequate water resources for further usages.

Keywords: SWAT model, Water accounting, Sedone River Basin, Lao PDR.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับการวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สปป ลาว ซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 7,217 ตร.กม. โดยใช้ข้อมูล 10 ปี (ค.ศ. 2001 ถึง ค.ศ. 2010) แบ่งการวิเคราะห์บัญชีน้ำ 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย การใช้น้ำฝนอย่างเดียว การใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวตามสภาพปัจจุบัน การใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำ ผลลัพธ์สรุปผลเป็นรายปีทั้งลุ่มน้ำ และ เป็นพื้นที่ย่อย แบบจำลอง SWAT สามารถแยกองค์ประกอบของสมดุลน้ำได้ละเอียดถึงระดับ HRUs ของลุ่มน้ำย่อย และการใช้แบบจำลองร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถแสดงผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจนและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

[1*] ห้องปฏิบัติการวิจัยการติดตามและการจัดการทางอุทกวิทยาเกษตรด้วยระบบอัจฉริยะ (INAM) ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

INtelligent Agro-hydrological Monitoring and Management Research Laboratory (INAM), Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

[*]Corresponding author: Tel. 0 - 3435 - 1897, Fax. 0 - 3435 - 2053, E-mail address: fengesk@ku.ac.th

ภาคผนวก ข4 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับวิเคราะห์บัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดน สปป. ลาว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แต่ด้วยแบบจำลองจัดเก็บผลของการจำลองเป็นค่าเฉลี่ยรายปี จึงมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์บัญชีน้ำในแบบรายเดือนและแบบรายฤดูกาล นอกจากนี้ ยังได้จำแนกปริมาณน้ำตามการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำจากปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ทั้งหมด 15,600 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี มีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำโดยการใช้น้ำของพืช 37% และปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำคิดเป็น 63% เทียบกับปริมาณน้ำไหลเข้า ผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำสรุปได้ว่าลุ่มน้ำเซโดนในสภาพปัจจุบันอยู่ในสถานะเปิด (an open basin) กล่าวคือมีทรัพยากรน้ำเหลือสำหรับการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นได้อีก

คำสำคัญ: แบบจำลอง SWAT การจัดทำบัญชีน้ำ ลุ่มน้ำเซโดน

คำนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีจำกัด อีกทั้งแหล่งที่มาเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรรมชาติซึ่งไม่แน่นอนและคาดการณ์ได้ยาก งานด้านการจัดสรรน้ำเป็นงานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในจัดการน้ำโดยเฉพาะการขาดแคลนน้ำในฤดูช่วงแล้ง การจัดสรรน้ำให้เพียงพอกับความต้องการด้านปริมาณเป็นเรื่องที่ทำได้ยากนอกจากนี้ความต้องการน้ำยังแปรเปลี่ยนไปตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ การจัดการน้ำจึงนับได้ว่าเป็นงานที่มีความยุ่งยาก และซับซ้อน

สปป ลาว กำหนดนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติโดยถือเอาเกษตรกรรมเป็นพื้นฐานโครงร่างการพัฒนาเศรษฐกิจ ซึ่งปัจจัยหลักของการผลิตทางด้านเกษตรกรรมโดยการเพิ่มพื้นที่ชลประทานในลุ่มน้ำต่างๆ ของประเทศ (กรมชลประทาน, 2009) ลุ่มน้ำเซโดนเป็นพื้นที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของภาคใต้ประเทศ แต่ด้วยสภาพปัจจุบัน ลุ่มน้ำมีแนวโน้มการเพิ่มปริมาณความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ที่สูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นด้านเกษตรกรรม อุปโภค-บริโภค และอุตสาหกรรม เป็นต้น เนื่องจากการขยายตัวของชุมชน และจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยแนวทางในการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่เพียงพอกับความต้องการมากที่สุด

ปัจจุบันทั่วโลกได้ตระหนักถึงปัญหาทรัพยากรน้ำจึงได้มีความพยายามที่จะหาแนวทางในการบริหารและจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะกับแต่ละสภาพพื้นที่ การจัดทำบัญชีน้ำ (water accounting) (Molden, 1997) เป็นวิธีการหนึ่งในการประเมินการบริหารจัดการน้ำทั้งระบบ และเป็นเครื่องมือที่ช่วยทำความเข้าใจถึงกิจกรรมการใช้น้ำในด้านต่างๆ เพื่อนำไปสู่กระบวนการปรับปรุงการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มกิจกรรมต่างๆ ให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (เอกสิทธิ์และบัญชา, 2545) ปัจจุบันได้มีการนำหลักการของบัญชีน้ำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต่างๆ เช่น ไชยวัฒน์และเอกสิทธิ์ (2548), ไชยวัฒน์ (2548), วิศิษฎ์และคณะ (2552), วิโรจน์และเอกสิทธิ์ (2556), Molden *et al.* (2000), Taesombut *et al.* (2002), Peranginaangin *et al.* (2003), Shilpaker (2003)

ปริมาณน้ำเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญในการวางแผน และการจัดการทรัพยากรในด้านต่างๆ เช่นด้านการเกษตร อุปโภค-บริโภค และอุตสาหกรรม โดยปัจจุบันได้มีการนำใช้แบบจำลองอุทกวิทยาในการประเมินปริมาณน้ำกันอย่างแผ่หลาย แต่ส่วนใหญ่จะใช้ของแบบจำลองในกลุ่มของ lumped-parameter model ในการประเมินปริมาณน้ำ แต่สำหรับการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลอง SWAT ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภทการกระจายพารามิเตอร์ (distributed-parameter model) ที่มีความสามารถจำลองพื้นที่ที่มีความซับซ้อนทางด้านอุทกวิทยาได้ดี (Arnold and Fohrer, 2005; Behera and Panda, 2006; Gassman *et al.*, 2007) โดยแบบจำลองได้ถูกนำใช้สำหรับการประเมินปริมาณน้ำของลำน้ำในพื้นที่ต่างๆ ตามสภาพทาง

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภูมิศาสตร์ และเงื่อนไข ซึ่งมีวิธีปฏิบัติที่แตกต่างกัน (วิโรจน์และเอกสิทธิ์, 2555; สุวิทย์และสุภักดิ์, 2556; Hoanh *et al*., 2010; Ayana *et al*., 2012)

สำหรับงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว โดยเป็นการวิเคราะห์แยกองค์ประกอบต่าง ๆ ตามหลักการของสมดุลน้ำในระดับลุ่มน้ำย่อย ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณน้ำไหลเข้า และไหลออกจากขอบเขตที่พิจารณา นอกจากนี้ยัง จำแนกปริมาณน้ำตามลักษณะของการใช้น้ำในพื้นที่ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของลุ่มน้ำเซโดน

อุปกรณ์ และวิธีการ

ขอบเขตของการศึกษา

ลุ่มน้ำเซโดนตั้งอยู่ระหว่าง ละติจูด 15° 23′ 00″ ถึง 16° 28′ 00″ เหนือ และลองจิจูด 105° 35′ 00″ ถึง 106° 40′ 00″ ตะวันออก มีพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 7,217 ตร.กม. ส่วนใหญ่ครอบคลุมจังหวัดสาละวันคิดเป็น 72% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ครอบคลุมจังหวัดจำปาสัก 18% และจังหวัดเซกอง 9.7% (Figure 1) เซโดนเป็นลำน้ำสายหลักของเขตลุ่มน้ำโดยมีความยาวทั้งหมดเท่ากับ 228 กม. มีต้นน้ำที่อยู่บริเวณเมืองท่าแตง จังหวัดเซกอง ไหลไปรวมกับแม่น้ำโขงที่เมืองปากเซ จังหวัดจำปาสัก

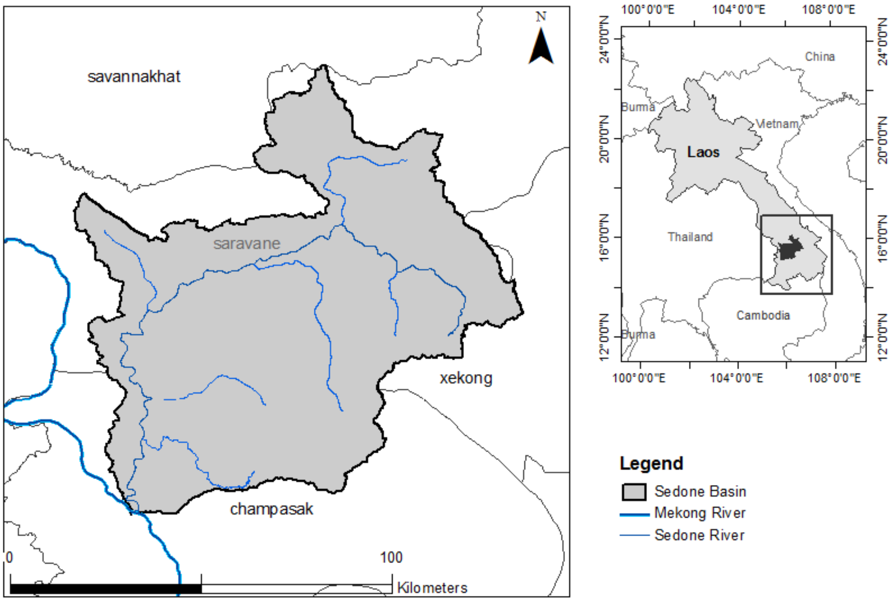


Figure 1 Location of Sedone River Basin, Lao PDR

สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำ โดยทั่วไปมีสภาพเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้และมีที่ราบลุ่มตามแหล่งชุมชนโดยมีค่าระดับความสูงเฉลี่ยประมาณ 700 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งมียอดเขาสูงสุดที่ระดับความสูง 2,000 ม. อยู่บริเวณเขตเมืองปากซ่อง และต่ำสุดที่ระดับความสูง 100 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ที่อยู่บริเวณเมืองปากเซ จังหวัดจำปาสัก ดังแสดงใน Figure 2

