



- 9 ก.ค. 2536

การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินระหว่าง
สมการการสูญเสียดินสากล (USLE) กับแปลงทดลอง
ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

COMPARATIVE STUDY OF SOIL LOSS ESTIMATION BY
UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (USLE) AND RUNOFF PLOTS
AT NAN WATERSHED AREA, NORTHERN THAILAND

พิมพ์พิมพ์ ธิติโรจนะวัฒน์

ภาแนหนาการ

จาก

มหาวิทยาลัยมหิดล ม.มหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

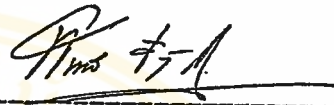
พ.ศ. 2536

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

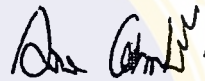
การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินระหว่างสมการการสูญเสียดินสากล (USLE)

กับแปลงทดลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน



ผศ.ดร. ชิตโรจนะ วัฒน

ผู้วิจัย



มนัส วัฒนาศักดิ์, วท.บ., วท.ม., Ph.D.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



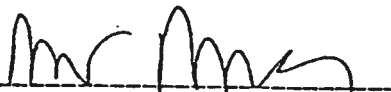
นิพนธ์ ตั้งธรรม, วท.บ., วท.ม., Ph.D.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



บุญ ศรีจักร, วท.บ., Dip.(in forestry)

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



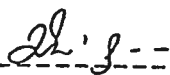
เรวดี รัตนกันท์, วท.บ., วท.ม.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์



มนตรี จุลสมัย, พ.บ., Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินระหว่างสมการการสูญเสียดินสากล (USLE)

กับแปลงทดลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าน

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

วันที่ 22 เมษายน พ.ศ.2536



ผอ. วิชา วิชาบริหาร

ผู้วิจัย



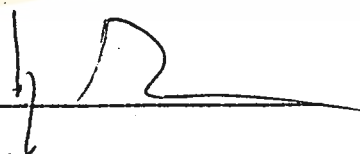
เทพม เมืองแมน, B.A., M.D., M.P.H., Dr.P.H.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



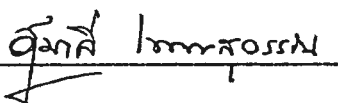
นิพนธ์ ตั้งธรรม, วน.บ., วท.บ., Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



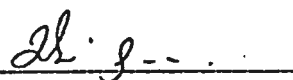
บุญ ศรีจักร, วน.บ., Dip. (in forestry)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



สุมาลี เทพสุวรรณ, วท.บ., วท.บ.

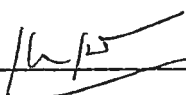
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



มันตรี จุลสมัย, พ.บ., Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล



เทพม เมืองแมน, B.A., M.D., M.P.H., Dr.P.H.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ

นางพิมพ์ย์ ธิติโรจนะวัฒน์

วัน เดือน ปีเกิด

9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2504

สถานที่เกิด

จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย

ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2522-2525 :

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2533-2536 :

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

พ.ศ. 2527 ถึง ปัจจุบัน :

สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้

ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 5

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร. มนัส วัฒนาศักดิ์ ในฐานะประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. นิพนธ์ ตั้งธรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รศ.(พิเศษ) มนุ ศรีจักร กรมพัฒนาที่ดิน กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ข้อคิดเห็น ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ศ.ดร.นพ. เทพคม เมืองแมน ผศ. สุมาลี เทพสุวรรณ ที่ได้กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คุณสุพจน์ เจริญสุข หัวหน้าสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำนาน ที่ได้กรุณาให้ใช้สถานที่เก็บข้อมูล ดูแลและให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของสถานีฯ ทุกท่าน รวมทั้งขอขอบพระคุณ คุณอนันต์ ณ ลาภาน หัวหน้ากลุ่มวิจัยลุ่มน้ำ กรมป่าไม้ ที่ช่วยสนับสนุนส่งเสริมการศึกษาต่อครั้งนี้ คุณวารินทร์ จิระสุขทวีกุล คุณพงษ์ศักดิ์ วิทวัสติกุล ดร. ทรงธรรม สุขสว่าง ที่คอยให้คำแนะนำ คุณจาเนียร เพื่อนดา คุณบุญมา คีแสง และคุณสาริต-คุณสุพัตรา สิงห์อมร ที่ให้ความช่วยเหลือในการพิมพ์ และการจัดทำรูปเล่ม

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ความดีและประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ คุณแม่ สามี ลูก พี่และน้อง ๆ ที่ให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

พิมพ์ชีพ ธิดิโรจนะวัฒน์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินระหว่างสมการการสูญเสียดินสากล (USLE) กับแปลงทดลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

ผู้วิจัย พินทิพย์ ชิตโรจนะวัฒน์

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

มนัส วัฒนาศักดิ์ วท.บ., วท.ม., Ph.D.

นิพนธ์ ตั้งธรรม วน.บ., วท.ม., Ph.D.

มนู ศรีขจร วน.บ., Dip. (in forestry)

วันที่สำเร็จการศึกษา 22 เมษายน พ.ศ. 2536

บทคัดย่อ

การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินระหว่างสมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE) กับ แปลงทดลอง (runoff plots) ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน โดยดำเนินการเก็บข้อมูลติดต่อกันเป็นเวลา 3 ปี (พ.ศ. 2533-2535) จากแปลงทดลองการสูญเสียดินและน้ำ ขนาด 4x20 ตารางเมตร จำนวน 14 แปลง ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกันในดินหน่วยสัมพันธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า (Tha Yang/Lat Ya Series Association) ซึ่งพื้นที่ดั้งเดิมถูกแผ้วถางป่าเป็นไร่ร้างทิ้งไว้ ความลาดชัน 17.5 เปอร์เซ็นต์ ความสูง 420 เมตรจากระดับน้ำทะเล จากการศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินทั้งสองวิธี ตลอดจนการศึกษาปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor, R) ที่เหมาะสมในสมการการสูญเสียดินสากล ปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor, C) ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility factor, K) ทั้งวิธีประเมินจากแผนภาพโนมोगราฟ (K-factor from nomograph) และจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (K-factor from up and down hill continuous fallow on bare soil plots) ผลการศึกษาพบว่า

ดัชนี EI_{30} เป็นปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน (R) ที่เหมาะสมในการการสูญเสียดินสากลในพื้นที่ลุ่มน้ำนี้ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด (0.653) รองลงมา คือ ดัชนี $KE > 1$ และ AI_m ให้ค่า 0.607, 0.470 ตามลำดับ และปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (K) ที่ประเมินจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (0.01) มีค่าน้อยกว่าการประเมินจากแผนภาพโรโมกราฟ (0.37)

ปัจจัยการจัดการพืช (C) ของป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ข้าวไร่ ถั่วเหลือง ข้าวโพด สวนสักอายุ 3 ปี มีค่าเฉลี่ย 0.587, 0.031, 0.495, 0.441, 0.369 และ 0.170 ตามลำดับ

การสูญเสียดินจากการประเมินโดยสมการการสูญเสียดินสากล (X) ซึ่งใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรโมกราฟ มีค่ามากเป็น 104 เท่าของการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลอง (Y) และมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.722$) โดยมีรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรง $Y = 0.012 X - 0.206$ แต่ความแตกต่างของการสูญเสียดินจะลดน้อยลงอย่างเด่นชัด เมื่อมีการใช้ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา แทนค่าที่ได้จากแผนภาพโรโมกราฟในการสมการการสูญเสียดินสากล ซึ่งจะทำให้การสูญเสียดินมากกว่าเพียง 2.72 เท่าของการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นข้อผิดพลาดจากการเลือกใช้ปัจจัยต่าง ๆ ในสมการการสูญเสียดินสากล การนำปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ที่ประเมินได้จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา มาใช้ในการประเมินการสูญเสียดิน จะให้ความแม่นยำสูงกว่าการใช้ปัจจัยนี้จากแผนภาพโรโมกราฟ

Thesis Title Comparative Study of Soil Loss Estimation by
Universal Soil Loss Equation (USLE) and Runoff Plots
at Nan Watershed Area, Northern Thailand.

Name Pintip Thitirojanawat

Degree Master of Science (Technology of Environmental
Management)

Thesis Supervisory Committee

Manas Watanasak, B.Sc., M.Sc., Ph.D.

Nipon Tangtham, B.Sc., M.Sc., Ph.D.

Manu Srikhajon, B.Sc., Dip (in forestry)

Date of Graduation . 22 April B.E. 2536 (1993)

ABSTRACT

Comparative study of soil loss estimated by using Universal Soil Loss Equation (USLE) and runoff plots of Nan watershed area at Nan Watershed Research Station, Amphoe Wiangsa, Nan Province was carried out during 1990 to 1992 in 14 runoff 4x20 m² plots with various types of landuse on soil type of Tha Yang/Lat Ya Series Association with 17.5 percent slope at elevation of 500 m. above mean sea level. Rain-fall erosivity factor (R) in USLE, Cropping management factor (C), Soil erodibility factor (K) from nomograph including soil erodibility factor from up and down hill continuous fallow on bare soil plots have also been computed. The results of the above-mentioned study are as following:

4

The appropriated rainfall erosivity factor (R) in USLE is EI_{30} index which being the highest correlation coefficient value (r) of 0.653 followed by index $KE>1$ and AI_m of 0.607 and 0.470 respectively. Soil erodibility factor (K) from up and down hill continuous on bare soil plots (0.01) is lower than value estimated by nomograph (0.37).

Cropping management factors (C) in mixed deciduous forest, swidden area, upland rice field, soybean, corn growing plots, and 3-year teak plantation are 0.587, 0.031, 0.495, 0.441, 0.369 and 0.170 respectively.

The amount of soil loss estimated by using Universal Soil Loss Equation (USLE) with soil erodibility factor from nomograph is about 104 times greater than those in runoff plots. By using soil erodibility obtained from up and down hill continuous fallow on bare soil plots, the estimated amount of soil loss computed by using USLE is only 2.72 times higher than value recorded from the existing sample plots. However, the correlation of computed soil loss from USLE formula (X) and actual soil loss (Y) is $Y = 0.012 X - 0.206$ ($r = 0.722$)

In this situation, if we suppose to use the USLE formula for predicting soil loss, it is better to use soil erodibility factor obtained from the field instead of from nomograph

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
สารบัญภาคผนวก	ฉ
คำอธิบายคำย่อ	ณ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐาน	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	4
2. การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 การชะล้างพังทลายของดิน	5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำ	6
2.3 ผลของการชะล้างพังทลายของดิน	6
2.4 แนวทางการศึกษาและประเมินค่าการชะล้างพังทลายของดิน	7
2.5 สมการการสูญเสียดินสากล	10
2.6 การใช้สมการการสูญเสียดินสากล	12
2.7 ความน่าเชื่อถือของสมการการสูญเสียดินสากล	15
2.8 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในสมการการสูญเสียดินสากล	17
2.8.1 ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน	17
2.8.2 ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน	26
2.8.3 ปัจจัยการจัดการพืช	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.4 บั้จจ้ยความยาวของความลาดเทและความลาดเท	38
2.8.5 บั้จจ้ยบัญญัติการควบคุมการพังทลายของดิน	41
3. สภาพพื้นที่ศึกษา	
3.1 ที่ตั้งและอาณาเขต	42
3.2 ลักษณะภูมิประเทศ	42
3.3 ลักษณะทางปฐพีวิทยา	44
3.4 ลักษณะพืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน	46
3.5 ลักษณะภูมิอากาศ	48
3.6 แปลงทดลองที่ทำการศึกษา	49
4. วิธีการศึกษา	
4.1 อุปกรณ์	57
4.2 แผนการศึกษา	57
4.3 วิธีการ	58
4.3.1 การรวบรวมข้อมูล	58
4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	63
5. ผลและวิจารณ์	
5.1 บั้จจ้ยชะล้างพังทลายของผน	69
5.1.1 การทดสอบบั้จจ้ยชะล้างพังทลายของผนที่ เหมาะสมในสมการการสูญเสียดินสากล	74
5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างบั้จจ้ยชะล้างพังทลาย ของผน กับปริมาณน้ำผน	78
5.2 บั้จจ้ยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน	81
5.2.1 การเปรียบเทียบค่าบั้จจ้ยความคงทนต่อการถูกชะล้าง พังทลายของดินจากการประเมินโดยใช้แผนภาพ โรมกราฟ กับ แปลงโถพรวน	82

สารบัญ (ต่อ)

	<u>หน้า</u>
5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง กับ เปอร์เซ็นต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก	87
5.3 ปัจจัยการจัดการพืช	90
5.4 การสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลอง	94
5.4.1 การสูญเสียดิน	94
5.4.2 น้ำไหลบ่าหน้าดิน	98
5.5 การสูญเสียดินจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล	102
5.5.1 การสูญเสียดินจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล โดยใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลาย ของดิน จากแผนภาพโรมกราฟ	104
5.5.2 การสูญเสียดินจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล โดยใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลาย ของดิน จากแปลงไถพรวน	105
5.6 การเปรียบเทียบการสูญเสียดินระหว่างการใช้สมการการสูญเสีย ดินสากล กับ แปลงทดลอง	106
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	116
บรรณานุกรม	123
ภาคผนวก ก.	140
ภาคผนวก ข.	158
ภาคผนวก ค.	195

สารบัญตาราง

<u>ตารางที่</u>	<u>หน้า</u>
1. ข้อมูลอากาศเฉลี่ย 10 ปี ของสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน ปี พ.ศ. 2526-2535	50
2. ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนและพลังงานจลน์เป็นรายสตรอม ปี พ.ศ. 2533	70
3. ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนและพลังงานจลน์เป็นรายสตรอม ปี พ.ศ. 2534	71
4. ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนและพลังงานจลน์เป็นรายสตรอม ปี พ.ศ. 2535	72
5. ปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนชนิดต่าง ๆ บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน ปี พ.ศ. 2533-2535	73
6. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างปัจจัยชะล้าง พังทลายของผืน กับ การสูญเสียดิน	75
7. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างปัจจัยชะล้าง พังทลายของผืน กับ ปริมาณน้ำฝน	79
8. ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ในหน่วยสัมพัทธ์ของ ชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า ที่ประเมินด้วยแผนภาพโรโมกราฟ	83
9. สมบัติบางประการของดิน ในแปลงทดลองการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆ	84
10. ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ในหน่วยสัมพัทธ์ของ ชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า ที่ประเมินจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่า และไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา	85
11. เบอร์เชนต์ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดการ ชะล้างพังทลาย	88
12. ปริมาณเบอร์เชนต์ทรายแป้ง กับ เบอร์เชนต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก ในดินหน่วยสัมพัทธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า	89
13. การเปรียบเทียบค่าปัจจัยการจัดการพืช ที่ประเมินได้จากการศึกษา กับ งานวิจัยอื่น ๆ	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
14. ค่าเฉลี่ยการสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลองการไ้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ ปี พ.ศ 2533 - 2535	100
15. การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียดินที่ประเมินจากแปลงทดลอง และสมการ การสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน จากแผนภาพโรโมกราฟ	111
16. การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียดินที่ประเมินจากแปลงทดลอง และสมการการ สูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา	112

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. สภาพขอบเขตลุ่มน้ำนาทองและจุดตั้งแปลงทดลอง บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน	43
2. สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน	47
3. กราฟแสดงค่าเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณน้ำฝน การระเหย ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิกากาศ บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน (พ.ศ. 2526-2535)	51
4. ลักษณะดินในบริเวณแปลงทดลอง (หน่วยสัมพันธของชุดดินท้ายาง/ลาดหญ้า)	54
5. แปลงทดลอง 14 แปลง ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆ ที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน	54
6. แปลงทดลอง ป่าเบญจพรรณ (ก) ไร่ร้าง (ข) ถั่วเหลือง (ค) ข้าวไร่ (ง)	55
7. แปลงทดลอง ข้าวโพด (ก) ป่าปลูกสัก (ข) บ่อดินทิ้งไว้ว่างเปล่า และไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (ค)	56
8. ลักษณะแปลงทดลองการสูญเสียดินและน้ำ	59
9. แผนที่แปลงทดลอง ที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน	60
10. กราฟเปรียบเทียบค่าปัจจัยการจัดการพืช ที่ได้จากการศึกษากับงานวิจัยอื่น ๆ	93
11. กราฟแสดงการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง ในปี พ.ศ. 2533-2535	101
12. กราฟแสดงปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินจากแปลงทดลอง ในปี พ.ศ. 2533-2535	101
13. กราฟแสดงการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากล และแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2533	113
14. กราฟแสดงการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากล และแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2534	113

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
15. กราฟแสดงการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากล และแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2535	114
16. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน จากแผนภาพในรมกราฟ กับแปลงทดลอง	115
17. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา กับแปลงทดลอง	115

สารบัญภาคผนวก

ภาคผนวก ก.	หน้า
1 ก. พลังงานชลน์ของฝน จากสมการ $KE = 210.3 + 89 \log I$	140
2 ก. ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ในชุดดินต่าง ๆ	143
3 ก. ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน โดยพิจารณาจากเนื้อดิน และอินทรีย์วัตถุ	146
4 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช ของชนิดป่าต่าง ๆ ในประเทศไทย	147
5 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช สำหรับใช้ในสมการการสูญเสียดินสากลของป่าดงดิบ ธรรมชาติที่ยังไม่ถูกรบกวน	148
6 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช และปัจจัยการปฏิบัติการควบคุมการพังทลายของดิน ในประเทศไทย	149
7 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช ของป่าดิบเขาที่มีเรือนยอดปกคลุมดินในระดับต่าง ๆ ที่ประเมินได้จากแปลงทดลอง ณ สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า เชียงใหม่	150
8 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช สำหรับพื้นที่ป่าไม้ในสภาพต่าง ๆ	151
9 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช สำหรับทุ่งกุสศัตร์ถาวร ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และพื้นที่รกร้างว่างเปล่าซึ่งมีวัสดุคลุมดินกระจัดกระจายหนาพอสมควร	152
10 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช ของพืชพรรณชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย	154
11 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช ที่แนะนำใช้ในประเทศไทย ในสมการการสูญเสียดินสากล	155
12 ก. ค่าปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท ในระดับความลาดชันต่างๆ	156

สารบัญภาคผนวก (ต่อ)

