สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

การประเมินความเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดิน

การประเมินความเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดิน

การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อความเสื่อมโทรมเชิงพื้นที่สำหรับโครงการวิจัย ฯ นี้ เป็นการประเมินการสูญเสียดินเชิงพื้นที่เพิ่มเติมจากโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 1 ที่มีเพียงจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน (เมธี และคณะ, 2548) โดยเพิ่มในส่วนของพื้นที่จังหวัดลำปาง และพะเยา เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการตัดสินใจวางแผนการจัดการทรัพยากรทางเกษตร ในระดับลุ่มน้ำสาขา โดยโปรแกรม "รสทก" ซึ่งได้พัฒนาและปรับปรุงกระบวนวิเคราะห์เพื่อให้ครอบคลุมถึงการนำข้อมูลเชิงพื้นที่บางประเภท ที่มีผลกระทบต่อการประเมินการสูญเสียดินมาประกอบการประมาณค่า โดยเฉพาะข้อมูลแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่มีส่วนในการกำหนดค่าการสูญเสียดินที่จะเกิดขึ้น

แนวทางการศึกษา

การประเมินความเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดิน สามารถดำเนินการได้หลายแนวทาง ขึ้นกับปริมาณและคุณภาพของข้อมูลที่มีอยู่ ตลอดจนความแม่นยำของผลการประเมิน การประมาณการสูญเสียดินโดยสมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการประเมินการสูญเสียดินระยะยาวที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย (Wischmeier and Smith, 1978) โดยได้พัฒนานำมาประยุกต์ใช้และปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และปริมาณข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัดได้เป็นอย่างดี (Sonneveld and Nearing, 2002; Tran et al., 2002) โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แนวทางของสมการการสูญเสียดินสากลมาประยุกต์ใช้ในการประเมินสภาพความเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดินเชิงพื้นที่ ค่าการสูญเสียดินในพื้นที่สามารถประมาณได้จากผลคูณของปัจจัยดังกล่าวโดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานดังสมการที่ 3

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

โดยที่ A = ปริมาณการสูญเสียดิน (ตัน/เฮกตาร์/ปี)

R = ผลของความรุนแรงของฝน ประมาณจากสมการสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับผลของความรุนแรงของฝนที่พัฒนาขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

K = ความง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย กำหนดจากข้อมูลชุดดินประกอบกับการตรวจเอกสารการชะล้างพังทลายดินในประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

LS = ผลของระยะทางลาดและความลาดชัน

C = ผลจากการคลุมดินของพืชพรรณ ได้จากกำหนดจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินตามเอกสารการชะล้างพังทลายดินในประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

P = ผลของมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ กำหนดค่าให้เท่ากับ 1.0 ตามสมมติฐานที่ว่ายังไม่มีระบบมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่

การประมาณค่าการสูญเสียดิน

ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นถูกนำมาใช้ในการประมาณค่า โดยคำนึงถึงการเคลื่อนย้ายของตะกอนที่ออกจากพื้นที่ ลุ่มน้ำสาขาจึงเป็นพื้นที่เป้าหมายสำหรับการประมาณค่าโดยวิธีการนี้ แผนที่ลุ่มน้ำสาขาสร้างจากแบบจำลองภูมิประเทศเชิงตัวเลขค่าความสูงต่อเนื่อง และครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด จากกิจกรรมที่ 1 ของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ถูกกำหนดเป็นพื้นที่เป้าหมายสำหรับการประมาณค่าครั้งนี้ การประมาณค่าการสูญเสียดินดำเนินการโดยใช้โปรแกรมการประเมินการสูญเสียดินสุทธิ "WaTEM/SEDEM" (Water and Tillage Erosion Model/Sediment Delivery Model) ที่พัฒนาโดย Oost et al. (2000), Rompaey et al. (2001) และ Verstraeten et al. (2002) โดยนำปัจจัยการเรียงตัว (Landscape structure) ของการใช้ประโยชน์ที่ดินมาร่วมในการประมาณค่า นอกจากนั้นยังใช้การคำนวณการไหลของน้ำต่อเนื่องเพื่อกำหนดลักษณะการเคลื่อนย้ายของตะกอน (Sediment transport index) ในพื้นที่ การประมาณค่าโดยวิธีการนี้สามารถระบุตำแหน่งที่มีการพังทลายดิน (Erosion) และการทับถม (Deposition) ของตะกอนตลอดจนสามารถประมาณตะกอนที่ออกสู่พื้นที่ลุ่มน้ำสาขาได้โดยคำนึงถึงผลกระทบของตำแหน่งแหล่งน้ำที่ทำหน้าที่ดักตะกอนในพื้นที่ ซึ่งได้แก่ ฝาย อ่างเก็บน้ำ และเขื่อน

ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับการประเมินความเสื่อมโทรมดิน

ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่จำเป็นต่อการประมาณค่าการสูญเสียดิน โดยใช้โปรแกรมการประเมินการสูญเสียดินสุทธิ "WaTEM/SEDEM" ประกอบด้วยชั้นข้อมูลความรุนแรงของฝน ความคงทนของดิน ระยะทางลาดและความลาดชัน การจัดการดินและพืช การจัดเรียงตัวของการใช้ประโยชน์ที่ดิน และตำแหน่งอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ โดยมีขั้นตอนการเตรียมชั้นข้อมูลดังกล่าวเพื่อการประมาณการสูญเสียดินดังต่อไปนี้

ชั้นข้อมูลความรุนแรงของฝน

ชั้นข้อมูลความรุนแรงของฝนเชิงพื้นที่ ได้จากการสร้างชั้นข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันย้อยหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2519 – 2549) โดยการประมาณค่า

น้ำฝนต่อเนื่องจากสถานีวัดน้ำฝนที่กระจายตัวในพื้นที่เป้าหมายแบบ Thin Plate Spline ที่ดำเนินการเสร็จสิ้นจากกิจกรรมที่ 1 ของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System, GIS) ตามสมการสหสัมพันธ์ที่พัฒนาโดยกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

ชั้นข้อมูลความคงทนของดิน

ชั้นข้อมูลความคงทนของดินเชิงพื้นที่ ได้จากการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างชั้นข้อมูลกลุ่มชุดดินที่ได้จากกิจกรรมที่ 1 ของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ กับความคงทนของดินตามตารางที่แสดงค่า K ของกลุ่มชุดดินที่จำแนกตามภูมิภาคของประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

ชั้นข้อมูลความสูงต่อเนื่อง

ได้จากการนำผลของการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศเชิงตัวเลขค่าความสูงต่อเนื่อง (DEM) จากข้อมูลเส้นชั้นความสูง ในกิจกรรมที่ 1 ของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ มาปรับปรุงโดยการกลบหลุม (Fill Sink) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนของข้อมูลความสูงต่อเนื่องที่มีผลต่อการประมาณปัจจัยความลาดชันและความยาวความลาดเท และประมาณค่าปัจจัยดังกล่าวเชิงพื้นที่โดยโปรแกรม USLE2D ที่พัฒนาโดย Desmet and Govers (1996)

ชั้นข้อมูลการจัดการดินและพืช

ชั้นข้อมูลการจัดการดินและพืชได้จากการประเมินแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2544 เพื่อกำหนดค่าปัจจัยตามตารางค่า C และ P ที่ประเมินตามชนิดพืชและการใช้ประโยชน์ที่ดินในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

ชั้นข้อมูลการจัดเรียงตัวของการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ได้จากข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2544 ที่ทำการการยุบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีลักษณะเดียวกันและมีพื้นที่ติดกัน ให้เป็นหน่วยของการใช้ประโยชน์เดียวกัน