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

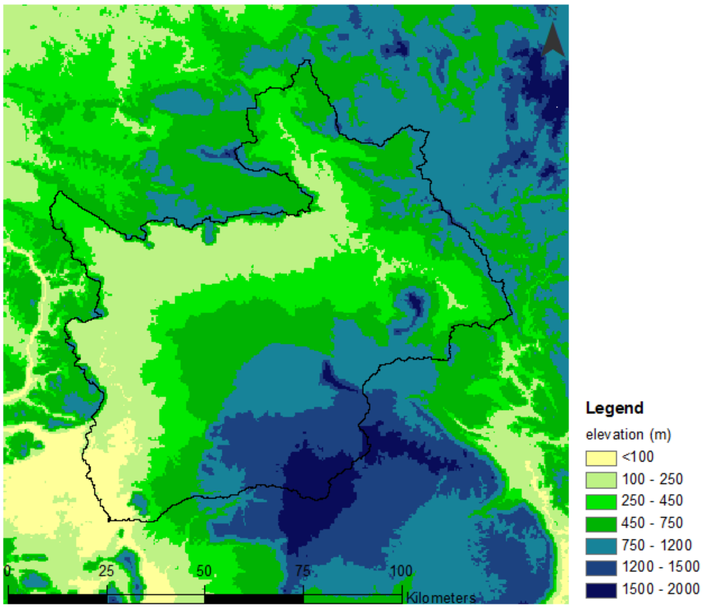


Figure 2 Elevation of Sedone River Basin

สภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำโดยทั่วไปร้อนชื้น ฤดูฝนส่วนใหญ่อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชั่นซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ทำให้มีฝนตกชุก ปริมาณฝนของพื้นที่ลุ่มน้ำแบ่งออกเป็นสองฤดูอย่างชัดเจนคือ ฤดูฝนเริ่มแต่เดือนเมษายนถึงตุลาคมของปี และฤดูแล้งเริ่มต้นแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคมของปี ในพื้นลุ่มน้ำมีความแตกต่างของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ราบลุ่มอยู่ที่ 1,800 มม. จนถึง 3,500 มม. ในพื้นที่สูง อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 24-28°C ดังแสดงใน Figure 3

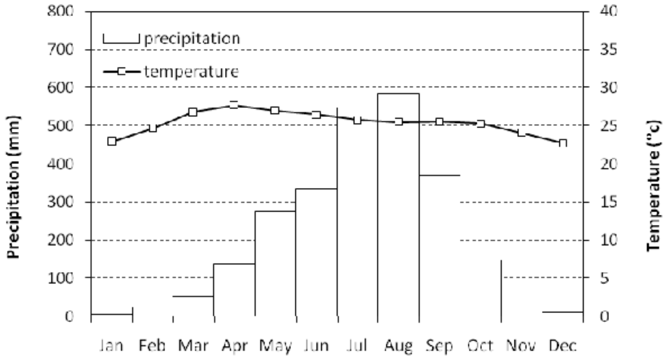


Figure 3 Monthly mean temperature and precipitation in Sedone River Basin

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจัดทำบัญชีน้ำ

การจัดทำบัญชีน้ำ (water accounting) เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยสถาบันการจัดการน้ำนานาชาติ (International Water Management Institute, IWMI) มีเป้าหมายเพื่อทำความเข้าใจถึงกิจกรรมการใช้น้ำในด้านต่างๆ และเพื่อให้ทราบถึงแนวทางที่สามารถปรับปรุงการใช้น้ำในแต่ละกลุ่มกิจกรรมต่างๆ ให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบถึงผลิตผลที่ได้จากน้ำในภาพรวม ทั้งนี้การจัดทำบัญชีน้ำจะพิจารณาจำแนกกิจกรรมการใช้น้ำต่างๆ โดยผนวกแนวความคิดทางด้านเศรษฐศาสตร์ และทางการจัดการน้ำ เช่น สิทธิการใช้น้ำ ชนิดของผลประโยชน์จากการใช้น้ำเพิ่มเข้ามาวิเคราะห์ (เอกสิทธิ์และบัญชา, 2545)

หลักการของการจัดทำบัญชีน้ำ

Molden (1997) ได้เสนอการจัดการน้ำโดยใช้วิธีการจัดทำบัญชีน้ำ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาการใช้น้ำ การสูญหาย และผลผลิตจากน้ำในหน่วยที่พิจารณา ซึ่งการจัดทำบัญชีน้ำมีหลักการพื้นฐานคล้ายกับการทำสมดุลของน้ำ (water balance) ซึ่งพิจารณาถึงปริมาณน้ำไหลเข้า (inflow) ปริมาณน้ำไหลออก (outflow) จากขอบเขตพื้นที่พิจารณา (domain) การจัดทำบัญชีน้ำสามารถวิเคราะห์ได้ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับลุ่มน้ำ (basin level) ระดับโครงการชลประทาน (irrigation service level) และระดับแปลงเพาะปลูก (field level) โดยมีสมการสมดุลน้ำดังนี้

$$\Delta S = \Sigma I - \Sigma O \qquad (1)$$

โดยที่ ΔS คือการเปลี่ยนแปลงปริมาตร
ΣI คือผลรวมปริมาณน้ำไหลเข้า
ΣO คือผลรวมปริมาณน้ำไหลออก

การทำบัญชีน้ำต่างจากการทำสมดุลน้ำ ซึ่งการทำบัญชีน้ำจะพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลออกจากระบบ (depletion และ outflow) โดยจำแนกตามกิจกรรมการใช้น้ำในด้านต่างๆ โดยรายละเอียดนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องการทำบัญชีน้ำโดยรายละเอียดดูได้จากบทความวิจัยของเอกสิทธิ์และบัญชา (2545)

ข้อมูลที่ใช้

DEM (Digital Elevation Model) เป็นแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบแรสเตอร์ (raster) ซึ่งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับแบบจำลองอุทกวิทยา ข้อมูล DEM ที่ใช้เป็นข้อมูลได้จากกรมแผนที่ของ สปป ลาว pixel มีขนาด 50x50 ม. ระบบอ้างอิงทางภูมิศาสตร์คือ WGS 1984 UTM Zone 48N

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (climate data) เป็นข้อมูลที่เก็บบันทึกเป็นตัวเลขชนิดรายวันเริ่มต้นปี ค.ศ. 1996 ถึงปี ค.ศ. 2010 โดยรวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาของ สปป ลาว ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และ รังสีดวงอาทิตย์ ข้อมูลรวบรวมจากสถานีตรวจอากาศ 4 สถานี คือ สถานีเมืองปากเซ สถานีเมืองปากช่อง สถานีเมืองสาละวัน และสถานีเมืองคงเซโดน ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 4

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Table 1 Location of climate stations and annual rainfall in Sedone River Basin

No	Station name	Location	Elevation (m)	Rainfall (mm year^{-1})
1	Khongsedone	N 15° 34' E 105° 48'	122	1,800
2	Pakse	N 15° 07' E 105° 47'	102	2,000
3	Paksong	N 15° 11' E 106° 14'	1,200	3,500
4	Salavane	N 15° 43' E 106° 27'	168	1,900

Figure 4 Location of climate stations and observed runoff in Sedone River Basin

ข้อมูลปริมาณน้ำท่า (observed runoff data) ของลุ่มน้ำมีเพียงสถานี Suvannakilli ซึ่งตั้งอยู่ตอนล่างของลุ่มน้ำ (ละติจูด 15° 23′ 00″ เหนือ และลองจิจูด 105° 49′ 00″ ตะวันออก) ข้อมูลน้ำท่าเป็นข้อมูลรายวันระหว่างปี ค.ศ. 1996 ถึงปี ค.ศ. 2010 จากกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของ สปป ลาว

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land-use data) เป็นข้อมูลของปี 2008 โดยได้จากกระทรวงเกษตรและป่าไม้ของ สปป ลาว (Figure 5) ส่วนใหญ่ 70% เป็นพื้นที่ป่าไม้ เป็นพื้นที่เกษตรกรรมประมาณ 30% โดยการใช้ที่ดิน ประกอบด้วย ป่าโคก (dipterocarp forest) มีพื้นที่ประมาณ 267,900 เฮกตาร์ ป่าดิบแล้ง (evergreen forest) ประมาณ 226,700 เฮกตาร์ พื้นที่นา (rice paddy) ประมาณ 124,800 เฮกตาร์ พื้นที่เกษตร (agricultural plantation) ประมาณ 91,100 เฮกตาร์ และ พื้นที่อื่นๆ ได้แก่ พื้นที่โล่งและหิน (barren land) ทุ่งหญ้า (grassland) พื้นที่ปลูกสร้าง (urban or built-up area) พื้นที่น้ำ (water bodies)

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

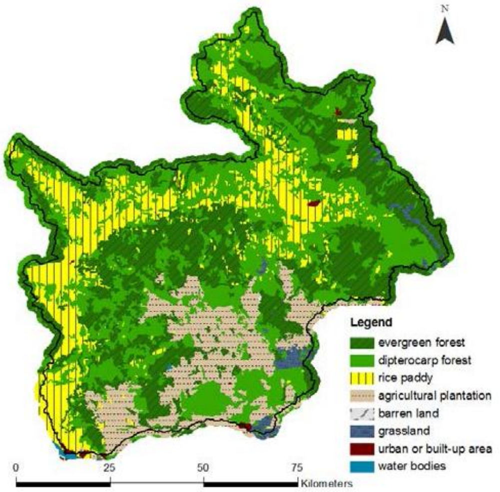


Figure 5 Land use map of Sedone River Basin

ข้อมูลดิน (soil data) ประกอบด้วย ดินร่วนเหนียว (clay loam) มีพื้นที่ 299,500 เฮกตาร์ ประมาณ 41% ดินร่วนปนทราย (sandy loam) มีพื้นที่ 244,700 เฮกตาร์ ประมาณ 40% ดินร่วน (loam) มีพื้นที่ 87 เฮกตาร์ ประมาณ 12% ดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) มีพื้นที่ 57,700 เฮกตาร์ ประมาณ 8% และ ดินเหนียว (clay) มีพื้นที่ 32,400 เฮกตาร์ ประมาณ 4% ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากแหล่งข้อมูลของกระทรวงเกษตรและป่าไม้ของ สปป ลาว ดังแสดงใน Figure 6

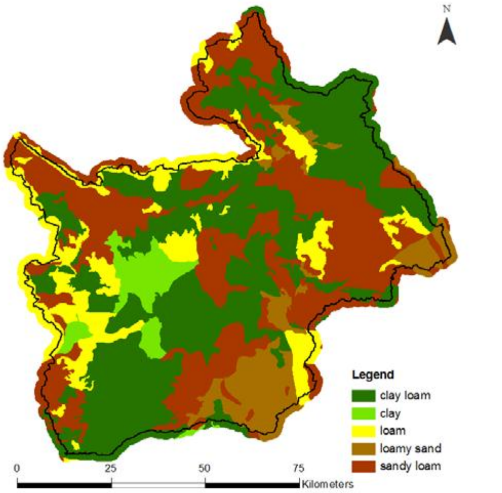


Figure 6 Soil map of Sedone River Basin

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Journal of Science and Technology Vol. 2, No. 2, 2013 วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 2556

ข้อมูลพื้นที่ชลประทานของลุ่มน้ำเซโดน เป็นข้อมูลที่เก็บบันทึกเป็นตัวเลขในเขตพื้นที่ปลูกข้าว โดยลุ่มน้ำมีพื้นที่ชลประทานทั้งหมดประมาณ 14,000 เฮกตาร์ โดยที่ จังหวัดสาละวัน มีพื้นที่ประมาณ 11,450 เฮกตาร์ และ จังหวัดจำปาสักมีพื้นที่ประมาณ 2,600 เฮกตาร์ เป็นข้อมูลที่ได้จากแขนงชลประทานของจังหวัดสาละวัน และจำปาสัก เป็นข้อมูลปี 2012