ภาคผนวก ข.	หน้า
1 ข. ตัวอย่างการคิดคำนวณปริมาณตะกอน ที่เกิดจากฝนแต่ละสตรม	158
2 ข. ตัวอย่างการคิดคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินที่เกิดจากฝนแต่ละสตรม	159
3.ข. ระดับชั้นความซบซึมน้ำใต้ของดิน	160
4 ข. ตัวอย่างการคิดคำนวณค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนในแต่ละสตรม	161
5 ข. การประเมินค่าปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท	162
6 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ การสูญเสียดิน (ปี พ.ศ. 2533-2535)	163
7 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ ปริมาณน้ำฝน ปี พ.ศ 2533	164
8 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ ปริมาณน้ำฝน ปี พ.ศ. 2534	164
9 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ ปริมาณน้ำฝน ปี พ.ศ 2535	165
10 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ ปริมาณน้ำฝน (ปี พ.ศ. 2533-2535)	165
11 ข. ระดับชั้นการพังทลายของดิน โดยประเมินจากค่าปัจจัยความคงทน ต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน	166
12 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง กับ เปอร์เซ็นต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก	167
13 ข. การวิเคราะห์ค่าปัจจัยการจัดการพืชของพืชพรรณชนิดต่าง ๆ	168
14 ข. ปริมาณการสูญเสียดินเป็นรายสตรมในแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2533	171

สารบัญภาคผนวก (ต่อ)

ภาคผนวก ข.	หน้า
15 ข. การวิเคราะห์ค่า Analysis of variance ของการสูญเสียดิน ปี พ.ศ. 2533	173
16 ข. ปริมาณการสูญเสียดินเป็นรายสตร้อนแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2534	174
17 ข. การวิเคราะห์ค่า Analysis of variance ของการสูญเสียดิน ปี พ.ศ. 2534	176
18 ข. ปริมาณการสูญเสียดินเป็นรายสตร้อนแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2535	177
19 ข. การวิเคราะห์ค่า Analysis of variance ของการสูญเสียดิน ปี พ.ศ. 2535	179
20 ข. การจัดแบ่งระดับชั้นการชะล้างพังทลายของดิน	180
21 ข. ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน เป็นรายสตร้อนแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2533	181
22 ข. ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน เป็นรายสตร้อนแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2534	183
23 ข. ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน เป็นรายสตร้อนแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2535	185
24 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรมกราฟ ปี พ.ศ. 2533	187
25 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรมกราฟ ปี พ.ศ. 2534	188
26 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรมกราฟ ปี พ.ศ. 2535	189
27 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงไถพรวน ปี พ.ศ. 2533	190

สารบัญภาคผนวก (ต่อ)

<u>ภาคผนวก ข.</u>	<u>หน้า</u>
28 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงไถพรวน ปี พ.ศ. 2534	191
29 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงไถพรวน ปี พ.ศ. 2535	192
30 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่ประเมินจาก แปลงทดลอง กับ สมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทน ต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรมกรัฟ	193
31 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่ประเมินจาก แปลงทดลอง กับ สมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทน ต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงไถพรวน	194
 <u>ภาคผนวก ค.</u>	
1 ค. แผนภาพโรมกรัฟ สำหรับหาค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ในสมการการสูญเสียดินสากล	195
2 ค. แผนภาพประเมินค่าปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท ที่ใช้ในสมการการสูญเสียดินสากล	196

คำอธิบายคำย่อ

USLE	= Universal Soil Loss Equation สมการการสูญเสียดินสากล
R-factor	= Rainfall erosivity factor ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน ปัจจัยฝนและน้ำไหลบ่าผิวดิน ปัจจัยน้ำฝน ดัชนีการกัดเซาะของฝน ดัชนีพลังงานฝนที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลาย ดัชนีการพังทลายของดินที่เกิดจากฝน ดัชนีหลังชะล้างพังทลายของฝน
K-factor	= Soil erodibility factor ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ปัจจัยความยากง่ายของการเกิดการพังทลายของดิน ปัจจัยของดิน สมรรถนะการพังทลายของดิน
L-factor	= Slope length factor ปัจจัยความยาวของความลาดเท
S-factor	= Slope gradient factor ปัจจัยความลาดเท ปัจจัยความลาดชัน ปัจจัยความชัน
LS-factor	= Slope length and slope gradient factor ปัจจัยความชันและความยาวของความลาดเท ปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท

C-factor	= Cropping management factor ปัจจัยการจัดการพืช ปัจจัยการปลูกพืช ปัจจัยพืชคลุมดินและการจัดการพืช
P-factor	= Conservation practices factor ปัจจัยการปฏิบัติการควบคุมการพังทลายของดิน ปัจจัยการจัดการดินและการอนุรักษ์ ปัจจัยวิธีการอนุรักษ์ดิน ปัจจัยสิ่งก่อสร้างเพื่อควบคุมการพังทลายของดิน ดัชนีการปฏิบัติการป้องกันการพังทลายของดิน
MDF	= Mix deciduous forest ป่าเบญจพรรณ
SA	= Swidden area ไร่ร้าง
SB	= Soybean ถั่วเหลือง
UR	= Upland rice ข้าวไร่
C	= Corn ข้าวโพด
T	= Teak Plantation ป่าปลูกสัก
BS	= Up and down hill continuous fallow on bare soil plots, แปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

การชะล้างพังทลายของดิน นับเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่ง ที่ประเทศไทยกำลังประสบอยู่ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ต้นน้ำลำธารทางภาคเหนือ ซึ่งประกอบด้วยภูเขาสูงชันสลับซับซ้อนและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบชาตการอนุรักษ์ดินและน้ำ ตลอดจนมีปริมาณฝนตกค่อนข้างสูง รวมทั้งมีการบุกรุกทำลายป่าอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว เนื่องมาจากความกดดันทางเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการชะล้างพังทลายให้มากยิ่งขึ้น ก่อให้เกิดการสูญเสียดินไปจากพื้นที่ ดินต้นเนินและขาดความอุดมสมบูรณ์ ลดประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำและซับซึมน้ำ เกิดภาวะน้ำท่วมและความแห้งแล้ง และตะกอนดินจะถูกพัดพาลงสู่เบื้องล่างโดยเฉพาะในแหล่งน้ำ ทำให้ลำน้ำตื้นเขิน น้ำขุ่น ภาวะเช่นนี้ก่อให้เกิดปัญหากับประชากรและสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น

การศึกษาเพื่อคาดคะเนการสูญเสียดินที่อาจจะเกิดขึ้น เป็นแนวทางในการวางแผนการใช้ที่ดินและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้อย่างถูกต้อง ซึ่งแนวทางการศึกษาการสูญเสียดิน อาจจะกล่าวได้ว่า เริ่มมาจากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระดับผิวดินอย่างง่าย ๆ ต่อมาได้มีการทดลองทางวิทยาศาสตร์ขึ้น จนกระทั่งการใช้สมการในการประมาณค่าการสูญเสียดินและประยุกต์ใช้สมการต่าง ๆ อาจจะกล่าวถึงแนวทางการศึกษา ดังเช่น การประมาณค่าจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม การศึกษาจากแปลงทดลอง (runoff plots) การใช้ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพามาจากพื้นที่ลุ่มน้ำ จนกระทั่งมีพัฒนาเทคนิคและวิธีการศึกษาโดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE) เป็นแนวทางในการศึกษา

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่ง ที่ตระหนักถึงความสำคัญของการศึกษาการสูญเสียดินมาเป็นเวลานานพอสมควร สำหรับในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียดินโดยวิธีการต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาจากแปลงทดลอง (run-off plots) ที่ใช้หลักการวัดตะกอนที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ซึ่งเป็นวิธีการที่ยังคงนิยมอยู่ และจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล การศึกษาจากแปลงทดลองนี้ ยังมีข้อบกพร่องในด้านการประมาณการการสูญเสียไปอย่างมากมาในการสร้างแปลงทดลองและข้อผิดพลาดจากการเก็บข้อมูล อีกทั้งข้อจำกัดในด้านการนำไปประยุกต์ใช้ให้กับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างไปจากแปลงทดลอง สำหรับการศึกษาโดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล เป็นการนำผลการศึกษาจากต่างประเทศมาประยุกต์ใช้นั้น ถึงแม้มีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับประเทศไทยโดยนักวิชาการที่เกี่ยวข้องแล้ว ก็ยังมีข้อจำกัดและความผิดพลาดอยู่มาก แต่ก็ยังเป็นโมเดลคณิตศาสตร์ที่รู้จักกันแพร่หลายทั้งในอดีตและปัจจุบัน ถูกนำมาใช้ในการคาดคะเนการสูญเสียดินกันอย่างกว้างขวาง แม้ว่าจะมีโมเดลที่พัฒนามานับหลาย ๆ เช่น SP-model CREAMS ฯลฯ ที่นำมาใช้แล้วเหมาะสมมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามสมการการสูญเสียดินสากลนี้ก็ยังต้องการความเชื่อมั่นและพัฒนาอีกมาก เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้คาดคะเนการสูญเสียดินได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและถูกต้องที่สุด ซึ่งการพัฒนาสมการนี้เป็นเรื่องที่ต้องใช้เวลาและความอดทนอยู่มาก

เนื่องจากการศึกษาสมการนี้ ยังต้องการความเชื่อมั่นมากเพื่อนำไปใช้คาดคะเนการสูญเสียดินได้อย่างถูกต้อง จึงมีการทดสอบโดยการเปรียบเทียบการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลอง (actual soil loss) กับ การสูญเสียดินที่ได้จากสมการการสูญเสียดินสากล (computed soil loss) ซึ่งจะเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการเลือกใช้สมการนี้ต่อไปหรือไม่ และในขณะเดียวกัน ได้มีการทดสอบการหาปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝนที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในสมการการสูญเสียดินสากล เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการเลือกค่าปัจจัยไปประยุกต์ใช้ ซึ่งยังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอนว่า ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนชนิดใดน่าจะเหมาะสมกับพื้นที่นั้น ๆ

1.2 วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงในแปลงทดลอง (actual soil loss) กับการสูญเสียดินที่ได้จากการคำนวณสมการการสูญเสียดินสากล (computed soil loss)
- (2) เพื่อทดสอบหาค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor, R) ที่เหมาะสมในสมการการสูญเสียดินสากล
- (3) เพื่อศึกษาปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility factor, K) ของชุดดินในพื้นที่ศึกษา
- (4) เพื่อศึกษาปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor, C) ของพืชพรรณชนิดต่าง ๆ

1.3 สมมุติฐาน

- (1) การสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงในแปลงทดลอง (actual soil loss) มีความแตกต่างจากการสูญเสียดินที่ได้จากการคำนวณสมการการสูญเสียดินสากล (computed soil loss)
- (2) ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดิน กับ ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนทั้ง 3 ชนิด ดัชนี EI_{30} น่าจะมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ กับ การสูญเสียดินสูงสุดเมื่อเทียบกับดัชนีอื่น ๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) ทราบความเชื่อมั่นของสมการการสูญเสียดินสากล เพื่อการพิจารณาเลือกใช้สมการนี้คาดคะเนการสูญเสียดินต่อไปหรือไม่
- (2) ทราบความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงในแปลงทดลอง กับ จากการคำนวณสมการการสูญเสียดินสากล

(3) ทราบปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor) ที่เหมาะสมในการการสูญเสียดินสากล ซึ่งจะช่วยตัดสินใจในการเลือกค่าปัจจัยนี้จากการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ

(4) ทราบค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility factor) จากการตรวจวัดจริงในแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (up and down hill continuous fallow on bare soil plots) เพื่อนำไปปรับใช้กับชุดดินชนิดเดียวกันในพื้นที่อื่น ๆ

(5) ทราบความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นเมื่อใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินที่ประเมินจากแผนภาพกรมกราฟ

(6) ทราบค่าปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor) ของชนิดพืชต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา เพื่อนำไปปรับใช้ต่อไป

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

(1) สถานที่

พื้นที่ลุ่มน้ำนาตอง (10.899 ตารางกิโลเมตร) ซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำป่าน และเป็นที่ตั้งของสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำป่าน อ.เวียงสา จ.น่าน

(2) ระยะเวลา

เริ่ม มกราคม พ.ศ.2533 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2535 (รวม 3 ปี)

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การชะล้างพังทลายของดิน

การชะล้างพังทลายของดิน (soil erosion) เป็นกระบวนการที่เกิดจากการที่มีแรงน้ำ ลม แรงแม่เหล็กของโลกมากระทำที่อนุภาคบนผิวดินแตกแยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคดังกล่าวไปทับถม (deposition) ยังอีกที่หนึ่ง (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) ส่วนใหญ่จะพิจารณาสาเหตุที่ทำให้เกิดจาก 2 ลักษณะ คือ การชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการกระทำของน้ำ ลม แรงแม่เหล็กของโลก และการชะล้างพังทลายของดินที่มีตัวเร่ง หรือมนุษย์มีส่วนร่วมจากการที่มนุษย์ทำการเปลี่ยนแปลงระบบธรรมชาติของพื้นที่ด้วยวิธีการปฏิบัติด้วยการใช้ที่ดินและอื่น ๆ ที่มนุษย์เข้ามีส่วนร่วม (Schwab et al., 1966 ; Hadson, 1971) ปกติการชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นอยู่เสมอ และหลีกเลี่ยงไม่ได้แต่เป็นการเกิดขึ้นที่ไม่รุนแรง เป็นสภาพรับดูของธรรมชาติซึ่งเป็นกระบวนการของการปรับระดับของผิวโลก ส่วนการชะล้างพังทลายของดินที่มีมนุษย์เป็นตัวเร่งนั้นจะมีบทบาทอย่างสำคัญที่เสริมความรุนแรงให้กับธรรมชาติตามสภาพที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปในพื้นที่ และตามวิธีการเพาะปลูก (cultural method) ของมนุษย์ในพื้นที่นั้น (Smith and Whitt, 1947 ; นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) ซึ่งผลเสียหายนี้อาจจะเริ่มตามมาและเพิ่มพูนมากขึ้นหากไม่มีมาตรการควบคุมหรือป้องกัน (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527)

สมเจตน์ จันทวัฒน์ (2522) ได้บรรยายว่า กระบวนการเกิดการพังทลายของดินในลักษณะทางกายภาพ หมายถึง งานจำนวนหนึ่งซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคของดินถูกทำให้แตกกระจายออกจากกันโดยตัวการที่สำคัญคือ พน และอนุภาคที่ถูกทำให้แตกกระจาย จะถูกเคลื่อนย้ายไปจากที่เดิมและทับถมในที่ใหม่ โดยมีน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นตัวการสำคัญ

ตัวการที่ทำให้เกิดการพังทลายของดินที่สำคัญได้แก่ น้ำ และ ลม จึงสามารถแบ่งการพังทลายของดินตามตัวการที่ก่อให้เกิดการพังทลายเป็นดังนี้

- 1) การเกิดการพังทลายของดินโดยมีน้ำเป็นตัวการ
(soil erosion by water)
- 2) การเกิดการพังทลายของดินโดยมีลมเป็นตัวการ
(soil erosion by wind)

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนและชุ่มชื้นอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 40 องศาเหนือและใต้ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการพังทลายโดยน้ำเป็นตัวการและเกิดอย่างรุนแรง นอกจากนี้ปริมาณฝนเฉลี่ยของประเทศไทยมีมากกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งลักษณะภูมิอากาศเช่นนี้ การเกิดการพังทลายของดินจะมีมากถ้าพิจารณาพื้นที่ซึ่งปกคลุมดินตามธรรมชาติถูกทำลายไป ดังนั้นการเกิดการพังทลายของดินในประเทศไทย น้ำจึงเป็นตัวการที่สำคัญที่สุด

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำ

ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่ออัตราการชะล้างพังทลายของดิน ประกอบด้วย ภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ ดิน พืชพรรณและมนุษย์ (Baver, 1965 ; สมเจตน์ จันทวีณ์ , 2522 ; นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) การเกิดการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำนั้น ความสำคัญของแต่ละปัจจัยจะมากน้อยอย่างไร ขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่เองและเหตุการณ์ธรรมชาติ หรือที่มนุษย์ทำให้เกิดขึ้น

2.3 ผลของการชะล้างพังทลายของดิน

นิพนธ์ ตั้งธรรม (2527) กล่าวว่า ลักษณะการชะล้างพังทลายของดินไม่ว่าจะเป็นรูปใดนั้นมักมีสาเหตุมาจากความรุนแรงของเม็ดฝนที่ตกกระทบ และจากแรงน้ำไหลบ่าหน้าดิน อันเกิดจากการที่ดินไม่สามารถรับการซึมของน้ำได้หมด รูปแบบการชะล้างพังทลายของดินที่สำคัญได้แก่ การชะล้างแบบกระเด็น ผิวแผ่น ร่องร้ว ร่องลึก เลื่อนไหล และ

การชะล้างพังทลายโดยน้ำ การชะล้างพังทลายของดินมีผลเสียหายแก่เศรษฐกิจของประเทศ และต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนในหลายกรณีด้วยกันซึ่งกล่าวได้โดยสังเขปดังนี้คือ

(1) ทำให้สูญเสียหน้าดิน มีผลต่อการลดลงของความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความสามารถในการเก็บความชื้น ความเหมาะสมต่อการทำการเกษตรกรรม และลักษณะการขีมน้ำผ่านผิวดิน

(2) ทำให้ลำน้ำตื้นเขิน ตะกอนลงไปที่บึงหนองที่ราบต่ำ เป็นผลเสียให้ดินเสีย โครงสร้างทางกายภาพความเหมาะสมต่อการปลูกพืชลดลง น้ำในลำธารมีคุณสมบัติทางด้านเคมี ชีวะ และกายภาพ เปลี่ยนไปจากเดิม

(3) ทำให้สูญเสียน้ำไปจากพื้นที่ เนื่องจากการแน่นตัวของผิวดินและอัตรา การขีมน้ำผ่านดินน้อยลง

(4) สารเคมีเป็นพิษ เช่น โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง ตลอดจนปุ๋ย ธาตุอาหารพืช ลงสู่ดินมากขึ้นจนทำให้เกิดมลพิษในพื้นที่

(5) ปริมาณตะกอนพัดพาไปทับถมตามอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนจะสูงขึ้นมีผล กระทบต่อ การใช้พลังงานไฟฟ้า จำนวนปลาตกลงเพราะน้ำเสีย ปัญหาเศรษฐกิจและสังคมของสา รารณชนก็จะตามมาเป็นผลต่อเนื่อง

2.4 แนวทางการศึกษาประเมินค่าการพังทลายของดิน

จากการค้นคว้าและรวบรวม พอจะกล่าวได้ว่า การศึกษาและประเมินค่าการสูญเสียดิน ได้เริ่มมาจากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงระดับผิวดินอย่างง่าย ๆ และต่อมาก็ได้มีการทดลองทางวิทยาศาสตร์ขึ้น จนกระทั่งถึงการใช้สมการในการประมาณค่าการสูญเสียดินและการประยุกต์ใช้สมการต่าง ๆ ซึ่งพอจะกล่าวถึงแนวทางการศึกษาได้ดังต่อไปนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2526)

2.4.1 การคาดคะเนจากสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากกระบวนการชะล้างพังทลายของดินจะเกิดขึ้นมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการ