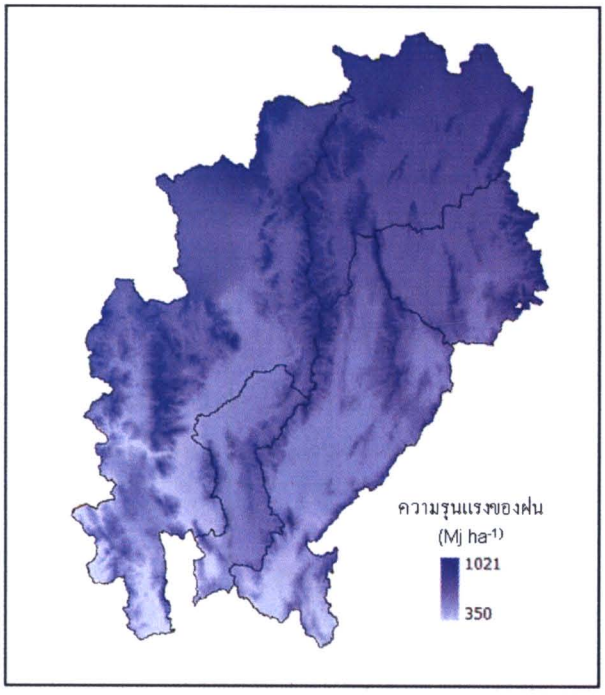
ชั้นข้อมูลตำแหน่งอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่

ได้จากการกำหนดตำแหน่งฝาย เขื่อน และอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในพื้นที่เป้าหมายจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และการสำรวจข้อมูลมือสองจากหน่วยงานกรมชลประทาน และทำการเลือกเฉพาะอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไร่ขึ้นไป เพื่อใช้ในการประมาณค่าการสูญเสียดิน

ผลการศึกษา

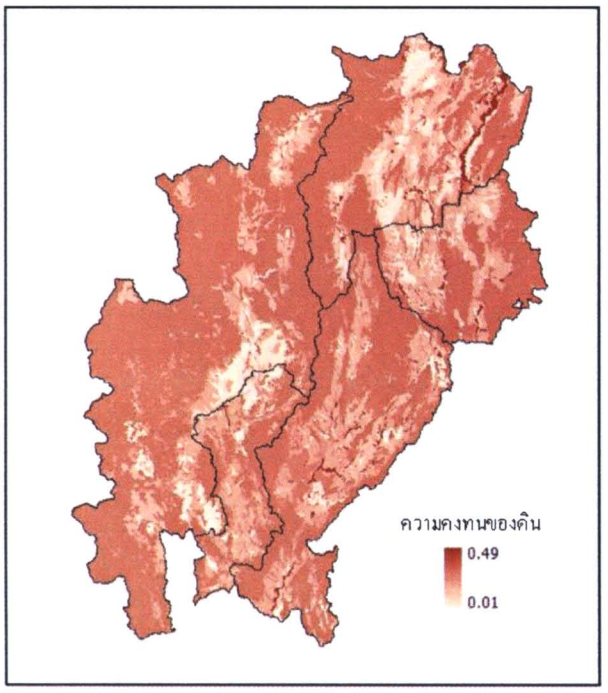
ผลการประมาณค่าการสูญเสียดิน

ผลจากการประมาณค่าการสูญเสียดินเชิงพื้นที่ทำให้สามารถสร้างแผนที่ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียดินเพื่อพัฒนาเป็นฐานข้อมูลสภาพความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินได้ โดยพบว่าในพื้นที่ 5 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง และพะเยา มีค่าผลของความรุนแรงของฝน (Erosivity) อยู่ระหว่าง 350–1,201 เมกะจูน/เฮกตาร์ (รูปที่ 43) ซึ่งแนวโน้มของค่าความรุนแรงสูง ส่วนใหญ่พบในพื้นที่ของจังหวัดเชียงรายและลงมายังจังหวัดลำพูน โดยจะแปรปรวนตามปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีของแต่ละพื้นที่