การวิเคราะห์บัญชีน้ำด้วยผลของแบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลที่สำคัญประกอบด้วย ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land-use data) ข้อมูลดิน (soil data) และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (climate data) ของลุ่มน้ำเซโดน โดยแบบจำลองจะทำการคำนวณปริมาณการไหลจากหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units: HRUs) ของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยตามลำดับจากนั้นแบบจำลองจะทำการการเลียนแบบ (model simulate) โดยมีการ calibration and validation ด้วยข้อมูล observation runoff ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลอง (parameter sensitivity analysis) และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย coefficient of determination (R^2) และ Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency (NSE) โดยรายละเอียดเพิ่มเติมดูได้ที่ Viloth and Ekasit (2012)

งานวิจัยนี้ จะพิจารณาผลจากแบบจำลอง SWAT เฉพาะข้อมูลความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าเท่านั้น โดยประมวลผลเป็นรายวัน เริ่มต้นจาก วันที่ 1 เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2001 ถึง วันที่ 31 เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 รวมระยะเวลา 10 ปี แบบจำลองให้ผลสรุปเป็นรายเดือน จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์สมดุลน้ำ และวิเคราะห์บัญชีน้ำ การวิเคราะห์บัญชีน้ำในลุ่มน้ำเซโดนเป็นการวิเคราะห์ผลเฉลี่ยรายปี โดยการจำลองพิจารณาเป็น 3 กรณี คือ

กรณีที่หนึ่ง การใช้น้ำฝนอย่างเดียว (without irrigation) เป็นการวิเคราะห์บัญชีน้ำโดยใช้ผลที่ได้จาก แบบจำลองที่คำนวณค่าต่างๆ จากข้อมูลพื้นฐานที่นำเข้า ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในสภาพที่ไม่ได้มีการตั้งค่าให้แบบจำลองมีการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้ในพื้นที่ปลูกข้าว

กรณีที่สอง มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวตามสภาพปัจจุบัน (current irrigation) เป็นการวิเคราะห์บัญชีน้ำโดยใช้ผลที่ได้จากแบบจำลอง ด้วยการตั้งค่าให้แบบจำลองมีการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้เพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวในฤดูแล้ง โดยใช้ข้อมูลจากพื้นที่ชลประทานจริงของลุ่มน้ำเซโดน

กรณีที่สาม มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดน (full potential irrigation) เป็นการวิเคราะห์บัญชีน้ำจากผลของแบบจำลอง โดยให้แบบจำลองมีการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้เพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นการจำลองในสถานการณ์ที่มีการเพิ่มพื้นที่ชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดของลุ่มน้ำเซโดน

องค์ประกอบในการวิเคราะห์

การจัดทำบัญชีน้ำครั้งนี้ได้กำหนดหน่วยพิจารณา (domain) เป็นระดับลุ่มน้ำ และแบ่งการวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน เป็นสามส่วนประกอบด้วย พื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนตอนบน (upper sedone) พื้นที่ตอนกลาง (middle sedone) และพื้นที่ตอนล่าง (lower sedone) โดยการแบ่งพื้นที่ได้พิจารณาตามตำแหน่งเมืองที่มีประชากรอยู่อย่างหนาแน่น คือ เมืองสาละวัน เมืองคงเซโดน และเมืองปากเซ ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ได้ทำการประเมินองค์ประกอบของบัญชีน้ำที่ละส่วนและจัดทำบัญชีน้ำ

ปริมาณน้ำฝน (rainfall) เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำที่ไหลเข้า (inflow) สู่หน่วยที่พิจารณา

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินองค์ประกอบอย่างแม่นยำนับได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของการจัดทำบัญชีน้ำ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ผลจากการประเมินปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง SWAT

ปริมาณน้ำที่สูญหายไป (depletion water) พิจารณาการใช้น้ำของพืชโดยการคายระเหย (evapotranspiration) โดยแบ่งเป็นสองส่วน ประกอบด้วย น้ำที่สูญหายไปเพื่อก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ (processed depletion) และน้ำที่สูญหายไปที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิตตามต้องการของมนุษย์ (non-processed depletion) โดยรายละเอียดนิยามดูได้ที่ เอกสิทธิ์ และบัญชา (2545) ปริมาณน้ำที่สูญหายไปที่ได้เป็นผลการประเมินจากแบบจำลอง

ปริมาณการไหลในลำน้ำ (stremflow) เป็นปริมาณการไหลออกจากลำน้ำสู่จุดออกที่แม่น้ำโขง ซึ่งวิเคราะห์ผลที่ได้โดยการวิเคราะห์สมดุลน้ำของแบบจำลอง

ปริมาณน้ำเพื่อรักษาสมดุลนิเวศในลุ่มน้ำ ประเมินจากองค์การวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมของ สปป ลาว ได้กำหนดปริมาณน้ำต่ำสุดที่ 15 ลบ.ม.ต่อวินาที

การประเมินดัชนีของบัญชีน้ำ (indicators) เป็นการสรุปผลของการจัดทำบัญชีน้ำโดยหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญหายไป (depletion fraction, DF) และอัตราส่วนของน้ำที่ถูกใช้ (process fraction, PF)ตามสมการที่แสดงไว้ดังนี้

$$DF_{net} = \frac{\text{Depletion water}}{\text{Net inflow}} \quad (2)$$

$$DF_{gross} = \frac{\text{Depletion water}}{\text{Gross inflow}} \quad (3)$$

$$DF_{available} = \frac{\text{Depletion water}}{\text{Available water}} \quad (4)$$

$$PF_{depletion} = \frac{\text{Process depletion}}{\text{Total depletion}} \quad (5)$$

$$PF_{available} = \frac{\text{Process depletion}}{\text{Available water}} \quad (6)$$

โดยที่ gross inflow คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมด, net inflow คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าสุทธิ, available water คือ ปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้, total depletion คือปริมาณน้ำที่สูญหายไป

ผลและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์สมดุลน้ำ (water balance)

การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง SWAT ของ 3 กรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูล 10 ปีระหว่างปี ค.ศ. 2001

1.1 กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว (without irrigation) ผลจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณฝนเป็นที่มาของปริมาณน้ำที่เข้าพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนทั้งหมด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2,150 มม. ถึงปี ค.ศ. 2010 และทำการสรุปผลเป็นค่าเฉลี่ยรายปี ผลการจำลองพบว่าแบบจำลองได้แยกองค์ประกอบของสมดุลน้ำแต่ละลุ่มน้ำย่อยออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ ซึ่งพิจารณาปริมาณฝน (rainfall) ดังแสดงใน Figure 7 ส่วนที่สองเป็นปริมาณน้ำส่วนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจาก การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) ดังแสดงใน Figure 8 และปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำ (outflow) ดังแสดงใน Figure 9 ซึ่งมีผลที่ได้ดังนี้

โดยปริมาณน้ำส่วนที่ไหลออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยน้ำจากลุ่มน้ำย่อยมีปริมาณน้ำเฉลี่ยประมาณ 790 มม. คิดเป็น 37% เทียบกับปริมาณน้ำที่สูญ

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หายไปในลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,360 มม. โดยคิดเป็น 63% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปทั้งหมดของลุ่มน้ำ

1.2 กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน (current irrigation) ผลการวิเคราะห์พบว่า ได้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยน้ำของลุ่มน้ำย่อย เนื่องจากแบบจำลองได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชเพิ่มในพื้นที่มีการใช้น้ำชลประทานในช่วงแล้ง โดยมีปริมาณการคายระเหยน้ำเฉลี่ยประมาณ 800 มม. คิดเป็น 38% เทียบกับปริมาณน้ำที่สูญหายไป และส่วนของปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยมีปริมาณน้ำที่ลดลงจากเดิม โดยมีปริมาณน้ำเฉลี่ยประมาณ 1,350 มม. คิดเป็น 62% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปทั้งหมดจากลุ่มน้ำ

1.3 กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดน (full potential irrigation) ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยน้ำจากลุ่มน้ำย่อยเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการคายระเหยน้ำเฉลี่ยประมาณ 840 มม. คิดเป็น 40% เทียบกับปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ และเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีการลดลงของปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยมีปริมาณน้ำเฉลี่ยประมาณ 1,310 มม. คิดเป็น 60% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไปทั้งหมดจากลุ่มน้ำ

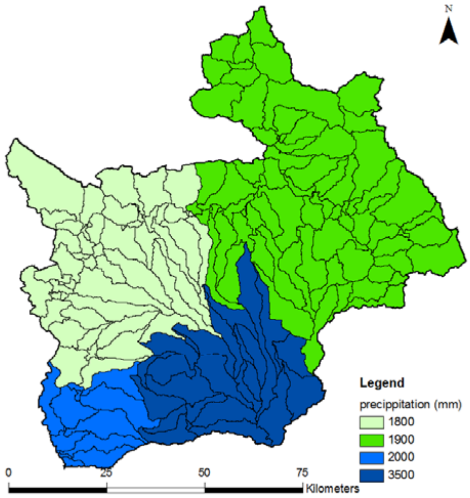


Figure 7 Precipitation in sub-basin

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

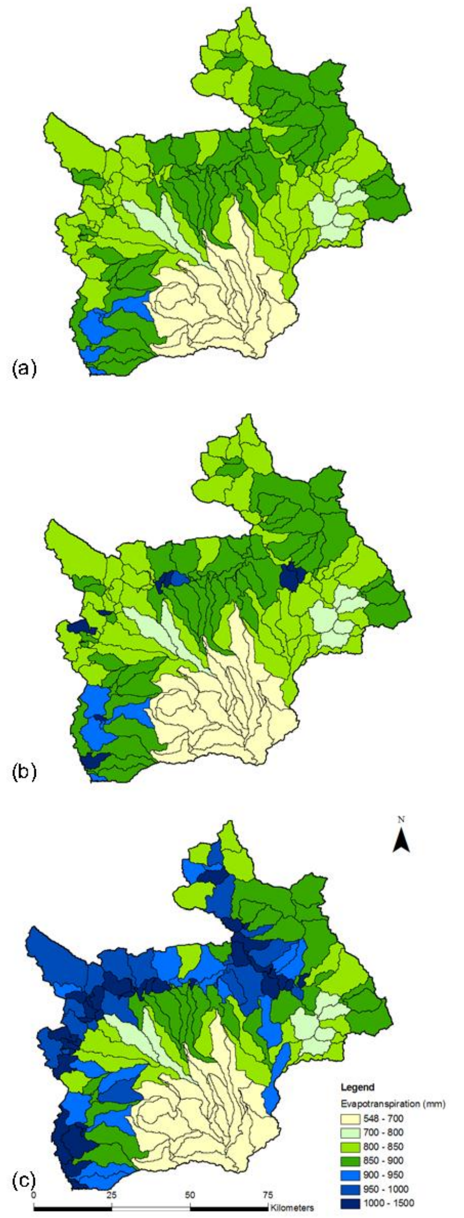


Figure 8 Evapotranspiration in sub-basin (a) without irrigation (b) current irrigation (c) full potential irrigation