กระทำของมนุษย์มากกว่าธรรมชาติ เมื่อมนุษย์ได้เปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติโดยวิธีพื้นที่เพื่อการเกษตร มีการรบกวนดินโดยวิธีเครื่องจักรกลไถพรวนดินต่อเนื่องกันทุกปี สมรรถภาพของดินที่จะทนต่อการถูกชะล้างน้อยลงไป อัตราการสูญเสียดินก็เพิ่มมากขึ้น ในบริเวณที่ดินไม่ลึกก็จะสังเกตเห็นค่อย ๆ โผล่ขึ้นมา ในพื้นที่ที่ยังมีต้นไม้อายุมากคงเหลืออยู่ จะสามารถประมาณระดับดินเดิมที่ถูกริดไปลากได้ไม่ยากนัก เพราะบริเวณโคนต้นไม้จะมีรากที่โผล่ขึ้นมาพื้นระดับดินในปัจจุบันมากน้อยตามอัตราความรุนแรงของการสูญเสียดินที่เกิดขึ้น (Dunne, 1977)

2.4.2 การศึกษาจากแปลงทดลอง (runoff plots)

การศึกษาการสูญเสียดิน โดยสร้างแปลงทดลองเพื่อเก็บตะกอนดินได้ใช้ในการศึกษาการประเมินค่าการสูญเสียดินมาช้านานแล้ว Toebes and Ouryvaev (1970) กล่าวว่า การเลือกจุดที่จะสร้างแปลงทดลองนั้นจะต้องมีสภาพเป็นตัวแทน ทั้งสภาพความลาดชัน ลักษณะดินและพืชที่ปกคลุม ในการศึกษาจากแปลงทดลองนี้ จะใช้พืชพรรณเป็นตัวชี้ถึงผลการสูญเสียดิน ซึ่งจะแตกต่างกันไปเนื่องจากความแตกต่างของพืชพรรณที่ปกคลุมดินนั่นเอง แปลงทดลองที่ใช้ในการศึกษานั้นมีขนาดแตกต่างกันไปแล้วแต่วัตถุประสงค์ของการศึกษา กำลังคนและงบประมาณที่มีอยู่เพื่อใช้ในการสร้างแปลงทดลองและการเก็บข้อมูล ขนาดแปลงที่ใช้ส่วนใหญ่มีขนาด 80 ถึง 100 ตารางเมตร ความยาวแปลงไม่กำหนดแน่นอน จะผันแปรช่วง 1.8-81.9 เมตร ส่วนความกว้างของแปลงนั้น ส่วนใหญ่มักจะให้เครื่องมือบางอย่าง เช่น รถแทรกเตอร์เข้าไปทำงานได้ (Hayward, 1967)

บุญ ศรีขจร (2529) ได้กล่าวว่า ส่วนประกอบของแปลงทดลอง พอจะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ จุดตั้งแปลงทดลอง พร้อมแปลงทดลองที่ได้ก่อสร้างขอบเขตมาตรฐานแข็งแรงโดยวิธีวัสดุก่อสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือเป็น อิฐ สังกะสี แผ่นเหล็ก เพื่อป้องกันฝนและน้ำไหลบ่าจากส่วนอื่น ส่วนสอง คือ ถังหรือบ่อเก็บน้ำไหลบ่า โดยต่อท่อหรือทำเป็นรางน้ำมาจากแปลงทดลอง ส่วนสาม เครื่องวัดน้ำฝน ซึ่งอาจจะใช้เครื่องวัดน้ำฝนมาตรฐานหรือ เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติตามระดับความละเอียดของการศึกษา และหลังจากดำเนินการในส่วนประกอบเสร็จสิ้นแล้ว จะต้องใช้วิธีการเป็นขั้น ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

(1) การเก็บสถิติข้อมูลปริมาณน้ำฝน โดยการจดบันทึกปริมาณน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนแบบธรรมดาทุกวันตลอดปี หรือปริมาณน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ เพื่อต้องการศึกษาปัจจัยของฝนที่มีต่อการพังทลายของดินในขั้นละเอียดยิ่งขึ้น

(2) การเก็บสถิติปริมาณน้ำไหลบ่า โดยการวัดปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำ และตะกอนที่ไหลลงมาจากพื้นที่แปลงทดลองตอนบนด้วยไม้วัดระดับน้ำ ปริมาณน้ำในถังสูงเท่าไร ก็สามารถคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าที่เกิดจากฝนในครั้งหนึ่ง ๆ หรือในวันหนึ่ง ๆ ได้

(3) การเก็บตัวอย่างตะกอน หลังจากทำการวัดระดับน้ำในถังแล้ว จึงทำการกวนน้ำให้เข้ากันเป็นอย่างดีก็ทำการเก็บตัวอย่างน้ำด้วยกระบอกตวงหรือแก้วตวงที่ระดับต่าง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างน้ำ ที่เป็นตัวแทนของปริมาณตะกอนในถังโดยการสุ่มตัวอย่างน้ำหลายตัวอย่าง ในระดับความลึกต่าง ๆ

(4) การคำนวณตะกอนจากตัวอย่างน้ำที่สุ่มมา โดยนำมาหาน้ำหนักแห้งของตะกอนจากการอบดินให้แห้งนาน 24 ชั่วโมง แล้วจึงคำนวณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของแต่ละแปลงจากปริมาณตัวอย่างน้ำที่สุ่มมา

2.4.3 การศึกษาจากพื้นที่ลุ่มน้ำ

การชะล้างพังทลายของดินเกิดผลกระทบที่ชี้ให้เห็นได้จากสภาพของน้ำในลำน้ำ Rapp (1977) ได้บรรยายว่า ระบบการชะล้างพังทลายและการพัดพาตะกอนจำเป็นต้องศึกษาควบคู่กันไปกับพื้นที่ลุ่มน้ำ ทั้งตามธรรมชาติและลุ่มน้ำภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันรวมทั้งการใช้ที่ดิน พื้นที่ลุ่มน้ำแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ พื้นที่ลุ่มน้ำตามป่าเขา ได้แก่ พื้นที่ลุ่มน้ำที่ปกคลุมด้วยไม้ต่าง ๆ อันเป็นต้นน้ำลำธาร พื้นที่ลุ่มน้ำการเกษตร ได้แก่พื้นที่ลุ่มน้ำที่มีการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร และพื้นที่ลุ่มน้ำตัวเมือง (สมเจตน์ จันทวีณ์, 2523) การศึกษาการสูญเสียดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำโดยตรงนั้นเป็นการยากที่จะได้คำตอบที่ถูกต้อง เพราะปัจจัยที่ก่อให้เกิดการพังทลายของดินมีหลายชนิดและพื้นที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอและจะยิ่งสลับซับซ้อนยิ่งขึ้น เมื่อลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่

2.4.4 การศึกษาจากสมการสูญเสียดินสากล

เป็นวิธีการใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการประเมินการสูญเสียดินโดยปรับปรุงและพัฒนาจากสมการอย่างง่าย ๆ จนถึงสมการการสูญเสียดินสากลนี้

2.5. สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE)

เนื่องจากการชะล้างพังทลายของดินเป็นขบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายอย่างร่วมกัน และแต่ละปัจจัยยังมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะประเมินการสูญเสียดินให้ถูกต้องได้ นอกจากจะได้ศึกษาจากการทดลองเป็นระยะเวลานานพอสมควรอย่าง เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา Wischmeier and Smith (1965) ได้ทำการศึกษาจากแปลงทดลอง 10,000 แปลง-ปี เป็นเวลาหลายสิบปีจนสามารถสร้างสมการคาดคะเนการสูญเสียดินที่รู้จักกันในรูปของสมการการสูญเสียดินสากล และนำมาใช้กันแพร่หลาย

ความพยายามที่จะประมาณหาอัตราการสูญเสียดินจากอัตราการชะล้างพังทลายของน้ำฝนเริ่มมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 เป็นต้นมา (Cook, 1936) โดยมีการศึกษาและทดลองน้ำปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการพังทลายของดิน มาสรุปเป็นหลักเกณฑ์ในรูปของโมเดลคณิตศาสตร์ และมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาสมการ เพื่อประเมินการชะล้างพังทลายของดินมาตามลำดับ (ไพฑูรย์ ปิยะกรณ, 2524) ตั้งแต่ Baver (1933) , Zingg (1940), Smith (1941), Smith and Whitt (1947) , Browning et al (1947), Musgrave (1947), Van Doren and Bartelli (1956) , Smith and Wischmeier (1957) โดยมีรูปแบบเป็นเพียงสมการง่าย ๆ และเป็นเพียงสมการที่นักอนุรักษ์ดินและน้ำรุ่นหลัง ๆ ได้ใช้เป็นแนวทางปรับปรุงแก้ไขกันต่อมา และที่สำคัญก็คือ เป็นที่มาของสมการที่เรียกว่า สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE) โดย Wischmeier and Smith (1965) ได้เสนอรูปแบบสมการซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี คือ $A = RKLSCP$ ซึ่งได้จากการทดลองทางด้านตะวันออกของประเทศสหรัฐอเมริกามากกว่า 10,000 แปลง-ปี และความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในสมการก็เป็นค่าที่ได้จากข้อมูลทางสถิติที่ได้จากแปลงทดลองนี้

$$A = RKLSCP$$

A = ปริมาณดินที่สูญเสียที่คำนวณได้ต่อเนื่องที่ (ตัน/เฮกเตอร์/ปี)

R = ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor) ในปีที่มีฝนตกกระตึบปกติ (normal year rain) ซึ่งค่านี้เป็นการวัดพลังงานของฝนที่ทำให้ดินเกิดการชะล้างพังทลาย (เมตร-ตัน /เฮกเตอร์ - เซนติเมตร)

K = ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility factor) เป็นอัตราส่วนการสูญเสียดินต่อหน่วยดัชนีการชะล้างสำหรับดินชนิดหนึ่ง ในการปลูกพืชต่อเนื่องบนพื้นที่ลาดเท 9 เปอร์เซ็นต์ และมีความยาว 72.6 ฟุต

L = ปัจจัยความยาวของความลาดเท (slope length factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินจากพื้นที่นั้น ๆ กับพื้นที่ที่มีความลาดเทยาว 72.6 ฟุต ในดินและความลาดชันเดียวกัน

S = ปัจจัยความลาดเท (slope gradient factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินระหว่างการสูญเสียดินที่เกิดจากสภาพความลาดเทในสนามกับการสูญเสียดินที่เกิดจากความลาดเท 9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นดินชนิดเดียวกัน มีความยาวของความลาดเทเท่ากันและสภาพอื่น ๆ เหมือนกัน

C = ปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor) เป็นอัตราส่วนของดินที่สูญเสียจากแปลงที่มีการจัดการพืชชนิดหนึ่ง ๆ ต่อการสูญเสียดินจากแปลงที่ไถพรวนตามความลาดเท แล้วปล่อยดินไว้ว่างเปล่า ที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมอื่น ๆ และสภาพพื้นที่เหมือนกัน

P = ปัจจัยการปฏิบัติควบคุมการพังทลายของดิน (conservation practices factor) ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนของการสูญเสียดินที่เกิดจากแปลงอนุรักษ์ดิน

เช่น ไถพรวนตามแนวระดับ การปลูกพืชเป็นแถบสลับหรือการทำขั้นบันไดกับ การสูญเสียที่เกิดจากการไถพรวนและปลูกพืชขนานกับทิศทางของความลาดเท ในดินชนิดเดียวกัน อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมอื่น ๆ และสภาพพื้นที่เหมือนกัน

การศึกษาในครั้งนี้อยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ยอมรับสมการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจัยแต่ละตัว มีความสัมพันธ์กันเองอยู่มากมาย ปัจจัยทั้ง 5 ที่นำมาวิเคราะห์ค่าการสูญเสียดินพอจะแยกได้ ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่นำสูตรหรือวิธีการมาใช้ได้เลยได้แก่ ปัจจัยความยาว และความลาดชัน ปัจจัยระบบการอนุรักษ์และอีกส่วนหนึ่งได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เพิ่มเติมให้เหมาะสมกับสภาพของประเทศไทยได้แก่ ปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน ปัจจัยความคงทนต่อการถูก พังทลายของดิน และปัจจัยการจัดการพืช การนำเอาปัจจัยต่าง ๆ ในสมการการสูญเสียดิน สากัลซึ่งมีการศึกษาทดลองจากที่อื่นมาใช้ สำหรับประเทศไทยจึงต้องพยายามระมัดระวังใน การนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม ภายใต้สมมุติฐานที่น่าจะยอมรับได้

อย่างไรก็ดีสมการการสูญเสียดินสากัลนี้ นับตั้งแต่ใช้กันแพร่หลายมาตั้งแต่ปี ค.ศ 1965 แล้วก็ตาม ก็ยังคงมีการปรับปรุงแก้ไขกันอยู่ตลอดมาจนปี ค.ศ 1978 โดยปรับปรุง การประเมินค่าต่างๆ ให้ได้ใช้ประโยชน์ของสมการนี้ได้กว้างขวางมากขึ้น สามารถนำไปใช้ในการ ทานายการเกิดการพังทลายของดินในบริเวณอื่น ๆ นอกจากพื้นที่เพาะปลูก เช่น บริเวณที่ ก่อสร้าง ทุ่งหญ้า สวนป่า เป็นต้น (สมเจตน์ จันทวัฒน์ , 2526)

2.6 การใช้สมการการสูญเสียดินสากัลคาดคะเนการสูญเสียดิน

สมการนี้ได้ใช้กันแพร่หลายในการวางแผนการจัดการการใช้ที่ดิน และคาดคะเนจาก พื้นที่ลาดเท แต่ก็จะมีประโยชน์เฉพาะในท้องที่มีข้อมูลต่างๆ สมบูรณ์เท่านั้น (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) สมการนี้นับเป็นเครื่องมือทางด้านเทคนิคที่มีค่าและเป็นประโยชน์มากที่สุด สำหรับนัก อนุรักษ์ดินทั่วไปเพื่อนำไปใช้คาดคะเนปริมาณการสูญเสียดิน (Maddy, 1976) และนับว่าเป็นวิธี การที่ดีที่สุดในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะไม่สมบูรณ์แบบก็ตาม

Arnoldus (1977) ได้กล่าวถึงการใช้สมการการสูญเสียดินสากลว่าสามารถใช้คาดคะเนหรือประเมินการสูญเสียดินจากพื้นที่เพาะปลูกได้ทั้งเป็นรายปี หรือรอบการเพาะปลูก (annual or rotation field) โอกาสที่จะเกิดขึ้นอีกในรอบปี (return period) และแต่ละครั้งที่ฝนตก (individual storm) ซึ่งอาจมีความถูกต้องลดลงแต่ก็สามารถประเมินได้ถ้าหากมีค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน (EI-index) และค่าปัจจัยการจัดการพืช (C-factor) ในแต่ละครั้งที่ฝนตก นอกจากนี้ยังสามารถใช้สมการการสูญเสียดินสากลในการวางแผนการอนุรักษ์ดินและวางแผนการจัดการลุ่มน้ำ เพื่อลดการชะล้างพังทลายของดิน

Edwards and Charman (1980) ได้แนะนำการนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อคาดคะเนการสูญเสียดิน ในประเทศนิวซีแลนด์ตามขอบเขตดังนี้

(1) ใช้ในการวิเคราะห์ค่ารวมรายปีเฉลี่ยของการสูญเสียดินในลักษณะตามความลาดชันและระบบการใช้ที่ดิน โดยการศึกษาค่าที่เหมาะสมของผืน (R) การจัดการพืช (C) เพื่อประเมินค่าในแต่ละพื้นที่เกษตรกรรม

(2) เลือกระบบอนุรักษ์ที่เหมาะสมในแต่ละสภาพท้องที่ให้สอดคล้องกับระดับการสูญเสียดินที่ยอมรับได้ (soil loss tolerance) พิจารณาว่าจะยอมให้เกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใดเพื่อคงไว้ซึ่งผลผลิตการเกษตรอย่างต่อเนื่องในอนาคตของดินแต่ละชนิด ซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับระหว่างนักวิทยาศาสตร์ทางดิน พืชไร่ นักอนุรักษ์ดินและผู้มีประสบการณ์ในพื้นที่

(3) เปลี่ยนระบบการปลูกพืชเพื่อลดค่าการสูญเสียดิน

(4) ประยุกต์ระบบอนุรักษ์ที่เหมาะสมและการปลูกพืชตามแนวระดับโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การแบ่งความยาวความลาดชันโดยใช้แนวคันดิน หรือการควบคุมประเภทอื่น ๆ

(4) สามารถนำไปใช้ประมาณค่าการสูญเสียดินในพื้นที่ประเภทอื่น ๆ เช่น การก่อสร้าง ป่าไม้ หรือ แหล่งพักผ่อนหย่อนใจ

บุญ ศรีจร (2529) ได้กล่าวว่า ประเทศไทยได้แนะนำสมการการสูญเสียดินสากลมาใช้ในการประเมินอย่างหยาบ ๆ ขึ้นมาในขั้นต้นดังนี้

- (1) เพื่อการพิจารณาให้เห็นระดับความรุนแรงของพื้นที่ที่เกิดความเสื่อมโทรมของประเทศว่าเป็นอย่างไร
- (2) เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาข้อบกพร่อง สำหรับปรับปรุงและนำไปประยุกต์ข้อมูลในแต่ละปัจจัยให้เกิดความแม่นยำและถูกต้องยิ่งขึ้น
- (3) เพื่อให้มีการตื่นตัวในการอนุรักษ์ทรัพยากรดินและที่ดินมาก
- (4) สำหรับเป็นแนวทางในการร่วมมือกัน ระหว่างนักวิชาการสาขาต่าง ๆ เพื่อพัฒนาเทคนิคในการศึกษาให้ก้าวหน้า

ในปัจจุบันวิธีการคาดคะเนการสูญเสียดินโดยใช้สมการการสูญเสียดินสากลเป็นที่ยอมรับว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุด (สมเจตน์ จันทวีณ์, 2526) แม้ว่าจะไม่ถูกต้องสมบูรณ์ก็ตาม ได้มีการใช้สมการการสูญเสียดินสากลในการคาดคะเนการสูญเสียดินในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทยหลายแห่ง เช่น กรมพัฒนาที่ดิน (2524) ใช้คาดคะเนการสูญเสียดินของประเทศไทย พุทธิย์ ปิยะ ทรัพย์ (2524) นำไปใช้ในจังหวัดบุรีรัมย์ Watanasak (1978) ดำเนินการในจังหวัดระยองและชลบุรี วสันชัย คาร์งหาญวิทย์ (2528) ประเมินในจังหวัดเชียงใหม่ ณรงค์ ผลวงษ์ (2530) เลือกจังหวัดลำปางเป็นพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้กรมพัฒนาที่ดิน โดย สายัณห์ สิงหกละ (2530) ได้ประเมินในจังหวัดแพร่และเชียงใหม่ ต่อมาสมการนี้เช่นกัน มาคาดคะเนการสูญเสียดินจังหวัดนครสวรรค์ (สายัณห์ สิงหกละ และคณะ, 2531) รวมทั้งนำสมการมาใช้เพื่อหาแผนที่แสดงการชะล้างพังทลายในจังหวัดขอนแก่น (พิชัย วิชัยดิษฐ์ และ พงษ์ ปรอมจันย์, 2535)