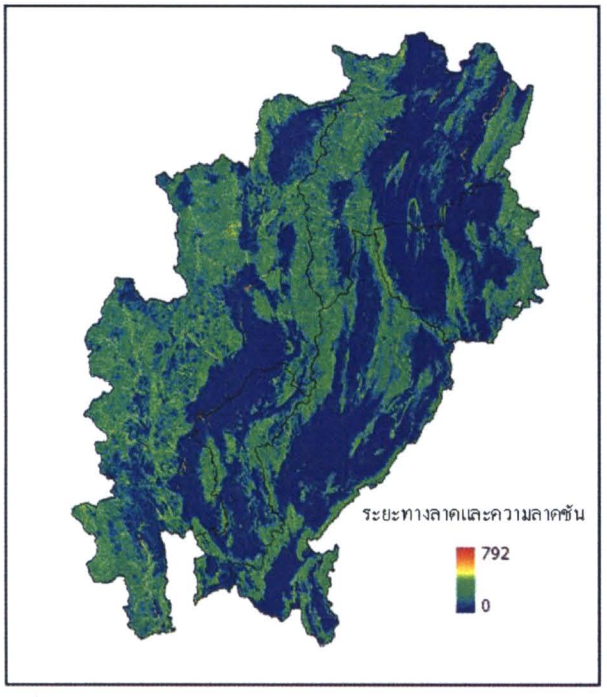
รูปที่ 43 ความรุนแรงของฝนในพื้นที่ศึกษา

การประมาณค่าความง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย (K) ของดินในพื้นที่ 5 จังหวัด พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.01–0.49 (รูปที่ 44) พื้นที่ที่มีค่า K สูง ดินมีโอกาสเสื่อมโทรมได้รุนแรงกว่าพื้นที่ที่มีค่า K ต่ำ



รูปที่ 44 ค่าความง่ายของดินต่อการถูกชะล้างพังทลายในพื้นที่ศึกษา

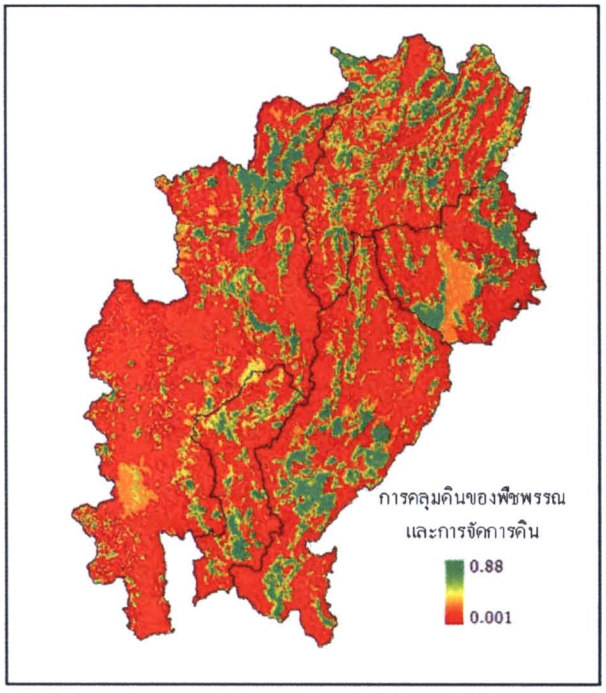
การประมาณค่าผลของระยะทางลาดและความลาดชันในพื้นที่ศึกษา พบว่าจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 - 792 (รูปที่ 45) โดยพบค่าระยะทางลาดและความลาดชันที่สูงบนพื้นที่ภูเขาที่มีความลาดชันสูงบริเวณรอบๆ ตัวจังหวัดทั้ง 5 จังหวัด ซึ่งพื้นที่เหล่านี้จะมีแนวโน้มที่ก่อให้เกิดสภาพความเสื่อมโทรมของพื้นที่ที่รุนแรงกว่าพื้นที่ราบ