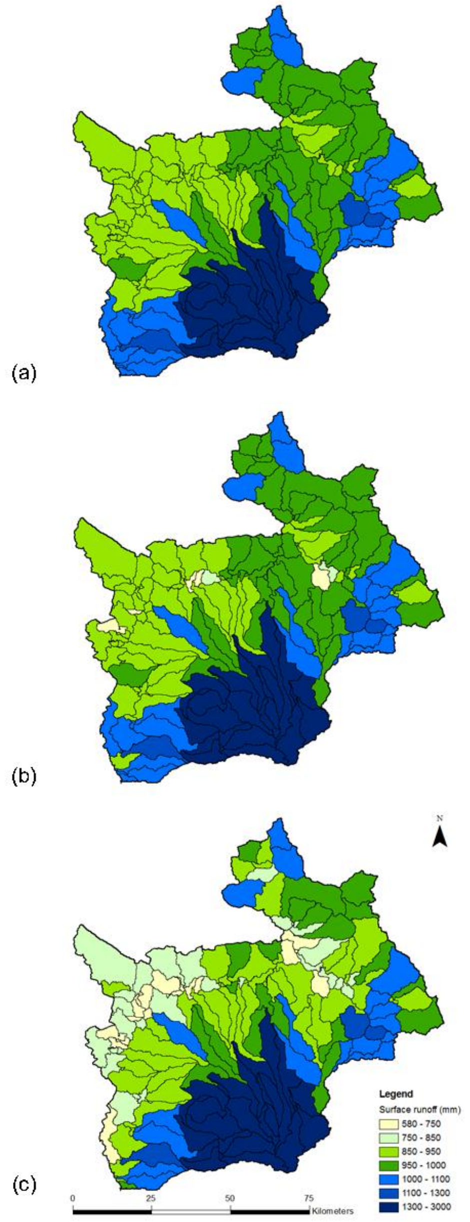


Figure 9 Outflow in sub-basin (a) without irrigation (b) current irrigation (c) full potential irrigation

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การวิเคราะห์บัญชีน้ำ (water accounting)

การวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดนใช้ข้อมูล 10 ปีระหว่างปี ค.ศ. 2001 ถึงปี ค.ศ. 2010 เป็นการวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำของสามกรณีศึกษาดังแสดงใน Table 2 ส่วนการวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีของลุ่มน้ำย่อย แสดงเฉพาะกรณีพิจารณามีการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้ในพื้นที่ชลประทานสภาพปัจจุบัน ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 10

2.1 กรณีพิจารณาการใช้น้ำฝนอย่างเดียว (without irrigation) ผลจากการวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน พบว่าปริมาณฝนเป็นที่มาของน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดซึ่งมีค่าประมาณ 15,600 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณส่วนที่ออกจากพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) มีปริมาณน้ำ 5,730 ล้าน ลบ.ม. โดยแยกได้เป็น ปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิตตามความต้องการของมนุษย์ (processed depletion) มีปริมาณน้ำ 1,580 ล้าน ลบ.ม. หรือเท่ากับ 27% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไป ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่เป็นปริมาณการคายระเหยน้ำของป่าไม้เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ครอบคลุมประมาณ 70% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในส่วน ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำนั้น มีปริมาณน้ำ 9,860 ล้าน ลบ.ม. โดยผลการวิเคราะห์ในกรณีพิจารณาใช้น้ำฝนอย่างเดียวพบว่าลุ่มน้ำเซโดนมีการใช้น้ำประมาณ 10% ของปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ (PFavailable)

2.2 กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเพิ่มในพื้นที่ปลูกข้าวสภาพปัจจุบัน (current irrigation) การวิเคราะห์บัญชีน้ำพบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) คิดเป็นปริมาณน้ำ 5,770 ล้าน ลบ.ม. ในส่วนนี้เป็นการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิต คิดเป็น 28% ของปริมาณน้ำที่สูญหายไป ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชเพิ่มขึ้นในพื้นที่ชลประทานในลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำมีปริมาณน้ำที่ลดลงจากเดิมเล็กน้อยเหลือ 9,800 ล้าน ลบ.ม. แสดงให้เห็นว่าการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้เพิ่มในพื้นที่ชลประทานตามสภาพปัจจุบันนั้น มีผลให้ลุ่มน้ำเซโดนมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2.3 กรณีพิจารณาให้มีการใช้น้ำชลประทานเต็มพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในลุ่มน้ำเซโดน (full potential irrigation) จากผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำพบว่าปริมาณของน้ำที่สูญหายไปจากลุ่มน้ำ (depletion water) มีปริมาณน้ำ 6,000 ล้าน ลบ.ม. หรือประมาณ 39% เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด โดยแยกเป็นปริมาณน้ำที่สูญหายไปโดยก่อให้เกิดผลผลิต มีค่าเท่ากับ 32% เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สูญหายไป ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มสูงขึ้นมากหากมีการดึงน้ำจากลำน้ำเซโดนมาใช้ และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำมีปริมาณลดลง เหลือ 9,500 ล้าน ลบ.ม. จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าลุ่มน้ำเซโดนจะมีการใช้น้ำเพิ่มเป็น 13% ของปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้

การจัดทำบัญชีน้ำโดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นส่วน เป็นการพิจารณาความแตกต่างของการใช้น้ำในแต่ละช่วงของลำน้ำ ซึ่งแยกพื้นที่เป็นสามส่วนประกอบด้วย พื้นที่เซโดนตอนบน ตอนกลาง และตอนล่าง ผลการวิเคราะห์กรณีพิจารณามีการดึงน้ำจากลำน้ำมาใช้เพิ่มในพื้นที่ชลประทานสภาพปัจจุบันของลุ่มน้ำเซโดน พบว่ามีการใช้น้ำที่ส่วนลุ่มน้ำตอนบนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ โดยสังเกตได้จากดัชนี PF(available) มีค่า 0.048 หรือมีการใช้น้ำไป 4.8% ของปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ ในส่วนลุ่มน้ำตอนกลาง พบว่าค่าดัชนี PF(available) มีค่า 0.095 กล่าวได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ และส่วนลุ่มน้ำตอนล่าง มีค่าดัชนี PF(available) มีค่า 0.110 ซึ่งมีการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นอีกของปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 2556 78

Table 2 Water accounting of three case studies in Sedone River Basin

Water accounting components	Without irrigation (MCM)	Current irrigation (MCM)	Full potential irrigation (MCM)
Gross inflow			
Precipitation	15,598.13	15,598.13	15,598.13
Net inflow	15,598.13	15,598.13	15,598.13
Depletive use			
Process depletion			
Evapotranspiration	1,586.90	1,627.46	1,944.46
Non-process depletion			
Beneficial (Forest evaporation)	4,148.93	4,148.93	4,148.93
Total depletion	5,735.83	5,776.39	6,093.39
Outflow			
Committed water	500.00	500.00	500.00
Uncommitted outflow	9,359.60	9,309.60	8,992.80
Total outflow	9,859.60	9,809.60	9,492.80
Available water	15,098.13	15,098.13	15,098.13
Indicator			
Depleted fraction (gross)	0.368	0.370	0.391
Depleted fraction (net)	0.368	0.370	0.391
Depleted fraction (Available)	0.371	0.383	0.404
Process fraction (Depleted)	0.270	0.282	0.320
Process fraction (Available)	0.105	0.110	0.130

Table 3 Water accounting at different parts of Sedone River (current irrigation)

Water accounting components	Upper Sedone (MCM)	Middle Sedone (MCM)	Lower Sedone (MCM)
Gross inflow			
Precipitation	2,181.32	10,705.33	15,598.13
Net inflow	2,181.32	10,705.33	15,598.13
Depletive use			
Process depletion			
Evapotranspiration	102.12	986.89	1,627.46
Non-process depletion			
Beneficial (Forest evaporation)	877.64	3,252.46	4,148.93
Total depletion	979.76	4,239.35	5,776.39
Outflow			
Committed water	40.00	350.00	500.00
Uncommitted outflow	1,160.10	6,110.90	9,309.60
Total outflow	1,200.10	6,460.90	9,809.60
Available water	2,141.32	10,355.33	15,098.13
Indicator			
Depleted fraction (gross)	0.449	0.396	0.370
Depleted fraction (net)	0.449	0.396	0.370
Depleted fraction (Available)	0.458	0.409	0.383
Process fraction (Depleted)	0.104	0.233	0.282
Process fraction (Available)	0.048	0.095	0.110

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

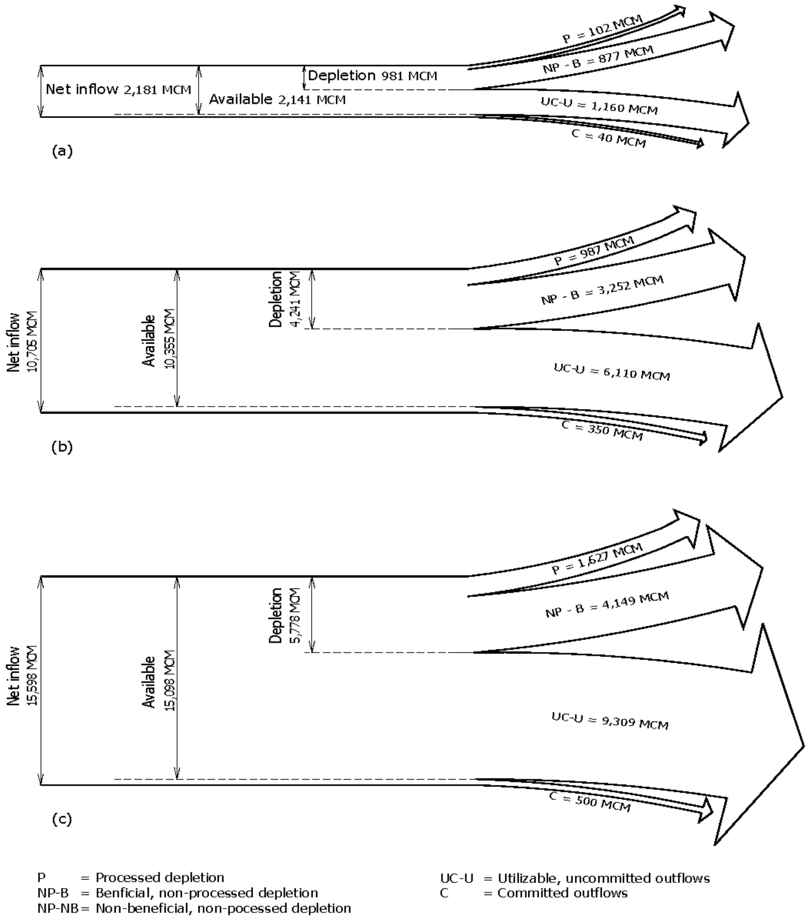


Figure 10 Water accounting in Sedone River Basin (current irrigation) (a) Upper Sedone (b) Middle Sedone (c) Lower Sedone