ในระยะหลังได้มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อให้มีความถูกต้อง รวดเร็วและทันต่อเหตุการณ์ ฉะนั้น Tangtham (1990) ได้นำเอา USLE ไปประยุกต์ใช้ในโปรแกรม WSCERO เพื่อใช้ในการคาดคะเนการสูญเสียดินในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ อีกทั้งมีการนำเอามาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเพื่อหาค่า Sediment yield ในพื้นที่ลุ่มน้ำทางภาคเหนือของประเทศไทย (Trowattana, 1988) นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการนำเอาสมการนี้ไปพัฒนาร่วมกับโมเดลต่าง ๆ เพื่อปรับใช้กับระบบเครื่องสมองกลให้ได้ผลถูกต้องและมีความรวดเร็วยิ่งขึ้น

มนัส วัฒนาศักดิ์ (2526) ได้ศึกษาพร้อมเสนอแนะว่า การคาดคะเนการสูญเสียดิน โดยใช้สมการการสูญเสียดินสากลนั้น ความลาดชันคำนวณได้จากแผนที่ภูมิประเทศ ภาพถ่ายดาวเทียมให้ข้อมูลเกี่ยวกับการปกคลุมผิวดิน และพื้นที่ทับถมตะกอน (deposited area) การแปลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยตาเปล่า โดยใช้อาฟขาว-ดำ แบบด์ 5,7 และภาพโคเรจโครมควบคู่กันไป เป็นวิธีการเหมาะสมและให้ข้อมูลดีที่สุด มีความเป็นไปได้และน่าเชื่อถือ สำหรับการวางแผนระดับกว้างพอประมาณ และในพื้นที่ขนาดเล็กหรือใช้มาตราส่วนใหญ่การแปลงข้อมูลจากดาวเทียมโดยใช้เครื่องสแกน เป็นเรื่องที่น่าสนใจหาการศึกษาวิจัยต่อไป

2.7 ความน่าเชื่อถือของสมการการสูญเสียดินสากล

ความถูกต้องของการใช้สมการการสูญเสียดินสากล เพื่อคาดคะเนการสูญเสียดิน ได้ที่ดินที่มีเนื้อดินปานกลาง (medium texture soil) บนพื้นที่ที่มีความลาดเทอยู่ระหว่าง 3 ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ มีความยาวของการลาดเทไม่เกิน 40 ฟุต ตลอดจนมีการปลูกพืช และ มีการจัดการคล้ายกับแปลงทดลองการสูญเสียดินที่เป็นรากฐานในการสร้างสมการนี้ด้วย อีกประการหนึ่ง สมการนี้ใช้คาดคะเนการสูญเสียดินเฉลี่ยระยะยาวมากกว่าเป็นค่าปีใดปีหนึ่ง โดยเฉพาะ นอกจากนั้นความถูกต้องในการคำนวณการสูญเสียดินบนพื้นที่ขนาดใหญ่ ยังขึ้นอยู่กับ การเลือกค่าของปัจจัยซึ่งต้องมีสภาพทางกายภาพ และการจัดการว่าถูกต้องมากน้อยเพียงไร บนดินที่มีการประเมินค่าปัจจัยต่าง ๆ สำหรับบริเวณนั้น (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2526) หรือ บางครั้ง จำเป็นจะต้องประเมินค่าปัจจัยใหม่สำหรับปัจจัย ดัดแปลงหรือปรับค่าใหม่สำหรับ ปัจจัยบางตัว เมื่อมาประยุกต์ใช้ในประเทศอื่น ๆ โดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเขตร้อน (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527)

ปัจจัยทั้ง 6 ตัวในสมการการสูญเสียดินสากล ถึงแม้ว่าจะได้มีการประเมินไว้แล้ว ส่วนใหญ่ถ้าเป็นตัว เลขหรือดัชนีที่คำนวณจากข้อมูลในสหรัฐอเมริกา ซึ่งการนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นที่แตกต่างกันออกไป ย่อมให้ค่าที่ผิดพลาดเป็นอย่างมาก ดังนั้นเพื่อความถูกต้องจึงจำเป็นต้องประเมินค่าใหม่สำหรับบางปัจจัย และดัดแปลงหรือปรับค่าใหม่สำหรับปัจจัยบางตัว และต้องเป็นปัจจัยที่ได้จากการประเมินในระยะเวลานานถึงจะให้ผลถูกต้อง นิพนธ์ ตั้งธรรม (2527)

ถึงแม้ว่าสมการในการประมาณค่าการสูญเสียดิน ทั้งในลักษณะรูปสมการโดด ๆ และ สมการที่รวมกันเป็นโมเดล จะพัฒนากันมานานพอสมควรแล้ว ปัจจุบันยังไม่สามารถยืนยันได้ ว่าสมการและโมเดลที่พัฒนามานั้น จะสามารถหาคำนวณค่าการสูญเสียดินได้ถูกต้องแม่นยำ (นิพนธ์ ตั้งธรรม ,2527) ซึ่ง Meyer and Wischmeier (1969) ได้พบว่า สมการนี้เป็นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในท้องถิ่น ๆ เข้าด้วยกัน และสร้างขึ้นเพื่อใช้คาดคะเนการสูญเสีย ดินในช่วงเวลายาวเท่านั้น ไม่มีรายละเอียดทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงกลไกของกระบวนการ เคลื่อนย้ายตะกอนจากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่งบนความลาดเทอันใดอันหนึ่ง ความผันแปรของโลก และกระบวนการตามเวลาก็มีได้คำนึงถึงแต่อย่างใด ดังนั้นการใช้สมการการ สูญเสียดินสากลคำนวณหาการสูญเสียดิน ณ ที่ใด จึงมักกำหนดค่าต่าง ๆ ให้คงที่เสมอ โดย มิได้คำนึงถึงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย ค่าที่ได้จากสมการการสูญเสียดินสากลมักผิดไปจากที่ วัดได้จริงอยู่มาก (Wischmeier 1966; นิพนธ์ ตั้งธรรม ,2527)

Osborn et al (1977) ได้ทำการศึกษาการสูญเสียดินที่คาดคะเนได้จากการใช้ สมการการสูญเสียดินสากลจะมีค่ามากกว่าปริมาณการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริง เมื่อใช้ข้อมูล น้ำฝนในช่วง 3 ปี และถ้าใช้ข้อมูลน้ำฝนในช่วงระยะเวลานานขึ้นอีกคือ 15 ปี ค่าปริมาณ การสูญเสียดินที่ได้จะไม่แตกต่างกัน และ Evans and Kalkanis (1977) ได้ใช้สมการ นี้ศึกษาในแคลิฟอร์เนีย ผลปรากฏว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งด้านตะวันตก และด้านตะวันออก การ สูญเสียดินที่ได้จากสมการการสูญเสียดินสากลจะมากกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง

ดวงตา ไร่เจริญรัตน์ (2528) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง กับจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล ในพื้นที่ลุ่มน้ำกาแล จ. ระยอง ปริมาณการสูญเสีย ดินสากลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจะหาค่ามากกว่าปริมาณการสูญเสียดิน ที่ได้จากการ ตรวจวัดจริง และค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าเป็น 0.38 เท่าของการสูญเสียดินที่ได้จาก การคำนวณ มีความสัมพันธ์กันไปในทางเดียวกันในรูปแบบสมการ $Y = 3.76 + 0.31 X$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.92 และถ้ามีการศึกษาในเวลาที่ยาวนาน อาจ จะนำเอาความสัมพันธ์มาหาค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าคงที่ ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในสมการ เพื่อให้ การคำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง

ซึ่งผลการทดลองนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับ สมศักดิ์ เหลืองสะอาด (2530) ที่ได้ทำการทดลองบนพื้นที่เดียวกัน พบว่าการสูญเสียดินที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล มีค่ามากกว่าการสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลอง เนื่องจากดัชนีของฝน คือ EI_{30} อาจใช้ไม่ได้ในพื้นที่นี้ ซึ่ง นิพนธ์ ตั้งธรรม (2527) กล่าวว่า ค่าการสูญเสียดินที่ได้จากการคำนวณในสมการนี้ ใช้เฉพาะค่า EI_{30} ไม่ได้คำนึงถึงน้ำไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญ เพราะน้ำไหลบ่าหน้าดินมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนเป็นอย่างมาก การที่ใช้สมการการสูญเสียดินสากลในการประมาณค่าการสูญเสียดินได้ถูกต้องแม่นยำนั้นจะต้องเพิ่มปัจจัยต่าง ๆ อีกหลายอย่างเข้าไปด้วย เช่น พลังพังทลายของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ทำให้สมการที่คำนวณค่าได้ถูกต้องเมื่อประมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินอันเกิดจากฝนตกหนักเบาต่างกันดีกว่าจะใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว

2.8 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ฐานสมการการสูญเสียดินสากล

2.8.1 ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor, R)

นิพนธ์นับว่าเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งความมากน้อยของการเกิดการพังทลายของดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดฝน การกระจายของฝน ความเร็วของเม็ดฝนที่ตก รวมทั้งมวลของเม็ดฝน และพลังงานจลน์ที่เกิดจากแรงตกกระทบของเม็ดฝน (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527)

ตัวการที่สำคัญที่สุดในปัจจัยเกี่ยวกับสภาวะอากาศก็คือ ฝน ซึ่ง Osborn (1955) ได้กล่าวถึงความสามารถในการกัดกร่อนของน้ำฝนว่าเป็นผลรวมของลักษณะ 2 อย่าง คือ ความหนักเบาของฝนที่ตก (intensity) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน และความเร็วของเม็ดฝนที่ตกกระทบผิวดิน Ferrell et al (1974) และ Kinnell (1974) ได้ทดลองโดยใช้ Splash-cup ก็ได้ผลออกมาเช่นเดียวกัน

สมเจตน์ จันทวีณ์ (2522) กล่าวว่า การพังทลายของดินที่เกิดขึ้นโดยผืนดิน เป็นปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างผืนดิน ปริมาณการเกิดการพังทลายภายใต้สภาพสภาพหนึ่ง ขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการก่อให้เกิดการพังทลายของผืนดินกับความยากง่ายในการพังทลายของดิน ผลของพายุฝนที่ก่อให้เกิดการพังทลายของดินเดียวกันต่างกันเรียกว่า ความสามารถที่ก่อให้เกิดการพังทลายของพายุฝน (rainfall erosivity) ดังนั้นคำว่า erosivity จึงให้ความหมายว่า ความสามารถที่ก่อให้เกิดการพังทลายของดินโดยผืนดิน ซึ่งควบคุมโดยลักษณะทางกายภาพของผืนดิน และขึ้นอยู่กับสมบัติต่าง ๆ ของผืนดินเพียงอย่างเดียวไม่ขึ้นกับดินอาจวัดได้เมื่อเกิดการพังทลาย ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความยากง่ายในการพังทลายของดิน

McIntyre (1958) ได้กล่าวสรุปลักษณะการกัดเซาะของเม็ดฝนที่ตกกระทบไว้ว่า มี 4 ลำดับขั้นตอน คือ ตอนแรกหน้าดินจะเปียกอย่างรวดเร็วให้ดินแยกตัว และการตกกระจายทำให้เกิดการอัดแน่นเป็นแผ่นบาง ๆ หน้าผิวดิน น้ำเอ่อหน้าดินหนาขึ้น การบ่มพูนของหน้าดินจากการตกกระทบของเม็ดฝนจะกวาดเอาเม็ดดินที่อัดแน่นอยู่หน้าดินออกไปบ้าง ซึ่งจะทำให้การซึมน้ำผ่านผิวดินมีอัตราสูงขึ้น ขณะเดียวกันอัตราการตกกระจายของผิวดินก็จะเพิ่มขึ้น

การประเมินค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนดินจากข้อมูลที่ผืนดินตก โดยใช้เป็นค่าดัชนีต่าง ๆ และดัชนีของผืนดินนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียดินในสมการการสูญเสียดินสากล มีการศึกษาในหลายรูปแบบซึ่ง Bergsma (1978) ได้รวบรวมไว้ดังนี้ คือ

2.8.1.1 ดัชนี EI_{30}

เป็นผลคูณของพลังงานของฝนที่ตกในครั้งนั้น กับ ความหนักเบา 30 นาทีสูงสุดที่เกิดขึ้นในฝนครั้งนั้น ซึ่ง Wischmeier and Smith (1958) ได้พัฒนาขึ้นโดยการตรวจสอบลักษณะของฝนหลายลักษณะ พบว่า ลักษณะเด่นชัดที่มีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดิน คือ ผลคูณของพลังงานของฝนที่ตกในครั้งนั้น ๆ กับ ความหนักเบา 30 นาทีสูงสุดที่เกิดขึ้นในฝนครั้งนั้น นั่นคือ ดัชนี EI_{30}

Wischmeier and Smith (1958) รายงานว่า การสูญเสียดินที่เกิดขึ้นในระหว่างพายุฝนแต่ละครั้งนั้นไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน หรือ ปริมาณสูงสุดในระยะเวลาที่ฝนตกต่าง ๆ แต่ว่าการสูญเสียดินมีสหสัมพันธ์กับ Momentum ของฝน แต่ที่ดีที่สุดคือ พลังงานจลน์ของฝนมีสหสัมพันธ์กับการสูญเสียดิน อย่างไรก็ตามยังมีความแปรปรวนอีกมากที่สามารถอธิบายได้จากสหสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ ดังนั้นจึงได้ใช้หลัก Multiple regression มาช่วยในการทดสอบรอยนัยปัจจัยต่าง ๆ มารวมกัน และผลที่สุดก็พบว่ามาตรการที่ใช้ประเมินการสูญเสียดินที่ดีที่สุด คือ มาตรการที่เกิดจากการผสมผสานกันหลายอย่าง (compound parameter) ได้แก่ ผลคูณระหว่างพลังงานจลน์ของฝนกับความแรงของฝนในระยะฝนตก 30 นาที ซึ่งหมายถึงความแรงของฝนเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีในขณะที่มีพายุฝนเกิดขึ้น และพบว่า ปริมาณการสูญเสียดินมีสหสัมพันธ์ดีที่สุดกับผลคูณระหว่างพลังงานจลน์ของฝนกับความแรงสูงสุดของฝนในช่วงเวลา 30 นาที การวัดความสามารถในการก่อให้เกิดการพังทลายโดยฝนที่เรียกว่า การใช้ EI_{30} เป็นดัชนี และสามารถคำนวณค่า erosivity ของพายุฝนแต่ละครั้ง และนำมารวมกันเป็นช่วงเวลาและอาจจะเป็นสัปดาห์ เดือน หรือ รายปี

Smith and Wischmeier (1962) สรุปว่า ดัชนี EI_{30} จะมีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินอันเนื่องมาจากฝนตกครั้งหนึ่ง ประมาณ 70-90 % นอกนั้นเป็นอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งผลการทดลองนี้ ทดสอบพื้นที่ที่มีการไหลพรกขึ้นลงตามแนวลาดเท โดยใช้ดินชนิดต่าง ๆ กัน

นิพนธ์ ตั้งธรรม (2527) ได้กล่าวว่า พลังงานจลน์ของเม็ดฝนขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของเม็ดฝนและปริมาณที่ตก ส่วนค่าความหนักเบา 30 นาทีสูงสุด เป็นตัวกำหนดว่าจะมีน้ำไหลบ่ามากน้อยเพียงใด ในกรณีที่มีปริมาณฝนตกไม่มากนัก แต่ความหนักเบาสูงสุดในช่วง 30 นาทีสูงมาก ก็จะทำให้ค่าดัชนี EI_{30} สูงได้ ดัชนีจึงสะท้อนให้เห็นอัตราการสูญเสียดินอย่างเด่นชัด และ วีระชาติ เทพพิสิฐ (2524) ได้ใช้ดัชนีดังกล่าว ทำการศึกษาการสูญเสียดินบนภูเขาสูง ดอยบุย จังหวัดเชียงใหม่ ปรากฏว่า การสูญเสียดินจากพื้นที่จะมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับดัชนีดังกล่าว

สำหรับปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor, R) ที่ใช้ประเมินการสูญเสียดินจากพื้นที่ในสมการสูญเสียดินสากล เป็นค่าที่ได้จากผลการทดลองรวมรายปีหรือรายฤดูของพลังงานฝนแต่ละครั้ง (Individual storm rainfall factor) ที่วิเคราะห์ด้วยดัชนี EI_{30} เนื่องจากค่า R ที่ใช้นี้มีผลต่อการการพังทลายของดินอันเนื่องมาจากฝนตกครั้งหนึ่ง ๆ เป็นอย่างสูง และค่านี้เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นทางการที่จะนำไปใช้สมการการสูญเสียดินสากล เพื่อประเมินปริมาณดินที่สูญเสียจากพื้นที่ (Wischmeier and Smith, 1958)

ค่าดัชนี EI_{30} ใช้ในการวิเคราะห์ค่า R-factor เป็นดัชนีที่มีข้อมูลผลการศึกษาและทดลองในพื้นที่ต่าง ๆ จากแปลงทดลองมากกว่า 10,000 แปลง-ปี ของสหรัฐอเมริกาอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาถึง 22 ปี จนสามารถเชื่อถือได้อย่างมีนัยสำคัญมากกว่า และได้มีการนำไปใช้ทดลองศึกษาในประเทศต่าง ๆ ทั้งในเขตร้อนชื้น กึ่งร้อนชื้น และเขตอบอุ่น ก็พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดการพังทลายของดินอย่างมีนัยสำคัญที่เชื่อถือได้

Wischmeier and Smith (1958) ได้กำหนดแนวทางในการวิเคราะห์ค่า R ตามขั้นตอนดังนี้

- (1) อ่านค่าปริมาณฝนตกในช่วงที่ต่อเนื่องกันหรือห่างไม่เกิน 6 ชม. และมีปริมาณฝนที่ตกไม่น้อยกว่า 12.5 มม. ขึ้นไปในช่วงที่ตก 15 นาที
- (2) จากเส้นกราฟที่บันทึกปริมาณและช่วงเวลาที่ฝนตก เลือกช่วงเวลา 30 นาทีที่มีฝนตกมากที่สุด คูณด้วย 2 เป็นค่าของ I_{30}
- (3) หาค่าพลังงานของฝนในครั้งหนึ่ง ๆ กระจายค่าปริมาณของฝนที่ตกเป็นส่วนส่วนตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นที่บันทึกปริมาณน้ำฝน นำค่าที่ได้ไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$KE = 916 + 331 \log I \quad (\text{หน่วยอังกฤษ})$$

เมื่อ KE = พลังงานจลน์ของฝน (ฟุต-ตัน/เอเคอร์-นิ้ว)

I = ความหนักเบาของฝน (นิ้ว/ชั่วโมง)

หรือดัดแปลงโดย Dangler and El-Swaify (1976)

$$KE = 210.3 + 89 \log I \quad (\text{หน่วยเมตริก})$$

เมื่อ KE = พลังงานจลน์ของฝน (เมตร-ตัน/เฮกแตร์-ชม)

I = ความหนักเบาของฝน (ชม/ชม.)