รูปที่ 45 ผลของระยะทางลาดและความลาดชันต่อการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ศึกษา

การประมาณค่าการคลุมดินของพืชพรรณและการจัดการดิน พบว่ากระจายของค่าผลการคลุมดินของพืชพรรณและมาตรการจัดการดินในพื้นที่ 5 จังหวัด อยู่ระหว่าง 0.001 - 0.88

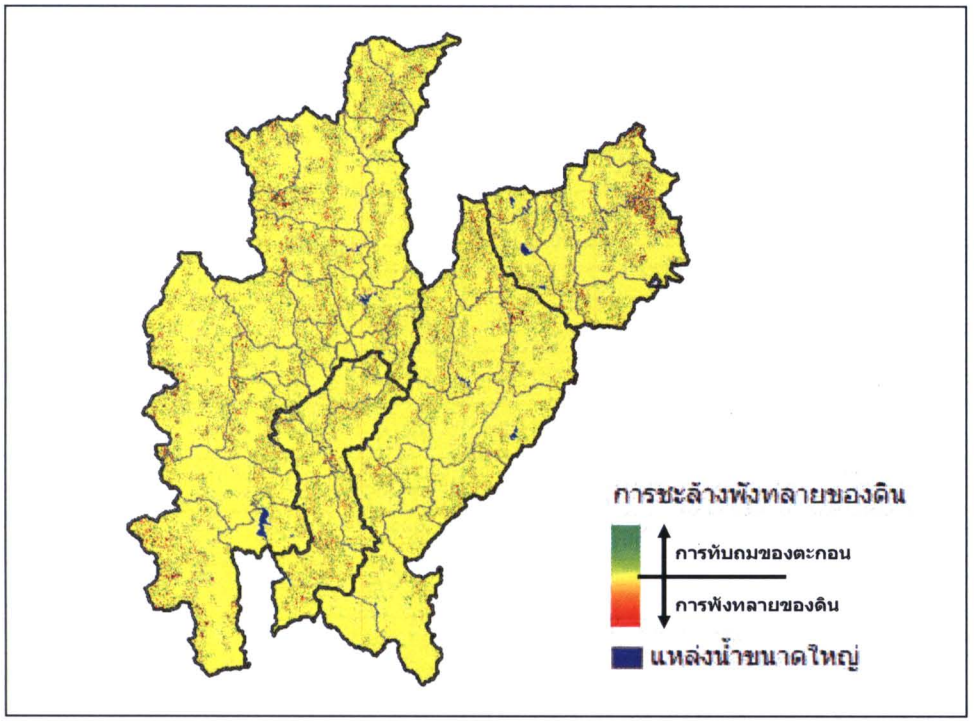
(รูปที่ 46) โดยค่าที่สูงพบในพื้นที่ที่มีทำการเกษตร ซึ่งจะมีแนวโน้มต่อสภาพความเสื่อมโทรมของที่ดินที่รุนแรง



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 46 การคลุมดินของพืชพรรณและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่ศึกษา

ผลจากการประมาณค่าการสูญเสียดินในพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลที่พัฒนาจากข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำให้สร้างแผนที่การกระจายตัวของปริมาณการสูญเสียดินได้ในพื้นที่เป้าหมาย ดังรูปที่ 47



รูปที่ 47 แผนที่ความเสี่ยงด้านความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินในลุ่มน้ำสาขา

จากแผนที่การประจายตัวเชิงพื้นที่ของความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดิน ตามขอบเขตลุ่มน้ำสาขาดังรูปที่ 5 เมื่อทำการตรวจสอบพบว่าการกระจายตัวของการชะล้างพังทลายของดินขึ้นอยู่กับลักษณะของลุ่มน้ำในพื้นที่ เนื่องจากลุ่มน้ำแต่ละลุ่มน้ำมีความลาดชันและคุณสมบัติดินที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดลักษณะการทับถมของตะกอนและการชะล้างพังทลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาทั้งสองลักษณะตามขอบเขตลุ่มน้ำสาขาสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าความเสี่ยงด้านความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดิน