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ ได้ประยุกต์ใช้ผลจากแบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป ลาว โดยใช้ข้อมูล 10 ปีระหว่างปี ค.ศ. 2001 ถึงปี ค.ศ. 2010 จากการจำลอง โดยทำการสรุปผลตามหลักการของสมดุลน้ำของแต่ละลุ่มน้ำย่อย และนำผลไปทำการวิเคราะห์บัญชีน้ำรายปีของลุ่มน้ำ

แบบจำลอง SWAT สามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ของสมดุลน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อยได้ละเอียดถึงระดับ HRUs ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากการใช้น้ำของพืช และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำ ผลการจำลองในแต่ละกรณีพิจารณาที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลอง สามารถที่จะวิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำได้

จากผลการวิเคราะห์บัญชีน้ำ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำเซโดนมีปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ทั้งหมด 15,600 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี ปริมาณน้ำที่สูญหายไปคิดเป็น 37% ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกคิดเป็น 63% เทียบกับปริมาณน้ำไหลเข้าพื้นที่ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่ายังมีการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ยังมีน้อยอยู่ ผลจากการวิเคราะห์บัญชีลุ่มน้ำพบว่า

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจุบันลุ่มน้ำเซโดนอยู่ในสถานะเปิด (an open basin) กล่าวคือ มีทรัพยากรน้ำเหลือสำหรับการใช้น้ำที่เพิ่มได้อีก

แบบจำลอง SWAT ที่ใช้ร่วมกับข้อมูลระบบสานเทศภูมิศาสตร์ ช่วยให้การแสดงผลลัพธ์ทางกายภาพของลุ่มน้ำได้อย่างชัดเจน และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น แต่แบบจำลอง SWAT ยังมีข้อจำกัดในด้านการสรุปผล โดยแบบจำลองประเมินองค์ประกอบต่าง ๆ ของปริมาณน้ำเป็นรายวัน แต่การสรุปผลลัพธ์ของ HRUs เป็นข้อมูลแบบเฉลี่ยรายปี ดังนั้น จึงมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์บัญชี แบบรายเดือน และแบบรายฤดูกาลของลุ่มน้ำเซโดน

การกำหนดเงื่อนไขของแบบจำลอง SWAT ในการสร้างหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา HRUs ที่มีความละเอียดมากจะทำให้แบบจำลองคำนวณใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงของลุ่มน้ำ และยังเป็นส่วนสำคัญที่จะใช้วิเคราะห์พื้นที่ที่มีการใช้น้ำชลประทานของลุ่มน้ำ

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณมายัง ศูนย์นานาชาติสิรินธรเพื่อการพัฒนาการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสนับสนุนทุนสำหรับการศึกษานี้ และข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งและขอบคุณถึงทีมงานที่พัฒนาแบบจำลอง SWAT นี้เป็นอย่างสูงที่ได้นำเสนอเครื่องมือต่อการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2009. ยุทธศาสตร์การพัฒนาโครงร่างชลประทาน 2006-2010. กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรกรรม และป่าไม้. เวียงจันท์, สปป ลาว.

ไชยวัฒน์ เจริญจิระตระกูล. 2548. การวิเคราะห์บัญชีน้ำในโครงการชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไชยวัฒน์ เจริญจิระตระกูล และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2548. การวิเคราะห์บัญชีน้ำของโครงการชลประทานพลเทพ. ใน: การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 เล่ม 2 สาขาวิศวกรรมศาสตร์, 14 กุมภาพันธ์ 2548. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. น. 22-29.

สุวิทย์ อ๋องสมหวัง และ สุภักดิ์ กุลโท. 2556. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อผลปริมาณน้ำท่ากรณีศึกษาลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงลุงในลุ่มน้ำมูล.ม. 1-7. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกล และสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. ปีที่ 14. ฉบับที่ 1.

วิศิษฎ์ เกษรมาลา, เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, และ เจษฎา แก้วกัลยา. 2552. สมรรถภาพการบริหารจัดการน้ำของกลุ่มผู้ใช้น้ำในโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาเพชรบุรี. วิทยาสารกำแพงแสน. 7(3): 66-79.

วิโรจน์ กิมาลา และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2555. การประเมินปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำเซโดน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว.การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, ณ โรงแรม เซ็นทาราแกรนด์แอนคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ อุดรธานี.

วิโรจน์ กิมาลา และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2556. การวิเคราะห์บัญชีน้ำของลุ่มน้ำเซโดน สปป.ลาว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, ณ โรงแรมดิเอ็มเพลสเชียงใหม่.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย และ บัญชา ขวัญยืน. 2545. การจัดทำบัญชีน้ำในลุ่มน้ำแม่น้ำแม่กลอง. วิศวกรรมสาร มก. 46: 122 - 133.

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Arnold, J.G. and N. Fohrer. 2005. SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modeling. Hydrol. Process. 19(3): 563-572.

Ayana, A.B., D.C. Edossa and E. Kositsakulchai. 2012. Simulation of Sediment Yield using SWAT Model in Fincha Watershed, Ethiopia. Kasetsart J. 46(2): 283 – 297.

Behera, S. and R.K. Panda. 2006. Evaluations of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process model. Agric. Ecosyst. Environ. 113(1-4): 62-72.

Gassman, P.W., M.R. Reyes and C.H. Green. 2007. The Soil and Water Assessment Tool: historical development, applications, and the future research directions. Trans. ASABE. 50(4): 1211–1250.

Hoanh, C.T., J.R.Y. Kittipong, L.C.B. Guillaume and S.R. Vithet. 2010. Impacts of climate change and development on Mekong flow regime. First assessment - 2009. MRC Technical Paper No. 29. Mekong River Commission, Vientiane, Lao PDR.

Molden, D.1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute (IIMI), Colombo.

Molden, D., R. Sakthivadivel and Z. Habib. 2000. Basin level use and productivity of water, Examples from South Asia. IWMI Research Report 49. International Water Management Institute (IWMI), Colombo.

Peranginangin N., R. Sakthivadivel, N.R. Scott, E. Kendy and T.S. Steenhuis. 2003. Water accounting for conjunctive groundwater/surface water management: case of the Singkarak-Ombilin River basin, Indonesia. J. Hydrol. 205: 1 – 22

Shilpaker, R.L. 2003. Geo-information Procedures for Water Accounting: A Case of The East Rapti River Basin, Nepal. M.S. Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Netherlands.

Taesombut, V., K. Pongput, S. Aekaraj, S. Kaysavawng and E. Biltonen. 2002. Regional Study on the Development of Effective Water Management Institutions: A Case Study of the Bang Pakong River Basin, Thailand Research Fund (TRF), Bangkok.

Viloth, K. and E. Kositsakulchai. 2012. Estimation of Streamflow by SWAT Model in Sedone River Basin, LAO PDR. International Conference Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia, Thailand.

Received 28 August 2013
Accepted 20 December 2013

ภาคผนวก ข4 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

การเตรียมข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง SWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง SWAT

ส่วนของการประเมิน น้ำฝน-น้ำท่า ด้วยแบบจำลอง SWAT มีเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้า 2 รูปแบบ คือ รูปแบบแลกคือการเตรียมข้อมูลภูมิศาสตร์ (raster) เชิงพื้นที่แบบ (grid) และรูปแบบที่สองคือการเตรียมข้อมูลที่เป็นตาราง (table)แบบ(dbf) โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ในการเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูล DEM (Digital Elevation Model)

ข้อมูล DEM เป็นการเตรียมข้อมูลภูมิศาสตร์ (raster) เชิงพื้นที่แบบ (grid) เพื่อไปวิเคราะห์หาทิศทางการไหลระบบของโครงข่ายลำน้ำของลุ่มน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำ (basin) และพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (sub-basin) ซึ่งใช้ระบบอ้างอิงทางภูมิศาสตร์คือ WGS 1984 UTM Zone 48N สำหรับลุ่มน้ำเซโดน

2. การเตรียมข้อมูลการใช้ที่ดิน (land use)

ข้อมูลการใช้ที่ดิน land use เป็นการเตรียมข้อมูลภูมิศาสตร์ (raster) เชิงพื้นที่แบบ (grid) และจะต้องเตรียมเพิ่มเติมคือ Look up table ที่เป็น Dbase file ที่เก็บค่า Value กับอักษร 4 ตัวที่อยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง SWAT ต้องการ ดังตารางผนวกที่ ค1 และการเตรียมสามารถทำได้ในโปรแกรม OpenOffice

ตารางผนวกที่ ค1 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางการใช้ที่ดิน

VALUE	LANDUSE
1	FRSE
2	FRST
3	RICE
4	AGRL
5	RNGE
6	PAST
7	URBN
8	WATR

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเตรียมข้อมูลชนิดของดิน (soil class)

ข้อมูลดิน Soil Class ก็จัดเตรียมเหมือนกับข้อมูล Land use และจะต้องเตรียมเพิ่มเติมคือ Look up table ที่เป็น Dbase file ที่เก็บค่า Value กับตัวอักษรที่แทนค่าตัวเลขให้มีความหมายตามชนิดของดิน ที่มีอยู่ในตาราง Database และจัดให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง SWAT ต้องการ ดังตารางผนวกที่ ค2 และการเตรียมสามารถทำได้ในโปรแกรม OpenOffice

ตารางผนวกที่ ค2 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางชนิดของดิน

VALUE	NAME
1	CLAYLOAM
2	SANDLOAM
3	LOAMSAND
4	LOAM
5	CLAY

4. การเตรียมข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (weather data)

4.1 ข้อมูลภูมิอากาศ (climate data) ที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT มีอยู่ 5 ชนิด คือ 1) ปริมาณฝน ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น มิลลิเมตร 2) อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น องศาเซลเซียส 3) พลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมกะจูนต่อวัน 4) ความเร็วลม ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที ยกกำลังสอง 5) ความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เปอร์เซนต์ การเตรียมข้อมูลทั้ง 5 ชนิดข้อมูลนั้น จะต้องเตรียมตารางข้อมูลให้กับข้อมูลแต่ละชนิดนั้น 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

4.1 ข้อมูล (location file)

ซึ่งรูปแบบ ของ Location file เป็นตารางข้อมูลที่เก็บ ชื่อของไฟล์ข้อมูล ตำแหน่งพิกัด X, Y และค่าระดับ (elevation, MSL.) ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ดังตารางผนวกที่ ค3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค3 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางเชิงตำแหน่ง (localtion file)

ID	NAME	XPR	YPR	ELEVATION
1	Khons	585778	1721164	122
2	Pakse	584171	1671380	102
3	Pakso	632488	1678977	1500
4	Sarav	655375	1737206	168