(ภาคผนวกที่ 1 ก.)

(4) ค่า KE ของช่วงต่าง ๆ ในครั้งหนึ่งที่ฝนตก นำไปคูณด้วย

ปริมาณฝนของช่วงนั้น ๆ ก็จะได้เป็นค่าพลังงานของฝน (E)

(5) ผลรวมของค่า E คูณด้วย I_{30} พาร์ด้วย 100 จะได้เป็นค่า EI_{30}

(6) ผลรวมของค่า EI_{30} ตลอดทั้งปีคือค่า R ที่นำไปใช้ใน USLE

สมศักดิ์ เหลืองสะอาด (2530) ได้ศึกษาพบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำกาแล จ.ระยอง ค่าดัชนี EI_{30} มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับดัชนี AI_m และ $KE > 1$ ซึ่งดัชนีการกัดเซาะของฝนที่ใช้คำนวณในสมการการสูญเสียดินสากลในประเทศไทย หรือ ในต่างประเทศใช้ค่าดัชนี EI_{30} เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากดัชนี EI_{30} ของ Wischmeier and Smith (1965) นั้นได้จากการทดลองถึง 22 ปี จากแปลงทดลองมากกว่า 10,000 แปลง-ปี แต่การทดลองในประเทศไทย ซึ่งลักษณะฝนตลอดจนสภาพภูมิอากาศแตกต่างจากประเทศไทยอย่างแน่นอน ดังนั้นดัชนี EI_{30} จึงอาจจะยังไม่เหมาะสมสำหรับการคิดคำนวณค่าสมการการสูญเสียดินสากลในบริเวณลุ่มน้ำกาแล หรืออาจจะไม่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยก็ได้

การคำนวณค่าดัชนี EI_{30} จากวิธีดังกล่าวอาจจะคิดไปจากความเป็นจริงก็ได้ เมื่อความลาดชันมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณพลังงานของความหนักเบาของฝน มักคิดเอาว่าเม็ดฝนกระทบผิวน้ำแล้วตั้งฉากกับพื้นราบเสมอ จึงนับเป็นเรื่องที่น่าพิจารณาการเพิ่มความแม่นยำในการคาดคะเนการสูญเสียดินโดยอาศัยพารามิเตอร์ลักษณะของฝนเพียงอย่างเดียว (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527)

สำหรับประเทศไทยนั้น ได้มีการประยุกต์การหาค่าดัชนี EI_{30} จากปริมาณน้ำฝนรายปี โดย มนุ ศรีจักร และคณะ (2527) เพื่อแก้ปัญหาความยุ่งยากที่ต้องอาศัยข้อมูลจาก

เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ได้ดำเนินการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีนี้ กับปริมาณน้ำฝนทั้งปีตาม เขตภูมิอากาศในประเทศไทยตามการแบ่งของ Koppen ดังนี้

- (1) เขต Tropical rainfall climate ได้แก่บริเวณภาคใต้ตั้งแต่ชุมพรลงไป และแถบตะวันออกตอนล่างบริเวณจังหวัด สุราษฎร์

$$Y = 0.4996 X - 12.1415 \text{ เมตร-ตัน/เฮกแตร์/ปี}$$

$$r = 0.9482$$

- (2) เขต Savannah climate ได้แก่บริเวณส่วนใหญ่ของภาคกลาง ตะวันตกเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

$$Y = 0.8660 X - 323.01 \text{ เมตร-ตัน/เฮกแตร์/ปี}$$

$$r = 0.7211$$

ในขณะที่เดียวกัน จินตนา มานพพงศ์ และ สุธีร์ ปลัดสงคราม (2529) ได้ดำเนินการหาค่าดัชนี EI_{30} ในท้องที่จังหวัดเชียงใหม่ เพชรบูรณ์ ยะลา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี จากข้อมูลน้ำฝน แต่ยังไม่ได้หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประเมินของ มนุ ศรีขจร และคณะ (2527) ซึ่งสามารถ จันทรมณี และคณะ (2532) เห็นว่าสหสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นแนวทางที่จะหาค่า R ได้ในกรณีมีขีดจำกัดในเรื่องเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งน่าจะนำมาใช้ในขณะนี้

2.8.1.2 ดัชนี $KE > 1$

เป็นดัชนีที่คิดรวมเฉพาะพลังงานที่เกิดจากฝนที่มีอัตราความหนักเบาสูงกว่า 1 นิ้ว (หรือ 25 มิลลิเมตร) ต่อชั่วโมง โดย Hudson (1971) พบว่า ค่าดัชนี EI_{30} ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีฝนตกหนัก และมีอัตราความหนักเบาสูงมาก อย่างในอัฟริกาใต้ จึงได้พัฒนาดัชนีอื่นขึ้นมาแทน โดยมีแนวความคิดยึดถือหลักว่าจะต้องมีค่าเริ่มต้นอันหนึ่งของความหนักเบาของฝนที่จะทำให้พลังงานของมันมีมากพอที่จะทำให้หน้าดินเริ่มแตกแยกและพังทลายได้ แนวความคิดนี้มาจากการสังเกตเห็นว่า ฝนที่ตกแผ่วเบา นั้นมักไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะเลยหรือมีก็น้อยมาก ซึ่งตรงกับความเป็นจริงและที่คาดหมายเอาไว้ แม้จะมีการกัดเซาะทำหน้า

ดินแตกได้ ก็ไม่มีแรงพอที่จะหอบหรือเคลื่อนย้ายดินนั้นไปได้ จากการศึกษาพบว่า จะมีค่าต่ำสุดอันหนึ่งของความหนักเบาของฝนที่จะก่อให้เกิดพฤติกรรมเช่นนั้น นั่นคือ การชะล้างพังทลายของดินจะเกิดขึ้นได้เมื่อฝนตกมีอัตราความหนักเบาเกินระดับวิกฤติ โดยการทดลองในอาฟริกา ซึ่งทำการทดลองมา 13 ปี จากแปลงทดลอง 2,500 แปลง-ปี Hudson (1971) พบว่า ค่านี้มีค่าประมาณ 1 นิ้ว/ชั่วโมง หรือ ประมาณ 25 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ดังนั้นจึงเสนอดัชนีพลังงานขึ้นมาใหม่ เรียกว่า $KE > 1$ เพื่อใช้คำนวณหาค่าการสูญเสียดินแทนค่า EI_{30} ซึ่งการประยุกต์ค่า $KE > 1$ มีความเหมาะสมสำหรับเขต Tropic และบริเวณใกล้เคียงร้อนมากกว่าค่า EI_{30} และมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียดินและน้ำมากกว่าด้วย

สำหรับการหาค่า $KE > 1$ นั้น Hudson (1971) แนะนำให้ใช้ค่าปริมาณฝนตกมากกว่า 1 นิ้ว/ชั่วโมง หรือ 25 มิลลิเมตร/ชั่วโมง เท่านั้น ไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยคิดปริมาณฝนในแต่ละชั้นความหนักเบาที่แตกต่างกันจากกราฟบันทึกน้ำฝนอัตโนมัติ ไปคูณกับค่าพลังงานของฝนของแต่ละช่วงความรุนแรง (I) เช่นเดียวกับข้อ 4 ข้างต้น แล้วนำค่า KE ที่มีค่า I มากกว่า 25 มิลลิเมตร มารวมกันในแต่ละครั้งที่ฝนตก โดยไม่ต้องนำไปคูณกับอะไรอีก ผลรวมของทั้งปีหารด้วย 100 จะใช้เป็นค่า R ดังสมการ

บุญ ศรีขจร และคณะ (2527) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี กับ ปริมาณน้ำฝนรายปี เช่นเดียวกับ EI_{30} พบว่า มีความสัมพันธ์กันสูง โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

- 1) เขต Tropical rainfall climate ได้แก่ บริเวณภาคใต้ตั้งแต่ชุมพรลงไป และแถบตะวันออกตอนล่างบริเวณจันทบุรี ตรารด

$$Y = 0.1960 X - 13.3905 \text{ เมตร-ตัน/เฮกแตร์/ปี}$$

$$r = 0.9336$$

- 2) เขต Savannah climate ได้แก่ บริเวณส่วนใหญ่ของภาคกลาง ตะวันตกเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

$$Y = 0.163 X - 0.0375 \text{ เมตร-ตัน/เฮกแตร์/ปี}$$

$$r = 0.727$$

2.8.1.3 ดัชนี AI_m

La1 (1976) พบว่าการสูญเสียดินมีความสัมพันธ์อย่างสูงต่อผลคูณของพลังงานน้ำฝนทั้งหมดที่ตกในครั้งนั้น (A) กับความหนักเบาสูงสุดของฝนในครั้งนั้น (I_m) และ รายงานการทดลองในประเทศไนจีเรีย พบว่า สหสัมพันธ์ระหว่าง AI_m กับ ปริมาณของน้ำที่ไหลบ่า และการสูญเสียดินดีกว่าค่า $KE > 1$ และ EI_{30}

ดัชนี AI_m นั้นเป็นผลรวมของปริมาณน้ำฝนคูณกับความแรงหรือความหนาแน่นสูงสุดวันแต่ละวันที่มีฝนตกในปี และหน่วยของดัชนี AI_m เป็น ซม.²/ชม. ปกติดัชนี AI_m อยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 นั้นจะมีฝนตกทั้งปีมากกว่า 1 ถึง 1,000 มม. และมีค่าระหว่าง 1 ถึง 30 สำหรับบริเวณที่มีฝนตก 2,000 มม ถึง 3,000 มม. ต่อปี อย่างไรก็ตามค่าดัชนีนี้ยังต้องปรับปรุงอีก เช่น อาจจะรวมความเร็วลมไว้ด้วยในกรณีลมแรงร่วมด้วย ปัจจุบันค่านี้ยังไม่ใช้อย่างแพร่หลายเท่าค่าดัชนี $KE > 1$ และ EI_{30} และการหาค่าความแรงหรือความหนาแน่นของฝนสูงสุด (maximum intensity) ของพายุฝนแต่ละครั้งใช้เวลามากกว่าค่า EI_{30} (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2522)

สมศักดิ์ เหลืองสะอาด (2530) ได้ศึกษาบริเวณลุ่มน้ำกาแล พบว่า ดัชนี AI_m ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับดัชนี $KE > 1$ และ EI_{30} ดังนั้นดัชนี AI_m ที่คำนวณได้จะเหมาะสมกับพื้นที่ และควรที่จะนำมาศึกษาและประยุกต์ใช้กับค่า R ในการคำนวณการสูญเสียดิน

2.8.1.4 Erosivity Factor (E)

สมการการสูญเสียดินสากลในเบื้องต้นนั้น ได้พัฒนามาจากการคาดคะเนหาปริมาณการสูญเสียดิน เฉลี่ยรายปี และดัดแปลงนำมาใช้สำหรับประเมินการสูญเสียดินที่เกิดจันจากฝนในแต่ละครั้ง แต่ไม่ได้คำนึงถึงน้ำไหลบ่าหน้าดินแต่อย่างใด ทั้งนี้ในสภาพจริงตามธรรมชาติ น้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้มีการสูญเสียดินออกจากพื้นที่ เพราะนอกจากพลังงานจลน์ของน้ำไหลบ่าหน้าดินจะมีอิทธิพลที่ทำให้เม็ดดินแตกแล้วยังพัดพาเอาอนุภาคดินดังกล่าวไปจากพื้นที่

ที่ด้วย ดังนั้นพลังงานจลน์ทั้งหมดที่ทำให้เกิดการสูญเสียดินและน้ำจะเกิดจากผลรวมของพลังงานจลน์ของทั้งสอง ซึ่ง Foster et al (1972) ได้ทำการดัดแปลง USLE เป็น $A = EKLSCP$ โดยที่

$$E = 0.5 R + 15 Qq_p^{1/3}$$

E = ผลรวมของพลังงานจลน์ของฝนผนวกกับพลังงานจลน์น้ำไหลบ่าหน้าดิน (erosivity factor), ฟุต-ตัน/เอเคอร์

R = พลังงานจลน์ของฝน (rainfall factor), ฟุต-ตัน/เอเคอร์

Q = ปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดิน , นิ้ว/เอเคอร์

q_p = อัตราไหลสูงสุดของน้ำไหลบ่าหน้าดิน (peak flow rate), นิ้ว/ชั่วโมง-เอเคอร์

และสามารถแปลงสูตรเป็นหน่วยเมตริก สมการจะอยู่ในรูป

$$E = 0.5 R + 3.251 Qq_p^{1/3}$$

E = ผลรวมของพลังงานจลน์ของฝนผนวกกับพลังงานจลน์น้ำไหลบ่าหน้าดิน (erosivity factor), เมตร-ตัน/เฮกแตร์

R = พลังงานจลน์ของฝน (rainfall factor), เมตร-ตัน/เฮกแตร์

Q = ปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดิน (เซนติเมตร/เฮกแตร์)

q_p = อัตราไหลสูงสุดของน้ำไหลบ่าหน้าดิน (peak flow rate), เซนติเมตร/ชั่วโมง-เฮกแตร์

ชาตรี มากนวล (2534) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดิน กับอิทธิพลร่วมระหว่างพลังชะล้างพังทลายของฝน (EI) กับน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Q) ของแปลงทดลองปลูกสร้างสวนป่า บนดอยอ่างขาง เชียงใหม่ พบว่า สองปัจจัยเป็นตัวการทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน และน้ำไหลบ่าหน้าดินจะมีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดการสูญเสียดินจากขบวนการชะล้างพังทลายของดินมากกว่าอิทธิพลที่เกิดจากพลังชะล้างพังทลายของฝน และเมื่อใช้ปัจจัยทั้งสองร่วมกันในการประเมินค่าการสูญเสียดิน จะให้ค่าความสัมพันธ์ดีกว่าเมื่อใช้เพียงปัจจัยเดียว และ Onstad and Foster (1975) ได้ทดลองนำค่า Erosivity factor มาใช้ในสมการเพื่อประเมินการสูญเสียดินจากกลุ่มน้ำได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

2.8.1.5 ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนที่สัมพันธ์กับระดับความสูง

ระดับความสูงของพื้นที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำฝนอย่างมาก ในขณะที่เดียวกันปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับความสูงจากระดับน้ำทะเล ทิศด้านลาด และพลังงานของฝน มีความสัมพันธ์อย่างสูงกับปริมาณน้ำฝนด้วย (สุกรีรัตน์ สารานู , 2527)

จากการศึกษาของ สุกรีรัตน์ สารานู (2527) และ วัฒนชัย คีรหงษาวิทย์ (2528) พบว่า ค่าปัจจัยนี้มีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ดังนี้

$$R = 8.24 * \text{Rain (mm)} - 215.06$$

for elevation > 800 m MSL

(สุกรีรัตน์ สารานู, 2527)

$$R = 4.23 * \text{Rain (mm)} - 21.06$$

for elevation < 800 m MSL

(วัฒนชัย คีรหงษาวิทย์, 2528)

2.8.2 ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน

(soil erodibility factor, K)

ความแตกต่างของลักษณะเนื้อดินโครงสร้างของดิน ความแน่นของดิน การยอมาให้น้ำซึมได้และความสามารถในการซึมน้ำของผิวดินแต่ละชนิด จะเป็นตัวกำหนดอัตราความคงทนของดินต่อการชะล้างพังทลายที่แตกต่างกันไป แม้ว่าจะมีการชะล้างและ เคลื่อนย้ายแรงปะทะของน้ำฝนและน้ำไหลพาหน้าดินในอัตราและบริเวณเดียวกัน บนความลาดชัน และ สภาพการปกคลุมดินของพืชพรรณใกล้เคียงกัน

Wischmeier et al (1958) ได้แสดงถึงค่าความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งเป็นอัตราการชะล้างพังทลายของดินต่อหน่วยพื้นที่ที่ได้จากแปลงทดลองในพื้นที่จริงและคุณสมบัติของดินประการนี้จะแตกต่างกันตามชนิดของดิน ค่านี้เป็นค่าที่บอกถึงความคงทนต่อการถูก

ชะล้างพังทลายได้ดี เพราะเป็นค่าที่บอกถึงทั้งความยากง่ายต่อการกัดเซาะ และการถูกเคลื่อนย้าย และสามารถนำไปประเมินการสูญเสียดินได้ แต่การนำค่าดัชนีความยากง่ายในการพังทลายของดินไปใช้แปลงทดลองนั้น จำเป็นต้องใช้เวลาและการลงทุนสูง

Wischmeier and smith (1978) กล่าวว่า ความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility) แตกต่างไปจากคำว่า " การชะล้างพังทลายของดิน" และจะมีค่ามากน้อยเพียงใด อาจขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ พลังชะล้างของฝน ลักษณะและปริมาณพืชคลุมดิน และการจัดการพื้นที่มากกว่าที่จะขึ้นอยู่กับสมบัติดั้งเดิมของดินเอง อย่างไรก็ตาม สามารถกล่าวได้ว่า ในสภาพที่คล้ายคลึงกันดินชนิดหนึ่งอาจถูกชะล้างพังทลายได้ง่ายกว่าดินอีกชนิดหนึ่ง ความแตกต่างของการถูกชะล้างพังทลายนี้เป็นผลเนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวของดินเองเป็นสำคัญ คุณสมบัติดังกล่าวนี้เรียกว่า ความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินเอง สมบัติดังกล่าวนี้ได้มีนักอนุรักษ์ดินหลายท่านในยุคแรก ๆ เช่น Browning et al (1947), Lillard et al (1941) , Middleton et al (1932-1934) และ Peele et al (1945) ได้พยายามที่จะกำหนดมาตรการในการจำแนกความคงทนของดิน แต่ก็ได้แต่จัดอันดับความทนทานของดินเปรียบเทียบกับกันระหว่างชนิดของดินเท่านั้น