	การสูญเสียดิน (ตันต่อไร่ต่อปี)			
ชื่อลุ่มน้ำสาขา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ห้วยแม่สา	0.00	0.00	0.000000	0.00
น้ำแม่ริด	-35.77	20.95	0.000096	1.27
แม่น้ำโขงตอนบน	-35.77	20.95	0.002161	1.23
น้ำแม่จัน	-35.77	20.95	0.000786	1.74
แม่น้ำอิงตอนบน	-11.47	10.74	0.000005	0.43
แม่น้ำอิงตอนกลาง	-14.96	12.64	0.000000	0.43
แม่น้ำพุง	-15.84	14.69	0.000106	0.58
แม่ลาว	-25.20	18.67	-0.000305	1.04
แม่น้ำอิงตอนล่าง	-25.86	15.72	0.001234	0.91
แม่น้ำโขงส่วนที่2	-25.29	20.95	0.000369	1.69
น้ำแม่กก	-31.08	16.47	0.000122	1.07
น้ำแม่ฝาง	-17.39	16.32	0.000045	0.79
น้ำแม่ลาว	-22.13	15.88	0.000191	1.14
น้ำแม่สรวย	-23.52	15.50	-0.000003	1.88
น้ำแม่กกตอนล่าง	-19.23	13.28	0.000231	0.81
แม่น้ำปิงตอนบน	-21.08	16.51	0.000064	0.63
น้ำแม่งัด	-19.14	14.12	0.003846	0.54
แม่น้ำแม่แตง	-25.30	20.95	0.000619	1.29
แม่น้ำปิงส่วนที่2	-21.12	13.98	0.000125	0.56
น้ำแม่ริม	-20.69	13.52	0.000048	0.95
น้ำแม่กวง	-27.80	16.79	0.002459	0.56
น้ำแม่ขาน	-20.70	16.74	0.000077	0.74
น้ำแม่ลี้	-21.36	14.12	0.000028	0.56
น้ำแม่กลาง	-18.73	14.27	-0.000086	0.94
แม่น้ำปิงส่วนที่3	-25.95	17.96	0.001364	0.51
น้ำแม่แจ่มตอนบน	-25.30	15.54	0.000227	0.83
น้ำแม่แจ่มตอนล่าง	-40.10	20.95	0.000648	0.91

น้ำแม่หาด	-14.80	11.31	0.000467	0.38
น้ำแม่ตื่น	-25.30	20.95	0.000142	0.86
แม่น้ำวังตอนบน	-16.29	14.43	-0.000007	0.62
น้ำแม่สวย	-15.73	14.95	0.000239	0.73
น้ำแม่จาง	-11.97	12.38	0.000001	0.43
น้ำแม่ต๋ำ	-11.46	11.68	-0.000028	0.42
แม่น้ำวังตอนล่าง	-40.10	20.95	-0.000013	0.40
แม่น้ำยมตอนบน	-12.13	16.06	-0.000112	0.71
แม่น้ำควน	-29.63	18.06	0.000313	0.77
น้ำปี้	-25.29	20.67	0.000149	0.42
แม่น้ำงาว	-15.90	13.29	-0.000114	0.64
น้ำแม่หมอก	-13.12	11.92	0.000028	0.33
น้ำแม่รำพัน	0.00	0.00	0.000000	0.00
น้ำแม่ตุ๋ย	-12.85	11.54	-0.000230	0.33
น้ำแม่วังตอนกลาง	-22.66	13.97	0.000095	0.34
น้ำแม่เงา	-35.76	20.95	0.007214	1.69

หมายเหตุ *เครื่องหมาย – หมายถึงพื้นที่ที่มีการสูญเสียดิน*
เครื่องหมาย + หมายถึงพื้นที่ที่มีการทับถมของตะกอนดิน