4.2 ตารางข้อมูล (data file)

รูปแบบ ของ Data file เป็นตารางข้อมูลที่เก็บข้อมูล ของสถานีวัดข้อมูลนั้น ๆ จัดเรียงเป็นช่อง ช่องที่ 1 คือ วันที่ และช่องที่ 2 คือค่าตัวเลข เรียงไปจนครบตลอดช่วงที่มีข้อมูล 1 วัน มีค่า 1 ค่า

1) ตารางข้อมูลฝน ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น มิลลิเมตร ช่องที่ 1 : DATE ช่องที่ 2 : PCP และการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ค4 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางฝน

DATE	PCP
1/1/2011	0.00000
2/1/2011	0.00000
3/1/2011	0.00000

2) ตารางข้ออุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น องศาเซลเซียส ช่องที่ 1 : DATE ช่องที่ 2 : MAX และช่องที่ 3 : MIN การตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ค5 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด

DATE	MAX	MIN
1/1/2011	00000	00000
2/1/2011	00000	00000
3/1/2011	00000	00000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3) ตารางข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมกะจูนต่อวัน ช่องที่ 1 : DATE และช่องที่ 2 : SLR และการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ค6 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางพลังงานแสงอาทิตย์

DATE	SLR
1/1/2011	00000
2/1/2011	00000
3/1/2011	00000

4) ตารางข้อมูลความเร็วลม ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที ยกกำลังสองช่องที่ 1 DATE และช่องที่ 2 : WND และการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ค7 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางความเร็วลม

DATE	WND
1/1/2011	00000
2/1/2011	00000
3/1/2011	00000

5) ตารางข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็นเปอร์เซนต์ ช่องที่ 1 DATE และช่องที่ 2 : HMD การตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ค8 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางความชื้นสัมพัทธ์

DATE	HMD
1/1/2011	00000
2/1/2011	00000
3/1/2011	00000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ง

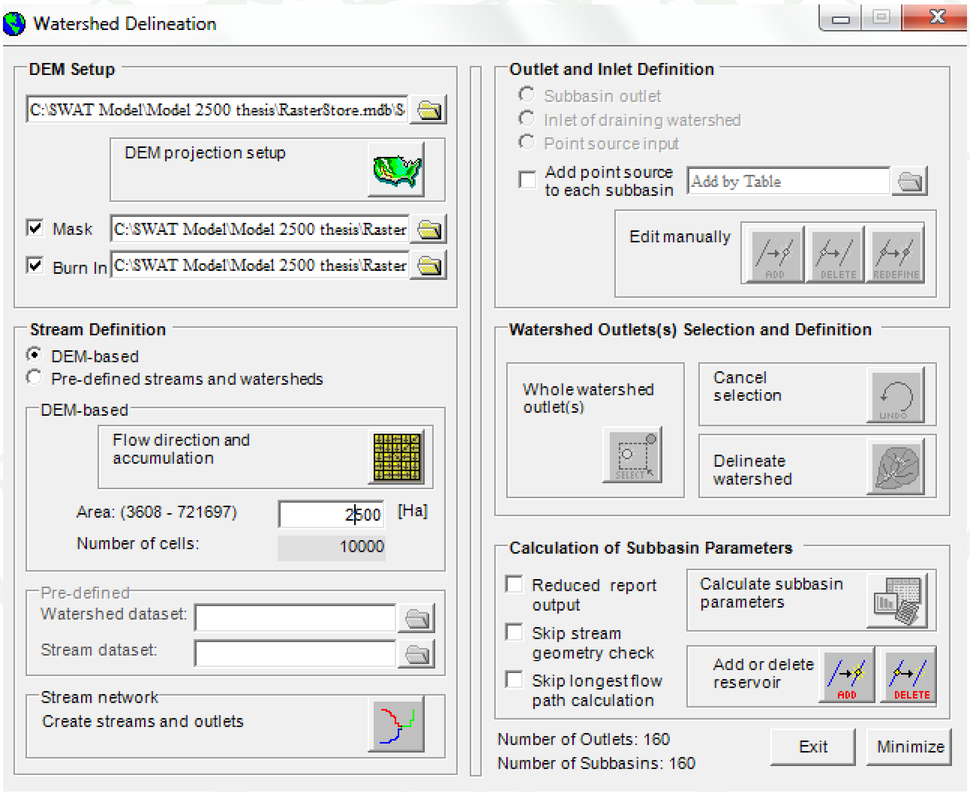
ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง SWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง SWAT

1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed delineator)

1.1) DEM Setup เป็นการนำเข้าข้อมูล DEM 1.2) Stream Definition เป็นส่วนของการประมวลผลหา flow direction และ flow accumulation 1.3) Stream network เป็นการสร้างโครงข่ายเส้นลำน้ำ 1.4) Watershed Outlets(s) Selection and Definition เป็นการกำหนดจุดออกของเส้นทางน้ำเพื่อสร้างขอบเขตลุ่มน้ำย่อย 1.5) Calculation of Subbasin Parameters เป็นการประมวลผลค่าพารามิเตอร์ของลุ่มน้ำย่อย

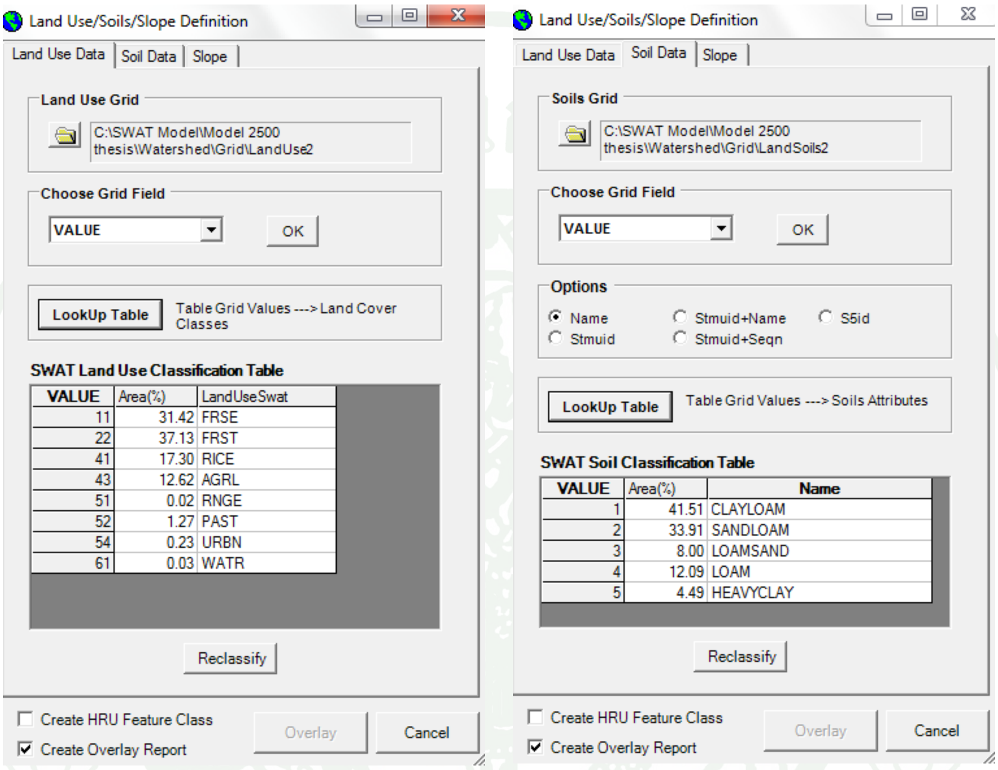


ภาพผนวกที่ ง1 การกำหนดพื้นหนดพื้นที่ลุ่มน้ำของโปรแกรม ArcSWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU analysis)

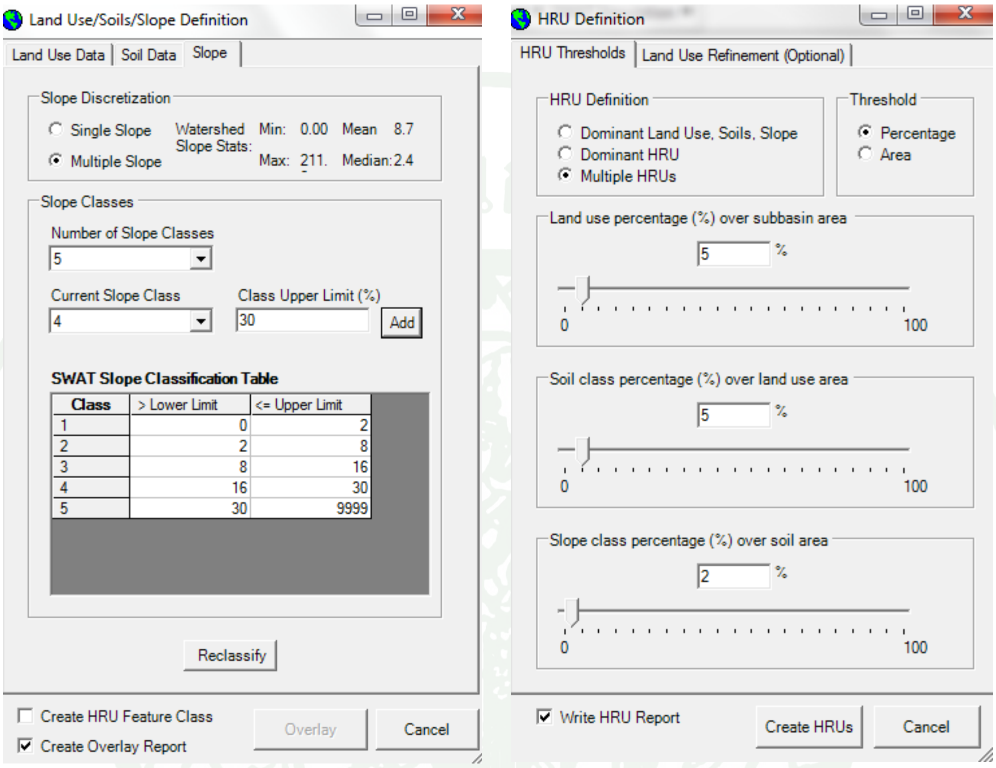
2.1 Land use and Soil definition เป็นการกำหนดค่าการใช้ที่ดินและกำหนดค่าดินโดยการนำเข้าข้อมูลทั้งที่เป็นกริดและตารางที่กำหนดรหัสตามฐานข้อมูลการใช้ที่ดินแบบจำลอง SWAT



ภาพผนวกที่ ง2 การกำหนด Land use definition and soil definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 Slope Definition เป็นการกำหนดค่าความชันของพื้นที่โดยสามารถกำหนดเป็นเปอร์เซนต์ของพื้นที่ได้ และ HRU Definition เป็นการกำหนดเปอร์เซนต์ความสำคัญของการใช้ที่ดิน ชนิดดิน และความชันเพื่อกำหนดเป็นหนึ่งหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRHs)