ค่า K นี้ เป็นการรวมผลต่าง ๆ ของสมบัติต่าง ๆ ของดิน ซึ่งมีอิทธิพลต่อการซึมซับน้ำของดิน ความต้านทานต่อการแตกกระจายของดิน และความต้านทานต่อการขนย้ายของดิน โดยฝนที่ตกลงมากับน้ำที่ไหลไปตามผิวดิน ค่า K นี้ ตั้งแต่ 0.7 เป็นค่าของดินที่เกิดการพังทลายได้ง่ายมาก (highly erodible) ได้แก่ ดินร่วน (loam) และดินร่วนปนตะกอน (silt loam) จนถึงมีค่าน้อยกว่า 0.1 ซึ่งจะเป็นค่าดินทราย และดินที่มีกรวดซึ่งมีอัตราการซึมซับน้ำมาก (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2526)

Singh et al (1981) ได้ศึกษาและทดสอบสมการดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์ค่า K จากแปลงทดลองซึ่งมีขนาดต่างกัน แต่สามารถจะอยู่ในขนาด 1/1000 ถึง 1 /15 เฮกแตร์ แล้วนำไปปรับค่า โดยอาศัยปัจจัยความลาดชันเป็นตัวปรับค่าการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง

2.8.2.1 การประเมินค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโนโมกราฟ

สำหรับค่าปัจจัยนี้ที่ประเมินได้ภายใต้สภาพที่ควบคุมตามกฎเกณฑ์มาตรฐาน และแยกสมบัติของดินบางประการออกมาวิเคราะห์นั้น เป็นวิธีการที่ต้องใช้เวลาและทุนมาก ดังนั้น Wischmeier et al. (1971) จึงได้คิดค้นวิธีการหาค่า K ที่สะดวกและไม่ซับซ้อนขึ้น ด้วยการนำใช้สมบัติของดินที่สำคัญ 5 ชนิด คือ

- 1) ผลรวมเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง (silt) กับทรายละเอียดมาก (very fine sand)
- 2) เปอร์เซ็นต์ดินทราย (sand)
- 3) เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุในดิน (organic matter)
- 4) โครงสร้างดิน (soil structure)
- 5) การซึมน้ำในดิน (soil permeability)

ซึ่งสมบัติดังกล่าวนี้ เป็นสมบัติของดินที่มีความสัมพันธ์ร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่า K จึงถูกนำมาสร้างเป็นแผนภาพที่เรียกว่าโนโมกราฟ (nomograph) ดังแสดงในภาคผนวกที่ 1 ค. ทำให้ง่ายและสะดวกเมื่อทราบสมบัติของดินดังกล่าว ก็สามารถหาค่า K ได้จากแผนภาพนี้ และสามารถนำไปใช้หาค่า K ได้ในทุกสภาพท้องที่ ซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกับที่ได้จากแปลงทดลองในพื้นที่นั้น ๆ และสำหรับดินที่มีปริมาณทรายแป้งบวกปริมาณทรายละเอียดมากน้อยกว่า 70 เปอร์เซนต์แล้ว แผนภาพโนโมกราฟจะประเมินได้จากสมการดังนี้

$$100 K = 2.1 M^{1.14} (10)^{-4(12-a)} + 3.25 (b-2) + 2.5(c-3)$$

ซึ่ง $M = (\% \text{ ทรายแป้ง} + \% \text{ ทรายละเอียดมาก}) (100 - \% \text{ ดินเหนียว})$

$a = \% \text{ อินทรียวัตถุ}$

$b = \text{ดัชนีที่ใช้เป็นค่าแทนลักษณะโครงสร้างของดิน}$

$c = \text{ระดับอัตราการซึมน้ำของดิน}$

ในประเทศไทยนั้นการทดลองหาค่า K มีอยู่ในวงจำกัด สำหรับงานวิจัยเฉพาะจุด และทั้งหมดก็เป็นการศึกษาถึงอัตราการชะล้างพังทลายของดินในสภาวะที่มีพืชพรรณปกคลุม หรือการจัดการต่าง ๆ กันในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนและน้ำไหลบ่าผิวดินที่แตกต่างกัน กัน โดยมีได้มุ่งหมายที่จะทดลองเพื่อศึกษาถึงค่า K โดยเฉพาะ ในเมื่อยังมิได้มีการศึกษาทดลองที่สามารถจะนำผลมาประยุกต์ใช้ในการหาค่า K เฉพาะถิ่นได้ในการประมาณค่า K จึงยึดหลักการศึกษสมบัติของดินทั้ง 5 ประการ ได้แก่ % sand, % organic matter, soil structure, permeability แล้วนำไปหาค่า K โดยใช้แผนภาพรวมกราฟ ซึ่งสมบัติทั้ง 5 ประการนี้สามารถนำข้อมูลมาจากแผนที่ชุดดินที่กรมพัฒนาที่ดินทำการสำรวจไว้แล้ว หรือจากการเก็บตัวอย่างดินในภาคสนาม และนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการดิน

จากงานวิจัยในประเทศไทย กรมพัฒนาที่ดิน (2526) ได้รวบรวมค่า K-factor ของชุดดินต่าง ๆ โดยอาศัยแผนภาพรวมกราฟ (ภาคผนวกที่ 2 ก.) นอกจากนี้ได้อาศัยหลักการดังกล่าว ประเมินค่า K โดยแบ่งประเทศไทยออกเป็นภูมิภาคใหญ่ ๆ 5 ภูมิภาค เพื่อนำมาใช้โดยเพียงทราบชนิดของอนุภาคดิน และสภาพพื้นที่บางประการ

2.8.2.2 การประเมิน K-factor จากการวัดปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองปล่อยทิ้งดินไว้ว่างเปล่าแล้วไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

ปัจจัยความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor) ในความหมายของการประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการดังกล่าว Wischmeier and Smith (1978) ได้รายงานว่าจะต้องอยู่ในรูปปริมาณที่มีหน่วยจากผลการทดลองเฉพาะดินชนิดชนิดหนึ่ง สำหรับค่าของอัตราการสูญเสียดินต่อดัชนีการชะล้างพังทลาย (erosion index units) ในหน่วยของแปลงทดลอง ซึ่งมีขนาดมาตรฐานที่มีความลาดเท 9 % อย่างสม่ำเสมอ และมีความยาว 72.6 ฟุต โดยมีการไถพรวนขึ้นลงตามแนวลาดเทอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เพื่อป้องกันมิให้มีพืชขึ้น และ การอัดแน่นของผิวดินเป็นเวลานานน้อยกว่า 2 ปี ในช่วงเวลาที่ทำการวัดปริมาณการสูญเสียดิน แปลงทดลองจะได้รับการไถพรวนและยกทรงในลักษณะคล้าย

ปลูกข้าวโพดทุกฤดูใบไม้ผลิและใบพรวนตามความต้องการ ในสมการเช่นนี้ ค่า L, S, C และ P จะมีค่าเป็น 1 และค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน จะมีค่า

$$K = \frac{A}{EI} \quad \text{หรือ} \quad \frac{A}{R}$$

Roose (1977) ได้กล่าวว่า พื้นที่เกษตรกรรมแถบอัฟริกาบนพื้นที่ลาดชัน 9 % เป็นตัวแทนที่ไม่เหมาะสมเพราะหาได้ยาก จึงได้ดัดแปลงไปเลือกพื้นที่ในความลาดชันอื่น ๆ และได้ปรับปรุงสูตรในการหาคำนวณจากสมการ

$$K = \frac{A}{R \times SL \times 2.24}$$

เมื่อ

A = การสูญเสียดิน (ตัน/เฮกแตร์)

R = ปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน

S = ปัจจัยความลาดชัน

L = ปัจจัยความยาวความลาดชัน

และ 2.24 คือ สัมประสิทธิ์จากหน่วยเมตริกตัน (ตัน/เฮกแตร์) เป็น ต้นต่อเอเคอร์

สำหรับค่า K-factor จากงานวิจัยโดยการวัดการสูญเสียดินจากแปลงทดลองนั้น วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์ และคณะ (2526) พบว่า ในดินยโสธร มีค่าเฉลี่ย 0.1287 ในขณะที่ สาราญ สมบัติพานิช และคณะ (2526) พบว่า ดินสุพรรณบุรี มีค่าเฉลี่ย 0.014 และ สุรจิตต์ ชัยศิริ และคณะ (2526) ศึกษาในดินชุดน้ำเลนให้ค่า K-factor เท่ากับ 0.40

นอกจากนี้ วาสุเทพ กาญจนกุล และคณะ (2530) ได้ทำการศึกษาในดินชุดห้วยฉัตร และชุดสตึก ให้ค่าเท่ากับ 0.26 และ 0.112 และมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการประเมินด้วยแผนภาพ nomograph ตามลักษณะชุดดินต่าง ๆ (ภาคผนวกที่ 2 ก.) ของกรมพัฒนาที่ดิน

ชาตรี มากนวล (2534) ได้ประมาณค่า K-factor ในสวนป่าไม้เต็งเรื่ออายุ 7 ปี บนชั้นบนดิน มีค่าเฉลี่ย 0.115 ซึ่งเทียบกับปี 2529 ได้ประเมินสวนป่าไม้เต็งเรื่ออายุ 2 ปี มีค่าเฉลี่ย 0.095 ในพื้นที่เดียวกัน

Jantawat (1977) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบลำดับชั้นความยากง่ายในการเกิดการพังทลายของดินบางชนิดในรัฐมิชิแกน พบว่าค่า K ที่ได้จากแผนภาพโรมกราฟ จะให้ค่าสูงกว่า K -factor ที่วัดได้จากแปลงทดลอง

สมเจตน์ จันทวัฒน์ (2522) ให้ข้อมูลว่า ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (K -factor) ในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ

- (1) ค่าที่ดัดแปลงมาจากค่าที่วัดการสูญเสียดิน ซึ่งตั้งโดยกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา โดยศึกษาดินจริงเพียง 20 ตัวอย่างเท่านั้น
- (2) ค่าที่ได้จากการวัดปริมาณการสูญเสียดินจริง ๆ ในสภาพไร่นาแล้วนำมาคำนวณหาค่า K -factor
- (3) ค่าที่ได้จากแผนภาพโรมกราฟ ซึ่งทำขึ้นโดย Wischmeier et al เมื่อ ปี ค.ศ. 1971

จากการเปรียบเทียบปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน 3 วิธี พบว่าค่าจากวิธีการของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา ให้ค่าสูงกว่าค่าจากแผนภาพโรมกราฟ และค่าจากการวัดปริมาณตะกอนจริงในสภาพไร่ นา ค่า K -factor จากโรมกราฟ สูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดปริมาณตะกอนจริงในสภาพไร่ นา

จากการศึกษาค่าความยากง่ายในการพังทลายของดิน บริเวณป่าดิบเขาดอยบุย เชียงใหม่ โดย วีระชาติ เทพพิพิธ (2524) พบว่า ค่าดังกล่าวนี้ได้จากแปลงทดลองโดยอาศัยสมบัติของดิน มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแผนภาพโรมกราฟ ซึ่งตรงกันข้ามกับ ดวงดา รัสเจริญรัตน์ (2528) ที่ได้พบว่าค่าที่ได้จากแผนภาพโรมกราฟ มีค่ามากกว่าที่ได้จากการวัดปริมาณตะกอนจริงในชุดดินนาบอน ลุ่มน้ำกาแล

เรือง จันทรมหเสถียร (2528) ได้ศึกษาค่า K -factor ของดินชุดอ่างขาง บริเวณดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้แผนภาพโรมกราฟ พบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.077 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการประเมินแปลงทดลอง

2.8.2.3 การประเมินค่า K-factor จากเนื้อดินและอินทรีย์วัตถุ

หน่วยงานวิจัยของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (ARS-USDA และ ORD-EPA (1975) ได้ประเมินค่า K-factor จากลักษณะเนื้อดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุตั้งแสดงในภาคผนวกที่ 3 ก.

2.8.2.4 การประเมินค่า K-factor โดยวิธีอื่น ๆ

ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความลาดชันค่อนข้างสูงคือมากกว่า 35 % ขึ้นไป หรือพื้นที่ไม่มีข้อมูลดินทั้ง 5 ประการดังกล่าว สามารถหาค่า K ได้จากความสัมพันธ์จากชนิดดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่ง Tangtham *et al.* (1986) ได้ประยุกต์การหาค่า K ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า K กับชนิดดิน และ การใช้ประโยชน์ที่ดิน

2.8.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง กับ ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก

สำหรับ % silt + % very fine sand ($Si+V_{fs}$) นั้น Watanasak (1978) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่าง % Silt กับ % (silt+ very fine Sand) ในดินชุดต่าง ๆ ของจังหวัดระยอง ในรูปของสมการ

$$\% (Si+V_{fs}) = 1.11 (\% Silt) + 13.6, \quad r = 0.87$$

ในขณะเดียวกัน เรือง จันทรมหเสถียร (2529) ได้ศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่ได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการ

$$\% (Si+V_{fs}) = 1.06847 (\% Silt) + 2.98406$$

การศึกษาความสัมพันธ์นี้จะใช้ประโยชน์ในแง่การนำไปใช้ประเมินเปอร์เซ็นต์ silt รวมกับ very fine sand ซึ่งมีขั้นตอนยุ่งยากในการวิเคราะห์

2.8.3 ปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor, C)

พืชและสิ่งปกคลุมดิน นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เนื่องจากช่วยดูดซับและลดแรงปะทะของเม็ดฝน ลดการไหลของน้ำไหลบ่าหน้าดินให้ช้าลง เป็นการลดแรงที่มากกระทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน ทั้งช่วยทำให้ดินจับกันเป็นก้อนดีขึ้น เพิ่มปริมาณช่องว่างในดินทำให้มีอากาศไหลลงไปได้มากขึ้น ตลอดจนช่วยทำให้กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินมีมากขึ้น (Frevert et al. 1955) เช่นเดียวกับ Baver (1965) ที่ศึกษาไว้ว่า พืชพรรณเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เพราะช่วยลดความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน และลดความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ในขณะเดียวกันยังเพิ่มสมบัติในการซึมซับน้ำของดิน และสอดคล้องกับ Wooldridge (1964) ที่กล่าวว่า สภาพของพืชและสิ่งปกคลุมดินที่เกี่ยวข้องกับการชะล้างพังทลายของดิน คือ ความหนาแน่น และลักษณะที่ปกคลุมติดต่อกันให้เพียงพอ ที่จะลดแรงปะทะจากเม็ดฝนและหน่วงเหนี่ยวให้น้ำไหลบ่าหน้าดินไหลช้าลง

Schwab et al (1966), Morgan (1981) และนิพนธ์ ตั้งธรรม (2527) ได้สรุปบทบาทของพืชที่มีต่อการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน โดยพืชคลุมดินช่วยรองรับเม็ดฝนที่ตกลงมา เป็นการลดพลังงานที่เม็ดฝนกระจายหน้าดินโดยตรง และส่วนต่าง ๆ ของพืชมีส่วนช่วยเพิ่มการซึมซับน้ำ (infiltration) ลดการไหลบ่าหน้าดิน (runoff) เพิ่มการสูญเสียหน้าดินโดยมีการคายน้ำ เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินและช่วยลดความเร็วของการไหลบ่าหน้าดิน

Wischmeier (1975) ได้จำแนกอิทธิพลของพืชพรรณและสิ่งคลุมดินในการป้องกันการพังทลายของดินออกเป็น 3 ส่วน คือ อิทธิพลจากส่วนของเรือนยอดต้นไม้ สิ่งคลุมดินหรือพืชชั้นล่าง และอิทธิพลจากการเพาะปลูกหรือเศษเหลือจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ค่าอิทธิพลต่าง ๆ ดังกล่าวรวมกันจะคิดเป็นค่าประสิทธิภาพการควบคุมการพังทลายของดินโดยพืชคลุมดิน (cropping management factor) หรือ C-factor ในสมการการสูญเสียดินสากลซึ่งใช้สำหรับประเมินหาปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ใด ๆ ได้

2.8.3.1. การประมาณค่า C-factor

Schulz (1981) ให้คำนิยามของ C-factor ไว้ว่า เป็นอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณดินที่สูญเสียจากพื้นที่ที่มีการปกคลุมพืชพรรณและสิ่งคลุมดินต่าง ๆ กับปริมาณดินที่สูญเสียจากพื้นที่ที่ปราศจากพืชหรือสิ่งคลุมดิน และมีการไถพรวนดินเป็นแนวยาวตลอดตามแนวความลาดชัน ในเมื่อพื้นที่นั้นมีระดับของความลาดชันและความยาวของความลาดชันอันเดียวกัน

Dangler and El-Swaify (1976) เสนอการประมาณค่าปัจจัยพืชคลุมดินและการจัดการพืช (C-factor) ไว้ในสมการนี้คือ

$$C = 0.00774 \frac{A}{EKLSP}$$

เมื่อ A = น้ำหนักแห้งของตะกอนที่ได้จากแปลงทดลอง, (ft-ton/acre)

E = เป็นค่า Erosivity factor ที่คำนวณได้จากสมการ
(ft-ton/acre)

K = ปัจจัยความยากง่ายในการเกิดการพังทลายของดิน (K-Factor)

L = ปัจจัยความลาดชัน

S = ปัจจัยความยาวความลาดเท

P = ปัจจัยการปฏิบัติการณ์อนุรักษ์ดินและน้ำ

เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปมาตราเมตริก จะได้สมการเป็น

$$C = 0.774 \frac{A}{EKLSP}$$

โดย A มีหน่วยเป็น m-ton/ha

E มีหน่วยเป็น m-ton/ha

2.8.3.2 ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าไม้

ในป่าดงดิบหรือป่าไม้ผลัดใบที่ยังไม่ถูกรบกวนนั้น ผิวดินได้รับอิทธิพลในการควบคุม

การชะล้างพังทลายของดินจากส่วนต่าง ๆ ของพืชอย่างครบถ้วนและสมบูรณ์มาก ค่า C-factor ที่ใช้ในสมการการสูญเสียดินสากล สำหรับป่าดังกล่าวแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 4 ก.

Wischmeier (1975) กล่าวอีกว่า ในสภาพป่าสมบูรณ์จะมีการคลุมดินของเรือนยอดเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ การสูญเสียดินตามธรรมชาติก็จะมีน้อยมาก จึงได้กำหนดค่า C ของป่าไม้เท่ากับ 0.001 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในประเทศไทย ที่ทำการศึกษาทดลองหาค่า C ของป่าชนิดต่าง ๆ (ภาคผนวกที่ 5,6 ก.)

สำหรับป่าดิบเขาที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ต้นน้ำลำธารทางภาคเหนือของประเทศไทยนั้น การประเมินค่า C-factor ที่จะใช้ในสมการจากแปลงทดลองขนาดเล็ก (4x20 ตารางเมตร) บนพื้นที่ความลาดเท ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อดินประเภท sandy clay loam (ภาคผนวกที่ 7 ก.)