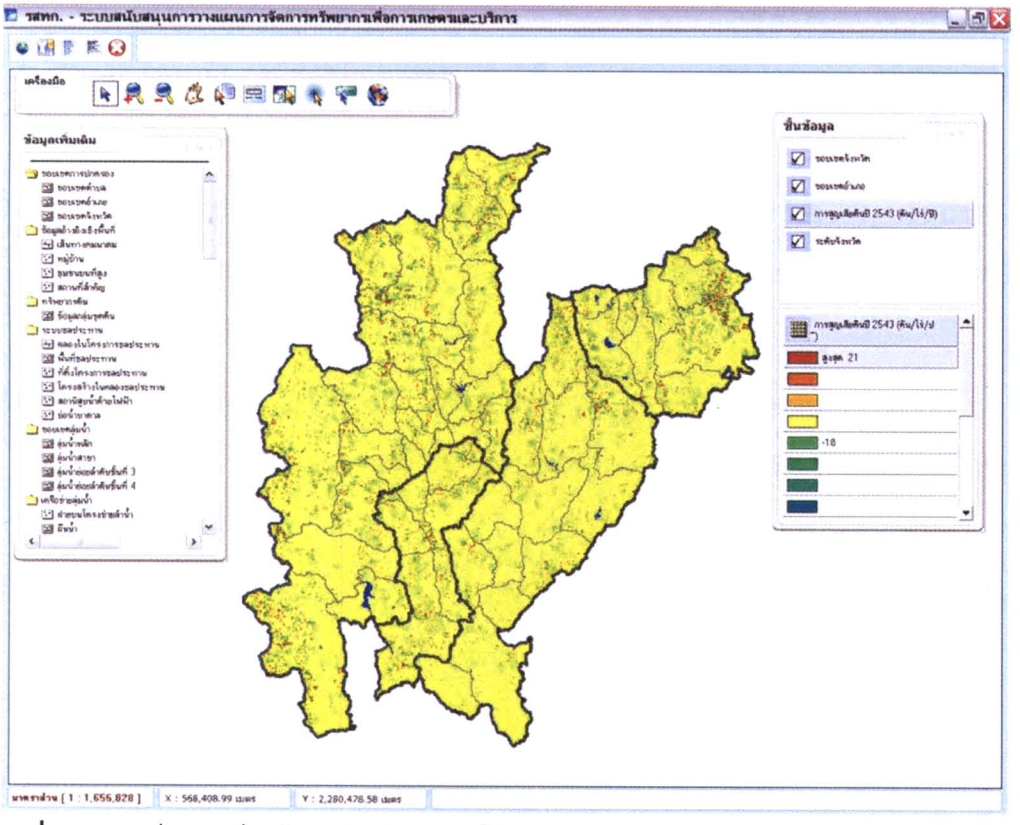
โดยพบว่า ค่าความเสี่ยงของความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินภายในลุ่มน้ำสาขาทั้ง 43 ลุ่มน้ำของพื้นที่ศึกษา ลุ่มน้ำสาขาที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ลุ่มน้ำวังตอนล่างและลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนล่าง ส่วนลุ่มน้ำที่มีค่าสูงที่สุดมีหลายลุ่มน้ำได้แก่ น้ำแม่ลิด แม่โขงตอนบน น้ำแม่จัน แม่โขงส่วนที่ 2 แม่น้ำแม่แตง น้ำแม่แจ่มตอนล่าง น้ำแม่ตื่น แม่น้ำวังตอนล่าง และน้ำแม่เงา

เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของการประเมินการสูญเสียดิน โดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงด้านการชะล้างพังทลายของดินสูงจะมีค่าเฉลี่ยต่ำ ในที่นี้พบว่าลุ่มน้ำที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ต่ำได้แก่ ลุ่มน้ำแม่ลาว น้ำแม่ตุ๋ย น้ำงาว แม่น้ำยมตอนบน น้ำแม่กลาง น้ำแม่ต๋ำ แม่น้ำวังตอนล่าง แม่น้ำวังตอนบน และน้ำแม่สรวย ลุ่มน้ำสาขาดังกล่าวเป็นลุ่มน้ำที่มีความเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายของดินสูง ส่วนลุ่มน้ำที่มีค่าเฉลี่ยสูงได้แก่ น้ำแม่เงา น้ำแม่งัด น้ำแม่กวง และแม่น้ำโขงตอนบน เป็นต้น ซึ่งลุ่มน้ำสาขาต่างๆ เหล่านี้ถือว่าอยู่ในกลุ่มที่มีการทับถมของตะกอนค่อนข้างสูง

สรุป

การประมาณสภาพความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินเชิงพื้นที่ได้ใช้แนวทางการประมาณการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล (USLE) โดยพิจารณาถึงวิธีการประมาณที่สามารถกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่เกษตรโดยตรงและพื้นที่นอกการเกษตร ซึ่ง

ผลจากการประมาณทำให้สามารถระบุถึงพื้นที่เสื่อมโทรมทางทรัพยากรที่ดินในระดับแปลงและระดับลุ่มน้ำสาขาได้ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจวางแผนการแก้ปัญหาที่ดินให้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากผลของการประเมินความเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดิน ยังสามารถจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินหน่วยการจัดการที่ดินและอื่น ๆ ภายใต้โปรแกรม "รสทก" (รูปที่ 48)



รูปที่ 48 แผนที่ความเสื่อมโทรมต่อทรัพยากรที่ดินในระบบ "รสทก"

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2543. การชะล้างพังทลายดินในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์, เมธี เอกะสิงห์, วรวีรุกรณ์ วีระจิตต์ และ สมจินต์ วานิชเสถียร. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและบริการ ระยะที่ 1 ภาคเหนือตอนบน : การจำแนกระบบนิเวศเกษตรและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์, เมธี เอกะสิงห์ล วรวีรุกรณ์ วีระจิตต์ และ สมจินต์ วานิชเสถียร. 2549. รายงานความก้าวหน้าโครงการระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและบริการ ระยะที่ 2 ภาคเหนือตอนบน : ความเสี่ยงทางกายภาพในระบบ

ผลิตพืช ครั้งที่ 2 (1 มิถุนายน 2549 - 30 พฤษจิกายน 2549) ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เมธี เอกะสิงห์ ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์ เฉลิมพล สำราญพงษ์ ปิ่นเพชร สกุลส่องบุญศิริ ประภัสสร พันธ์สมพงษ์ ชาฤทธิ์ สุ่มเหม นันทวัน รักสกุลกานต์ และวัฒนา พัฒนถาวร. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและบริการ ระยะที่ 1 ภาคเหนือตอนบน : การใช้ทรัพยากรและระบบสนับสนุนการตัดสินใจ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Desmet, P.J.J. and G. Govers, 1996. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation 51(5): 427-433.

Van Oost K, Govers G, & Desmet PJJ, 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. Landscape Ecology 15 (6), 579-591.

Van Rompaey A, Verstraeten G, Van Oost K, Govers G & Poesen J, 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surface Processes and Landforms 26 (11), 1221-1236.

Verstraeten G, Van Oost K, Van Rompaey A, Poesen J & Govers G, 2002. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. Soil Use and Management, 18, 386-394.

Sonneveld, B.G.J.S. and M.A. Nearing. 2002. A nonparametric/parametric analysis of the Universal Soil Loss Equation. Catena 57: 1–13.

Tran, L.T., M.A. Ridgley, L. Duckstein, and R. Sutherland. 2002. Application of fuzzy logic-based modeling to improve the performance of the Revised Universal Soil Loss Equation. Catena 57: 203–226.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. USDA Agricultural Handbook No.537.