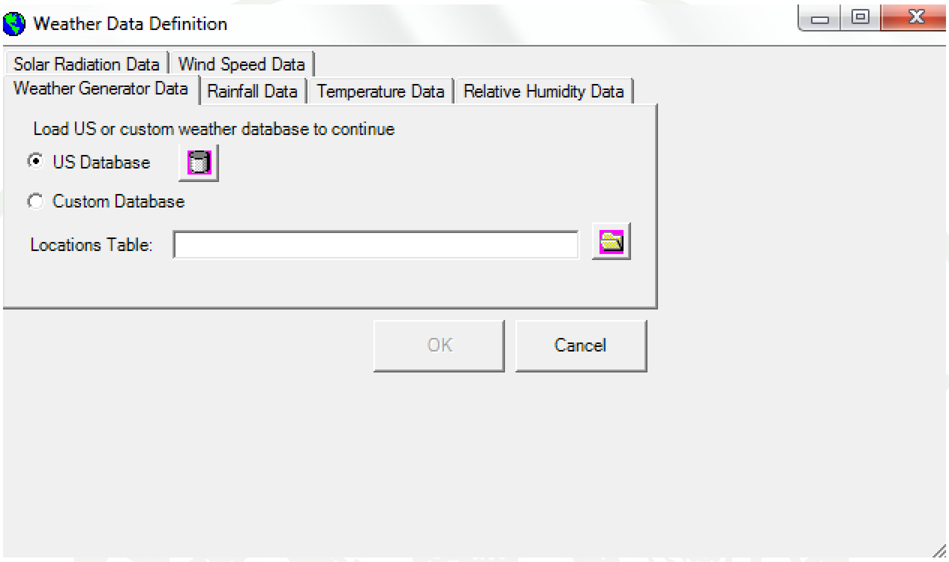


ภาพผนวกที่ ง3 การกำหนด Slope definition and HRU definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. นำเข้าข้อมูลตาราง (write input table)

3.1 Weather data definition เป็นการกำหนดข้อมูลสภาพอากาศโดยการใส่ข้อมูลที่เป็นตารางแสดงตำแหน่งของสถานีตรวจอากาศ สถานีวัดน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ พลังงานแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ดังภาพผนวกที่

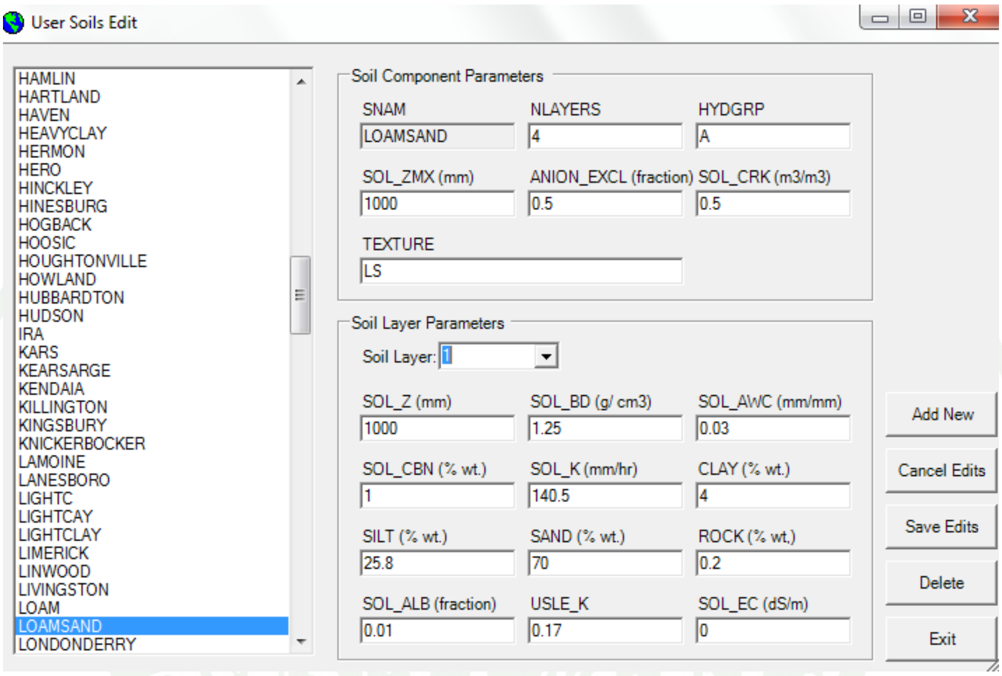


ภาพผนวกที่ ง4 การนำเข้าข้อมูล Weather data definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. การแก้ไขฐานข้อมูลนำเข้า (edit SWAT input)

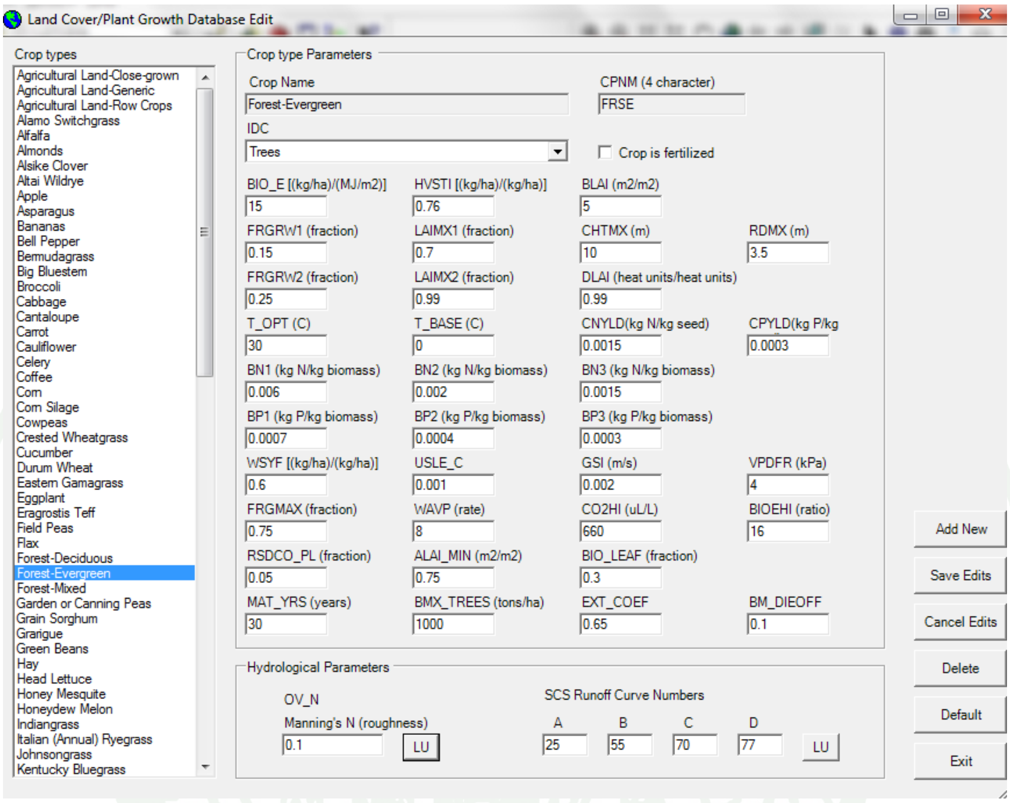
4.1 การแก้ไขฐานข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง ซึ่งในการศึกษานี้ได้เพิ่มรายละเอียดคุณสมบัติของชนิดดิน (user soil edit)



ภาพผนวกที่ ง5 การกำหนด User soil edit

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

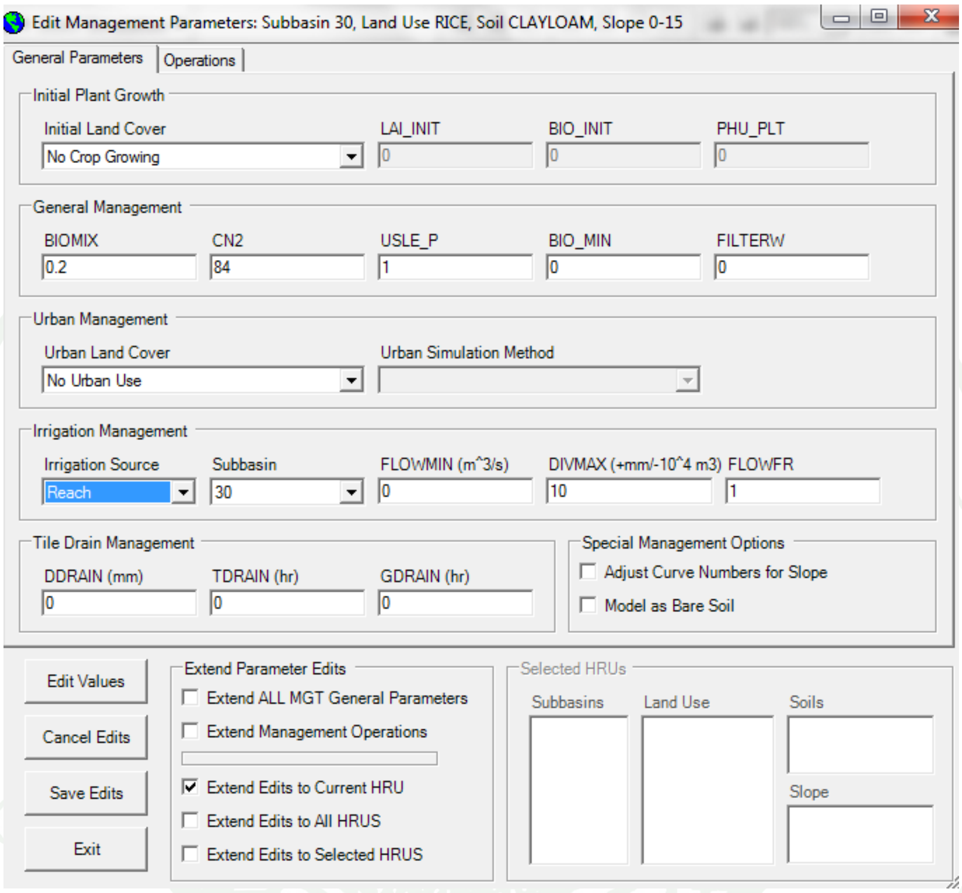
4.2 การแก้ไขฐานข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง ซึ่งในการศึกษานี้ได้เพิ่มรายละเอียดของชนิด land cover edit