เช่นเดียวกันกับ ถวิล อกศลอนันตวงศ์ (2528) ได้ศึกษาค่า C ในสมการการสูญเสียดินสากลสำหรับป่าดิบเขาที่มีเปอร์เซ็นต์เรือนยอดปกคลุมในระดับต่าง ๆ กันในจังหวัดเชียงใหม่ ปรากฏว่าในป่าดิบเขาธรรมชาติมีค่า C เท่ากับ 0.0009 และในป่าดิบเขาที่มีเรือนยอดปกคลุมประมาณ 20-30 , 40-50 , 50-60 , 60-70 , 70-80 และ 80-90 เปอร์เซ็นต์ มีค่า C เท่ากับ 0.0007 , 0.0010 , 0.0012 , 0.0014 , 0.0011 และ 0.0013 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันมากนัก และภายหลังจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการปกคลุมของเรือนยอดต้นไม้อันแล้วปล่อยให้พื้นที่คืนสภาพตามธรรมชาติก็ได้ค่าไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกัน จึงสรุปว่า เรือนยอดต้นไม้ป่าดิบเขาไม่มีบทบาทต่อ C-factor มากนัก แต่พืชชั้นล่าง ขากพืช สิ่งคลุมดิน รวมทั้งอินทรีย์วัตถุในดินยังคงอยู่ในสภาพเดิม น่าจะมีอิทธิพลต่อค่าประสิทธิภาพการควบคุมการพังทลายของดินในป่าดิบเขาเป็นอย่างมาก

ค่า C-factor ในสมการการสูญเสียดินสากล สำหรับป่าชนิดอื่น ๆ นั้น นิพนธ์ ตั้งธรรม (2527) กล่าวว่า ยังไม่ได้ทำการศึกษาวิจัยในประเทศ แต่อาจจะประยุกต์ข้อมูลของ Wischmeier and Smith (1978) และ วันชัย วิจารณ์ (2524) ใช้กับป่าชนิด

อื่น ๆ หากใช้การพิจารณาที่เหมาะสม หรืออาจใช้วิธีการประเมินจากโมเดลคณิตศาสตร์ที่อาศัย ทฤษฎีและหลักการ อย่างไรก็ตาม ต้องอาศัยองค์ประกอบของป่าที่เกี่ยวข้องกับการประเมินค่านี้

Wischmeier (1975) ได้ประเมินค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าซึ่งน่าจะ เหมาะกับพื้นที่ป่าปลูก หรือป่าที่ผ่านการทำไม้มาแล้วมากกว่าป่าธรรมชาติ ค่าที่ประเมินได้ แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 8 ก. ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยทั่วไปแล้วการประเมินให้ค่าของป่าที่จัดการ ดีที่สุด และสภาพป่าสมบูรณ์ที่สุด มีค่า C-factor เพียง 0.001 นั้นอาจยังสูงเกินไป สำหรับป่าในแถบร้อน ซึ่งพื้นที่ป่ามีอินทรีย์วัตถุสูงและการปกคลุมของพืชชั้นล่างหนาแน่นและ หลากหลายมากกว่าในป่าเขตอบอุ่น

Dissmeyer and Foster (1981) ได้เสนอการประเมินค่า C-factor ใน พื้นที่ป่าไม้ทั้งป่าธรรมชาติ และป่าที่ผ่านการทำไม้ หรือระหว่างมีการทำไม้ ออก ว่าการจะได้ค่า C-factor ที่เป็นดัชนีแทนสมรรถนะในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินในสภาพของป่า ท้องที่ใด ๆ นั้น กระทำได้โดยเลือกค่า C-factor ที่เกิดจากปัจจัยย่อย ๆ ดังกล่าวที่เหมาะสม จากแผนภาพ แล้วคูณค่าทั้งหมดเข้าด้วยกัน ซึ่งค่า C-factor ที่เกิดจากปัจจัยย่อยดัง กล่าวคือ

- 1) ค่า C-factor ที่มีผลจากการที่มีวัตถุคลุมดิน หรือเปอร์เซ็นต์ ความว่างเปล่าของผิวดิน (bare soil subfactor)
- 2) ค่า C-factor ของการปกคลุมของเรือนยอดต้นไม้ (canopy subfactor)
- 3) ค่า C-factor ของการฟื้นตัวของดิน (soil reconsolidation)
- 4) ค่า C-factor ของปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินป่า (high organic content subfactor)
- 5) ค่า C-factor ของอิทธิพลระบบรากของพืชในป่า (fine root subfactor)
- 6) ค่า C-factor ของการประสานเม็ดดินจากเศษเหลือทิ้งของพืช (residual binding effect subfactor)

- 7) ค่า C-factor ของผลจากหลุมบ่อ และรอยครูดไถ หน้าดิน (on-site depression storage subfactor)
- 8) ค่า C-factor ของการเกิดชั้นบ้นไคบนผิวดิน
- 9) ค่า C-factor ของการเกิดรอยครูดไถที่เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นระดับขอบเขา (contour tillage subfactor)

2.8.3.3 ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้าและพื้นที่ว่างเปล่า

ค่า C-factor สำหรับทุ่งปศุสัตว์ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และที่รกร้างว่างเปล่ามีการศึกษาโดยแปลงทดลองน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย ในสหรัฐอเมริกาเน้นักจะใช้ค่าประมาณ 0.02 เป็นค่าโดยเฉลี่ย สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้าโดยทั่วไป อย่างไรก็ตามค่าของ C-factor สำหรับการใช้อยู่บนที่ดินแบบนี้ ผันแปรไปกับชนิดพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมทุ่งหญ้า ความหนาแน่นของหญ้าหรือวัช พืช ซึ่ง Wischmeier (1975) ได้อาศัยทฤษฎีเกี่ยวกับอิทธิพลของความสามารถในการลดการชะล้างพังทลายของพืชพรรณไม้ ประมาณค่า C-factor สำหรับทุ่งปศุสัตว์ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และที่รกร้างว่างเปล่าได้ (ภาคผนวกที่ 9 ก.)

นิพนธ์ ตั้งจธธรรม (2527) ได้กล่าวว่าค่า C-factor บางค่าก็สอดคล้องกับผลการศึกษาจากแปลงทดลองในอดีต แต่อีกหลายค่าสำหรับกรณีอื่น ๆ ของการใช้อยู่บนที่ดินในรูปแบบนี้ยังไม่ได้มีการทดสอบในท้องที่จริง อย่างไรก็ตาม สำหรับการประมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำแล้วค่าดังกล่าวน่าจะนำไปประยุกต์ได้ แต่ควรจะได้มีการทดสอบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองของแต่ละท้องที่บ้าง

เรือง จันทรมหเสถียร (2529) ได้หาค่าดัชนีพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมดิน คือ หญ้าคา กับพันธุ์ไม้ที่ปลูกร่วมกับการทำชั้นบ้นไคดิน (CP-Factor) ที่เกิดจากพลังชะล้างพังทลายของฝน ของการปลูกป่าบนชั้นบ้นไคดินในระยะแรก (1-2 ปี) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.000343 และ ชาศรี มากนวล (2534) ได้ทำการศึกษาต่อเนื่องในบริเวณเดียวกันนี้ เมื่อสวนป่าไม้โตเร็วอายุ 4 ปี บนชั้นบ้นไคดิน พบว่ามีค่าเฉลี่ย 0.000120

2.8.3.4 ค่า C-factor ในพื้นที่เกษตรกรรม

Watanasak (1978) ได้ประเมินค่า C ไว้สำหรับชนิดของพืชพรรณ เพื่อใช้ในการประเมินการสูญเสียดินของจังหวัดชลบุรีและระยอง (ภาคผนวกที่ 10 ก.) และ Singh et al (1981) ได้ประเมินไว้ดังภาคผนวกที่ 11 ก.

ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ์ (2524) ได้ประเมินค่า C เฉลี่ย สำหรับพืชผลทางการเกษตร และประเภทการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ ในเขตที่ทำการปลูกเขตพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์ วันเลิศวรรณปิยะรัตน์ (2528) ได้ประเมิน C-factor ของบ่อแก้วไทยต้นเขียว โดยอาศัยสมการการสูญเสียดินสากลเป็นรายสตรัม แล้วรวมเฉลี่ยเป็นรายปี มีค่า 0.31 ในขณะที่ สุรจิตต์ชัยศิริ และคณะ (2525) ได้ค่า C-factor ของข้าวไร่ตามด้วยข้าวไร่ โดยเก็บเศษพืชออกจากแปลง และทิ้งเศษไว้ในแปลง เท่ากับ 0.8 , 0.62 และการปลูกข้าวไร่อย่างเดียว เท่ากับ 0.68 แต่ วาสุเทพ กาญจนกุล และคณะ (2530) ศึกษาในจังหวัดลำปาง ได้ค่า C-factor ของข้าวไร่ตามด้วยข้าวไร่ ทั้งเก็บออกนอกแปลง และทิ้งเศษพืชไว้ในแปลง ประมาณ 0.83, 0.42 ตามลำดับ แต่ถ้าวางปลูกข้าวไร่ตามด้วยถั่วเขียวจะได้ค่า C-factor เท่ากับ 0.72, 0.48 ตามลำดับ แต่เมื่อไปทำการศึกษาลักษณะเดียวกันในจังหวัดเชียงใหม่พบว่าได้ค่า C-factor เท่ากับ 0.76, 0.53 , 0.64 และ 0.51 ตามลำดับ

2.8.4 ปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท

(slope length and slope gradient factor, LS)

ลักษณะภูมิประเทศ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการพังทลายของดิน เนื่องจากเป็นตัวช่วยส่งเสริมทำให้แรงดึงดูดของโลกมีบทบาทขึ้นในการทำให้ดินเกิดการพังทลาย ลักษณะสำคัญสองประการของภูมิประเทศ ได้แก่ ความชันและความยาวของความลาดเท พื้นที่ที่มีความชันมากและความยาวความลาดเทมาก จะทวีความรุนแรงของน้ำที่ไหลบ่าลงมาทำให้เกิดการกัดกร่อนได้มากกว่า (นิวัติ เรืองพานิช, 2517)

ความลาดชัน และความยาวของความลาดชัน จึงนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการที่จะก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้มากหรือน้อย เกษม จันทรแก้ว และคณะ (2519) ได้ศึกษาพบว่า สาเหตุอันสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียดินและน้ำ คือ ความลาดชันของพื้นที่ ถ้าพื้นที่ที่มีความลาดชันมากจะทำให้ปริมาณการสูญเสียดินและน้ำมากไปด้วย และ สมยศ กิจคำ (2521) กล่าวว่า ถ้าพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงและระยะทางยาว การชะล้างพังทลายของดินย่อมเกิดขึ้นได้มาก เนื่องจากความลาดชันมีอิทธิพลต่อความสามารถในการเคลื่อนย้ายน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งเกิดจากการที่อัตราความหนักเบาของฝนมากกว่าอัตราการซึมน้ำได้ของดิน เมื่อพื้นที่ที่มีความลาดชันมากขึ้นการเคลื่อนย้ายและพัฒนาตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยถ้าความลาดชันของพื้นที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ปริมาณการชะล้างพังทลายของดินจะเพิ่มขึ้น 2.5 เท่าและถ้าความยาวของความลาดชันเพิ่มขึ้น 2 เท่า ปริมาณการชะล้างพังทลายของดินจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เท่า (สมเจตน์ จันทวีณ์, 2526)

นอกจากนี้ Foster and Meyer (1972) พบว่า เปอร์เซ็นต์ความลาดชันที่เพิ่มขึ้นจะทำให้พลังงานของน้ำที่จะซัดถูให้ดินแตกกระจายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดินจะมีการสูญเสียมากในพื้นที่ที่มีความลาดชัน 20 องศา และจะมีค่าสูงสุดที่ความลาดชัน 40 องศาขึ้นไป

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของความลาดเทกับการสูญเสียดิน ได้มีการศึกษาพบว่าเมื่อความชันและความยาวของความลาดเทเพิ่มขึ้น การสูญเสียดินก็จะเพิ่มมากขึ้น อัตราส่วนของการสูญเสียดินกับความยาวและเปอร์เซ็นต์ความลาดเทได้นำมาสร้างเป็นแผนการแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการสูญเสียดิน กับความยาวและเปอร์เซ็นต์ความชันความลาดเท ในรูปการหาค่า LS

สำหรับค่า LS เป็นของอัตราส่วนของการสูญเสียดินต่อหน่วยพื้นที่ระหว่าง ปริมาณดินที่สูญเสียบนพื้นที่ลาดเทหนึ่งไร่กับปริมาณดินที่สูญเสียจากแปลงมาตรฐาน คือ แปลงยาว 72.2 ฟุต ความลาดเทสม่ำเสมอ 9 เปอร์เซ็นต์ ขนาดกว้าง เท่ากับ 6 ฟุต และดินทั้งสองแปลงนี้อยู่ภายใต้สภาพที่เหมือนกัน อัตราส่วนของการสูญเสียดินที่เกิดจากพื้นที่ซึ่งมีความยาวของความลาดเท และมีความชันต่าง ๆ กันและสม่ำเสมอ สามารถหาค่าที่ได้จาก

แผนภาพผลของความลาดเท (Slope effect chart) ดังภาคผนวกที่ 2 ค. หรืออาจหาค่า LS นี้จากภาคผนวกที่ 12 ก. ซึ่งทั้งตารางและภาพดังกล่าวนี้ แสดงค่า LS ของความลาดเทเป็น แบบนูน (uniform slope) สำหรับที่ลาดเทเว้า (concave slope) หรือลาดเทที่ซับซ้อน (complex) แผนภาพ LS จะต้องปรับค่าใหม่ (สมเจตน์ จันทวีณ์, 2526)

Wischmeier and Smith (1958) กล่าวว่า ในการหาค่า LS นอกจากจะใช้แผนภาพความลาดเทดังกล่าวแล้ว ก็สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการ LS เพราะค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันคือ

$$LS = \sqrt{\lambda} (0.0138 + 0.00965 S + 0.00138 S^2)$$

ในเมื่อ

λ = ความยาวความลาดเท (เมตร)

S = ความชันของความลาดเท (%)

ต่อมา Wischmeier and Smith (1965) ได้ทำการหาค่า L และ S ตามสมการดังนี้

$$S = (0.43 + 0.30 s + 0.04 s^2)/6.617$$

$$L = (\lambda/22.1)^m$$

ในเมื่อ

s = ความลาดเท (%)

λ = ความยาวของความลาดเท (เมตร)

m = 0.5, ในกรณีความลาดเท > 5 %

0.4, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง 3.5-4.5 %

0.3, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง 1-3 %

0.2, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง < 5 %

Watanasak (1978) รายงานในการศึกษาเบื้องต้นในการประเมินสถานการณ์ภัยพิบัติของดินโดยใช้สมการการสูญเสียดินสากลและภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณจังหวัดชลบุรี และระยอง พบว่า ปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญซึ่งก่อให้เกิดค่าความแปรปรวน (variation) ในการคำนวณปริมาณดินที่สูญเสีย (A) ได้แก่ ความลาดชัน (S) และการปกคลุมผิวดิน (C) โดยมีความแปรปรวนระหว่างค่าสูงสุดต่ำสุดประมาณ 1,000 เท่า ในขณะที่ปัจจัยอื่น ๆ เช่น

ฝน (R) ดิน (K) มีความแปรปรวนระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุดประมาณ 20 เท่า จะเน้นการศึกษาการกักเก็บของดินในระดับกว้าง น่าที่จะศึกษาปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความแปรปรวนต่อการกักเก็บของดิน คือ ความลาดชันและการปกคลุมผิวดิน

2.8.5 ปัจจัยการปฏิบัติการควบคุมการพังทลายของดิน (conservation practice factor, P)

การวิเคราะห์ปัจจัยการปฏิบัติการควบคุมการพังทลายของดินตามคำจำกัดความของ Wischmeier (1978) ที่กล่าวไว้ว่า ค่า P คือ สัดส่วนระหว่างปริมาณการสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลองที่มีการใช้วิธีอนุรักษ์ประเภทใดประเภทหนึ่งกับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองในสภาพพื้นที่ซึ่งทำการไถพรวนขึ้นลงตามความลาดชัน ในสภาพการณ์อย่างอื่นที่เหมือนกัน แม้ว่าสมบัตินี้ต่าง ๆ ในแปลงทดลอง เช่น ระบบการปรับปรุงบำรุงดิน การทิ้งเศษซากพืชไว้ในแปลงจะมีส่วนช่วยในการควบคุมการสูญเสียดินอยู่ด้วย แต่สมบัตินี้ดังกล่าวที่หลังนี้จะจัดรวมอยู่ในค่าของดัชนี (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) และค่า P นี้แบ่งออกเป็น 4 ระบบ คือ

- การทำการเกษตรตามแนวระดับ
- ควบคุมแนวการปลูกพืชและปรับพื้นที่ยกคันเป็นแนว
- การปลูกพืชสลับตามแนวระดับ
- การทำคันดิน

Wischmeier and Smith (1978) บรรยายว่า ดินป่าไม้ที่ปกคลุมด้วยอินทรีย์วัตถุปริมาณสูง ค่าอิทธิพลมาตรการที่ใช้ในการอนุรักษ์ดิน มีค่า 0.7 และ Arnoldus (1977) บอกว่าพื้นที่ที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ใด ๆ ในทุกระดับความลาดชันจะมีค่า P เท่ากับ 1

สำหรับในประเทศไทย ค่านี้อย่างไม่มีมาตรฐานแน่นอนสำหรับประเทศไทย และการปฏิบัติการอนุรักษ์ดินและน้ำน้อยมากจนไม่สามารถแสดงขอบเขตได้ การทดลองในภาคสนามเพื่อหาค่า P-factor ของกรรมพัฒนาที่ดินได้กระทำไปบ้างแล้ว และได้ทำการรวบรวม โดย มนุ ศรีจจร (2529) ไว้บ้าง และมีการนำค่า P ของนักอนุรักษ์ดินท่านอื่น มาใช้กันในประเทศ