ภาพผนวกที่ ง6 การกำหนด Land cover edit

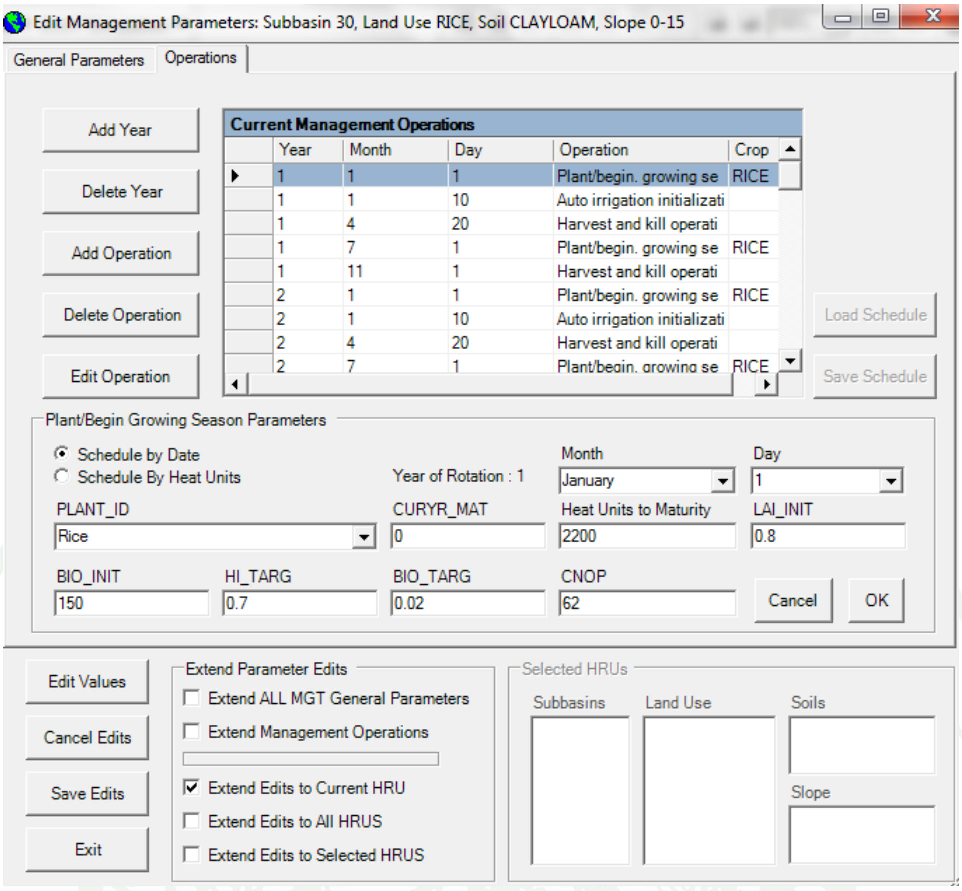
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 การแก้ไขฐานข้อมูลนำเข้าแบบจำลองedit management parameter ซึ่งการศึกษานี้ได้พิจารณาการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ปลูกข้าวของลุ่มน้ำโดยการวิเคราะห์จากพื้นปลูกข้าวของข้อมูลของการใช้ประโยชน์ที่ดินในส่วน HRUs



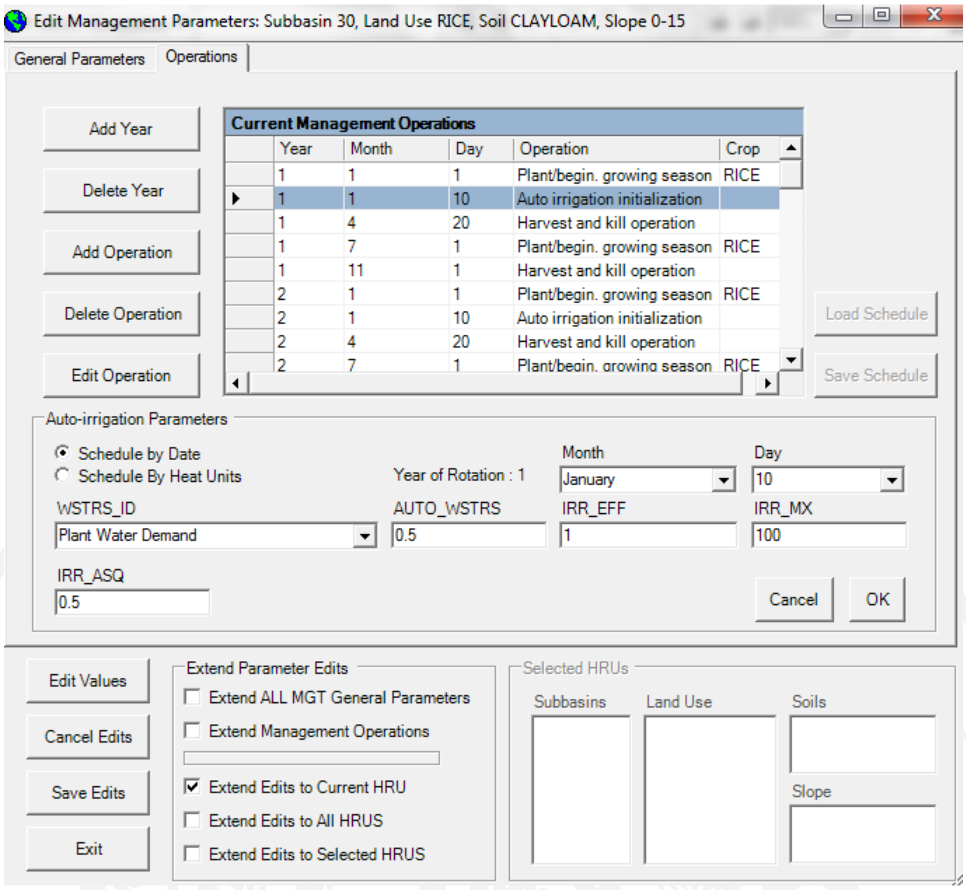
ภาพผนวกที่ ง7 การกำหนด Edit general watershed parameter

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



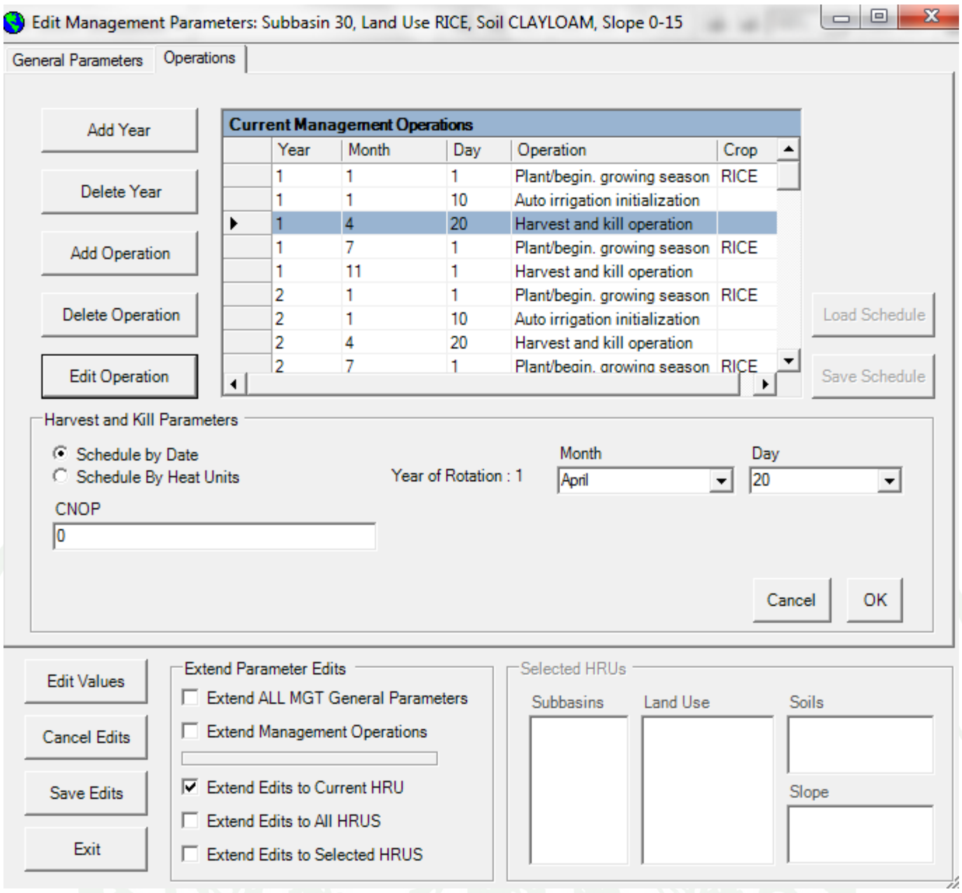
ภาพผนวกที่ ง8 การกำหนด Plant/begin. growing season

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง9 การกำหนด Auto irrigation initialization

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

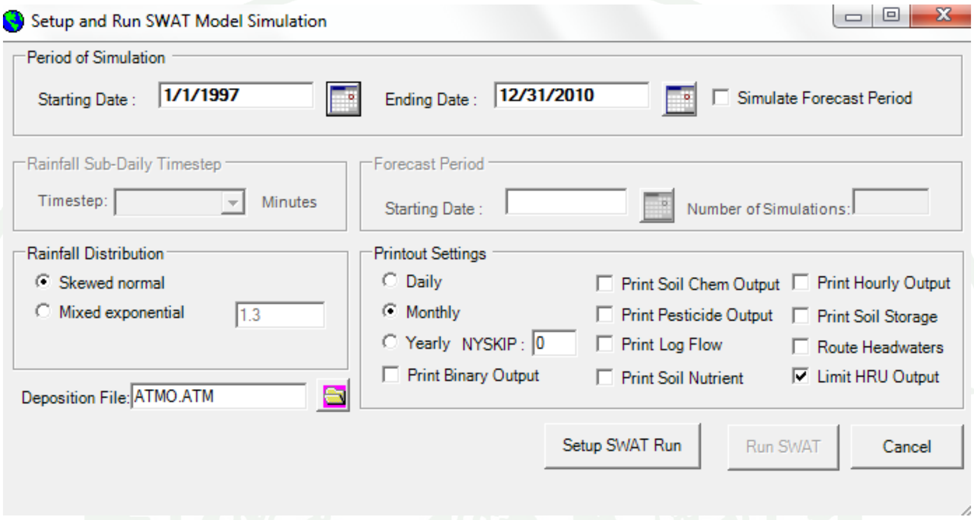


ภาพผนวกที่ ง10 การกำหนด Havest and kill operation

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การรันแบบจำลอง (SWAT simulation)

ขั้นตอนการสั่งให้มีการคำนวณค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่นำเข้าไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า โดยประมวลผลเป็นรายวัน แล้วให้ผลออกมาเพื่อนำมาสรุปเป็นรายเดือน



ภาพผนวกที่ ง11 การ Setup and run SWAT model simulation

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายวิโรจน์ กิมาลา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 22 มีนาคม 1976
สถานที่เกิด	จำปาสัก (สปป ลาว)
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยแห่งชาติ สปป ลาว ปี ค.ศ. 2001 ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยโฮจิมินห์ สส เวียดนาม ปี ค.ศ. 2006
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยจำปาสัก สปป ลาว
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนศูนย์นานาชาติสิรินธรเพื่อการพัฒนาการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พ.ศ. 2551-2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์