บทที่ 3

สภาพพื้นที่ศึกษา

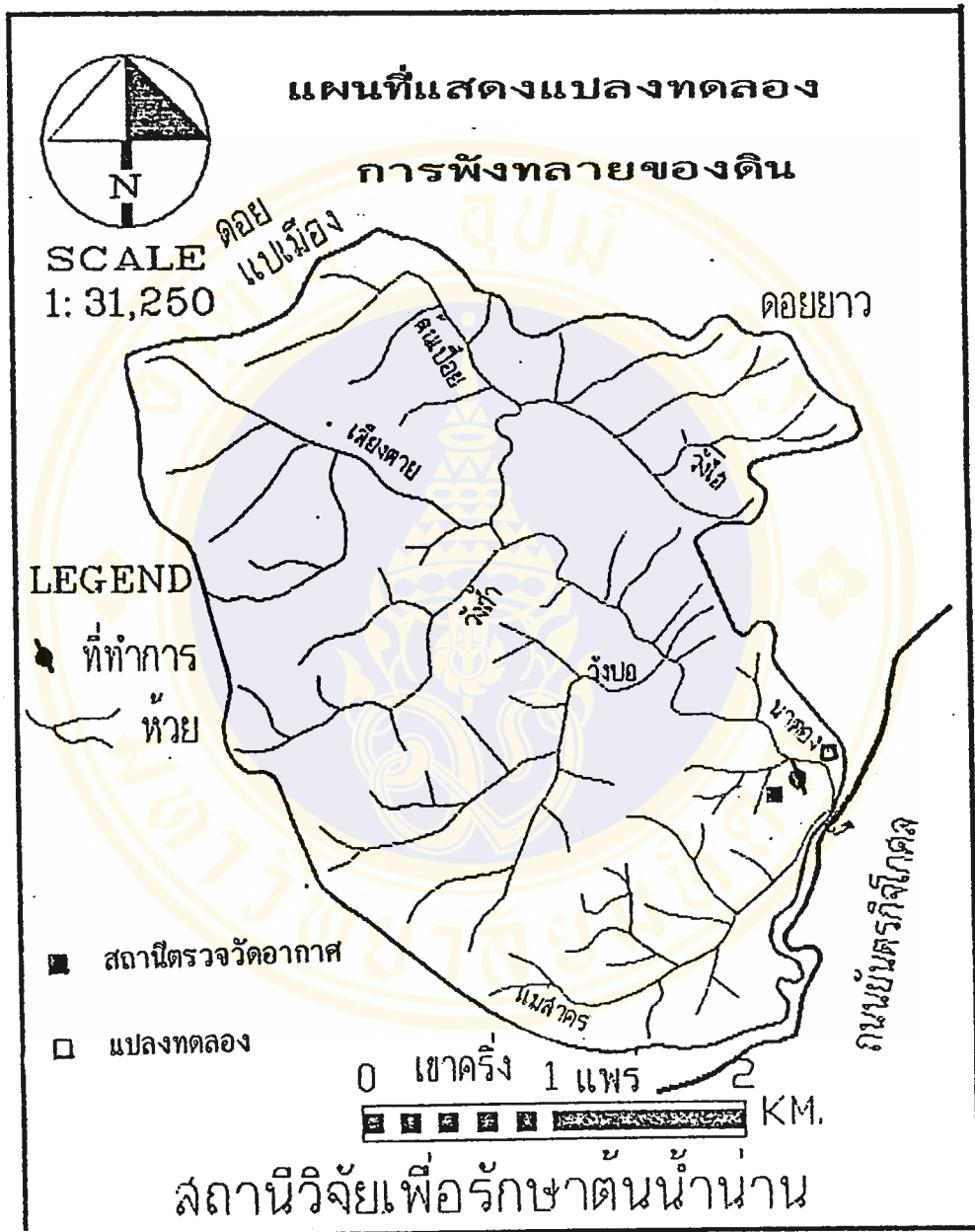
3.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน ตั้งอยู่บริเวณเส้นรุ้งที่ $18^{\circ} 13'$ เหนือ เส้นแวงที่ $101^{\circ} 30'$ ตะวันออก อยู่บริเวณป่าสงวนแห่งชาติน้ำสา-แม่สาครฝั่งซ้าย ห้วยนาทอง หมู่บ้านปางมอญ ตำบลอ่าวนาโหลย อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน อยู่ห่างจากจังหวัดน่านไปตามถนนยันตรกิจโกศล 58 กิโลเมตร มีขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำนาทอง 10.899 ตารางกิโลเมตร (6,811 ไร่) และอยู่ห่างจากถนนยันตรกิจโกศล 500 เมตร ที่ส.เหนือ ติดต่อกับอำเภอเวียงสา ที่ส.ใต้ ติดต่อกับอำเภอร้องกวาง (ภาพที่ 1.)

3.2 ลักษณะภูมิประเทศ

สภาพทั่วไปเป็นเนินเขาและภูเขาสูง ซึ่งทิวเขาต่างทอดตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้ ความสูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ย 515 เมตร จัดอยู่ในโครงสร้างธรณิแบบ central highland ประกอบไปด้วยทิวเขาต่าง ๆ ทอดตัวไปตามแนวทิศเหนือ-ใต้ มีลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยภูเขา peneplain, terrace และ alluvial valley

ลักษณะทางกายภาพลุ่มน้ำทดลองของสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน มีลำห้วยย่อยพอจะแบ่งเป็น subwatershed ได้ คือ ห้วยต้นเปี้ยว-วังไฮ ห้วยเสียงตาย ห้วยวังงั่ว ห้วยวังปอ และห้วยนาทอง รูปร่างของลุ่มน้ำเป็นแบบ Fan-shaped basin ซึ่งมีแนวแกน (axis) อยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ สัมประสิทธิ์ของการแน่นตัว (compactness coefficient) ของลุ่มน้ำมีค่า 1.2927 ความลาดชันของลุ่มน้ำ โดยเฉลี่ยประมาณ 38.43 เปอร์เซ็นต์ และมีทิศทางลาดทั้งลุ่มน้ำทางทิศตะวันออกเฉียงใต้



ภาพที่ 1. สภาพขอบเขตลุ่มน้ำน่านตอนล่างและจุดตั้งแปลงทดลอง
ที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน อ.เวียงสา จ.น่าน

ลักษณะการระบายน้ำของกลุ่มน้ำส่วนมากเป็นแบบ dendritic pattern คิดเป็นความหนาแน่นของการระบายน้ำ (drainage density) ได้ 3.138 กม./ตร.กม. ความลาดเอียงของลำธาร (stream profile) ประมาณ 6.4 เปอร์เซ็นต์ ค่า relief ratio 115.12 ม./กม. ความหนาแน่นของลำธาร (stream density) 3.76 ลำห้วย/ตร.กม.

3.3 ลักษณะทางปฐพีวิทยา

3.3.1 วัตถุต้นกำเนิด

บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน จ.น่าน ส่วนใหญ่มีสภาพพื้นที่เป็นที่ลาดชันเชิงซ้อน (slope complex) ซึ่งสภาพพื้นที่ มักมีดินที่เกิดจากวัตถุตกค้าง (residium) เกิดจากการสลายตัวอยู่กับที่ของหินพื้น (bedrock) หรือ เกิดจากการสลายตัวของหินดินดานเชิงเขา (colluvium) พวกริณทราย (sandstone) หินดินดาน (shale) หินฟิลไลต์ (phyllite) หินแอนดีไซต์ (andesite) ดินที่เกิดขึ้นจะมีเนื้อดินแตกต่างกันตามชนิดของหินต้นกำเนิด ความตื้นลึกของดินมากน้อยเพียงใด แล้วแต่อัตราการสลายตัวของหิน โดยมากมักจะมีเศษหินปะปนอยู่ในดินตามระดับความลึกต่างๆ

ลักษณะดินบริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน จัดอยู่กลุ่มดิน (great soil group) Red yellow podzolic soil ตามระบบการจำแนกดินของ R.Dudal และ F.R Moorman หรือจัดเป็นพวก Paleustults ตามระบบการจำแนกดินแบบใหม่ของสหรัฐ (USDA soil taxonomy) ชุดดินบริเวณนี้เป็นหน่วยสัมพันธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า (Tha Yang/Lat Ya Series Association) ซึ่งดินทั้งสองชุดนี้มีคุณสมบัติที่ค่อนข้างคล้ายกันมาก หน่วยดินนี้จะประกอบด้วยดินชุดท่ายางและดินชุดลาดหญ้าอย่างละเท่า ๆ กัน (กองสำรวจดิน ,2515 ; วารินทร์ จิระสุทธารีกุล, 2526)

3.3.2 หน่วยสัมพันธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า

ดินในหน่วยดินนี้เกิดจากวัตถุตกค้าง และหินดินดานเชิงเขาของหินทราย และ หินควอร์ตไรต์ ซึ่งจะมีพวกหินดินดาน หินฟิลไลต์ และหินชนวนสอดแทรกอยู่ระหว่างชั้นหินบนพื้นผิว ที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน มีสภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชันระหว่าง 8-20 % ดินในหน่วยดินนี้ประกอบด้วยดินชุดท่ายางและดินชุดลาดหญ้าอย่างละเท่า ๆ กัน

ดินชุดท่ายางเป็นดินตื้นหรือตื้นมาก การระบายน้ำดี การซาชซึมน้ำค่อนข้างเร็ว มีความสามารถในการอุ้มน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำถึงปานกลาง ดินบนมีเนื้อดินปนกรวดถึง ปนกรวดเล็กน้อย เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) หรือดินร่วน (loam) มีสีเข้มมากของน้ำตาลปนเทาถึงสีน้ำตาลปน เทา หรือสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม หรือ สีเข้มของน้ำตาลปนเหลืองถึงสีน้ำตาลปนเหลือง มีค่า pH ประมาณ 6.0-7.0 ดินล่างมีเนื้อดินปนกรวดถึงปนกรวดมาก เนื้อดินเป็นดินร่วน ปนดินเหนียว (clay loam) ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นดินเหนียวปนกรวดมากที่ระดับความลึกมากขึ้น (very gravelly clay) มีสีน้ำตาลแก่ สีเหลืองปนแดงหรือสีแดงปนเหลือง กรวดนั้น ประกอบด้วยเศษชิ้นส่วนของหินต้นกำเนิดดินที่กำลังสลายตัวมีทั้งก้อนขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ซึ่งพบตลอดทุกชั้นดินและเพิ่มขึ้นตามความลึก

ดินชุดลาดหญ้าเป็นดินลึกปานกลาง มีการระบายน้ำดี มีการซาชซึมน้ำปานกลาง มีความสามารถในการอุ้มน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชปานกลาง ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วน (loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) ดินร่วนปนทราย (sandy loam) หรือดินร่วนเหนียว ปนทราย (sandy clay loam) มีสีเข้มมากของน้ำตาลปนเทาถึงสีน้ำตาลปนเทา หรือสี น้ำตาลเข้มถึงสีน้ำตาล หรือสีเข้มของน้ำตาลปนเหลืองถึงสีน้ำตาลปนเหลือง มีค่า pH ประมาณ 5.0 -6.0 ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) มีสีแดงปนเหลือง ที่ ความลึกมากกว่า 50 ซม. ลงไปแต่ภายในระดับ 1 เมตร จากผิวดินจะมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ปนกรวด (gravelly clay) ถึงดินเหนียวปนกรวดมาก (very gravelly clay) กรวด ประกอบด้วยเศษชิ้นส่วนของหินต้นกำเนิดดินที่กำลังสลายตัว มีทั้งก้อนขนาดเล็กและขนาดใหญ่

หน่วยดินล้มพันธุ์ของชุดดินฟ้ายาง/ลาดหญ้า เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่เหมาะในการเปิดป่าทำการเกษตรกรรมใด ๆ ควรทิ้งไว้ให้เป็นป่าไม้ธรรมชาติ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2515) ดังแสดงในภาพที่ 4.

3.4 ลักษณะพืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ลุ่มน้ำทดลองของสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน มีพื้นที่ทั้งหมด 10.899 ตารางกิโลเมตร ซึ่งสามารถจำแนกการใช้ที่ดิน (ภาพที่ 2) ได้ดังนี้

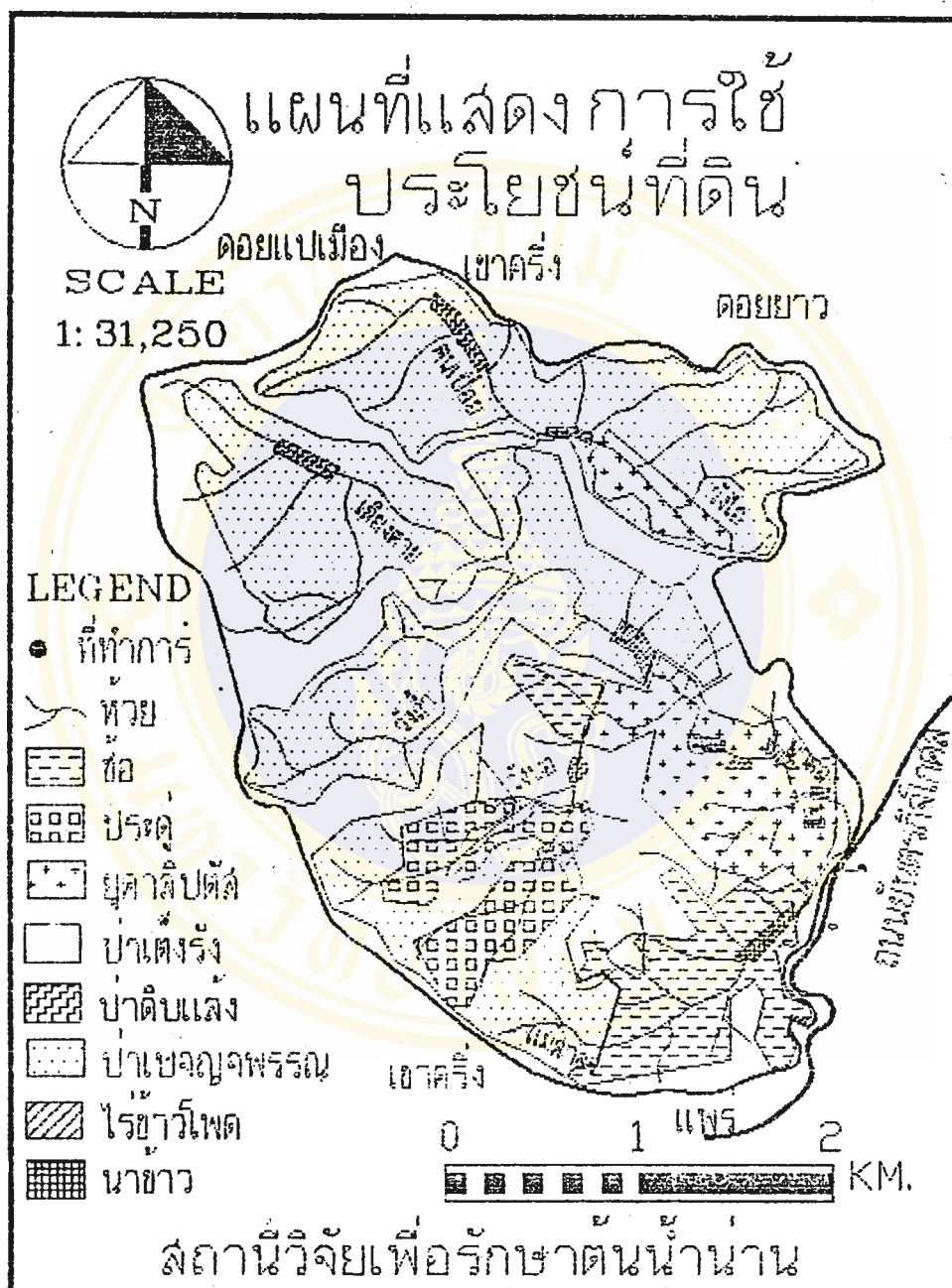
(1) ป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest) จะพบในที่ราบหรือตามเชิงเขา มีน้ำไหลขึ้นปะปนอยู่ จะอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 500 เมตร ความลึกและความชื้นของดินมีมากกว่าป่าเต็งรัง จึงมีการบุกรุกแผ้วถางเป็นที่ทำกินแล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นไร่ร้างมากกว่าชนิดอื่น ๆ ป่าชนิดนี้ยังเหลืออยู่ประมาณ 51.10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

(2) ป่าเต็งรัง (dry dipterocarp forest) พบในที่สูงตามสันเขา ดินจะไม่ลึกมีหินโผล่ ต้นไม้มีขนาดเล็กและคดงอ เปอร์เซ็นต์ crown cover ต่ำ พื้นป่าจะโปร่ง มีป่าชนิดนี้อยู่ประมาณ 28.63 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

(3) ป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest) พบขึ้นอยู่ตามริมห้วย มีเพียงเล็กน้อยประมาณ 5.40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่เท่านั้น

(4) ไร่ร้าง (swidden area) เกิดจากชาวบ้านเข้าไปบุกรุกแผ้วถางทำไร่แล้วปล่อยทิ้งไว้ จะพบตามเนินเขาเตี้ย ๆ และพื้นที่ราบสองฝั่งลำธารกระจายไปทั่วทุกลุ่มน้ำย่อย แต่ที่ทลายกันมากจะเป็นลุ่มน้ำย่อย 3 ลุ่มน้ำ คือ ห้วยนาตอง ห้วยวังปอ และห้วยวังถ้ำ เพราะลุ่มน้ำย่อยเหล่านี้อยู่ใกล้ถนนใหญ่ การคมนาคมสะดวก จึงทำให้มีการบุกรุกแผ้วถางป่ากันมากในบริเวณนี้ พื้นที่ไร่ร้างทั้งหมดมี 1.584 ตารางกิโลเมตร หรือ 14.53 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ เป็นทั้งพื้นที่ที่ถูกละทิ้งไปนานและที่ถูกละทิ้งไปใหม่

(5) ที่นา เป็นพื้นที่ที่ชาวบ้านมีการทำนามานานแล้ว จะพบบริเวณข้างลำห้วยนาตองมีพื้นที่ประมาณ 30 ไร่ ในบริเวณที่ลาดชันการทำนาทำเป็นขั้นบันได เป็นวิธีหนึ่งในการอนุรักษ์ดินและน้ำ การทำนาก็ทำในฤดูฝนเท่านั้น



ภาพที่ 2. สภาพการราชประโยชน์ที่ดิน บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำนาน
อ.เวียงสา จ.น่าน

(6) พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ นอกจากทำนาในพื้นที่นี้แล้ว ยังมีการทำไร่อื่น ๆ อีก เช่น ข้าวโพด ข้าวไร่ ถั่วและงา การใช้พื้นที่ในการเกษตรกรรมมีน้อย เพราะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเขาสูงชัน ไม่เหมาะในการเข้าไปทำการเกษตร

(7) การปลูกสร้างสวนป่า เมื่อพื้นที่นี้ถูกกำหนดให้เป็นลุ่มน้ำทดลองก็ได้ปลูกป่าในบริเวณไร่ร้าง

จากการสำรวจพบว่ามีพันธุ์ไม้มากกว่า 80 ชนิด ที่กระจายอยู่ในลุ่มน้ำนี้ โดยที่ความสูงไม่มากหรือที่ราบเป็นป่าเบญจพรรณ ส่วนในที่สูง ๆ หรือตามสันเขาจะเป็น ป่าเต็งรัง ในป่าเบญจพรรณไม้เรือนยอดเด่น ได้แก่ ตะแบก แดง ประดู่ สมอพิเภก ส้าน ตะคร้ำและไม้ยางที่พบอยู่ตามริมห้วยมีไผ่มาก ไม้ชั้นรองลงมา ได้แก่ เกิดดำ เกิดแดง คูณ ช่อ กวาว มะขามป้อม มะหาด และมีไผ่ชาง ไผ่รวก เป็นไม้พื้นล่าง สวนป่าเต็งรังนั้นไม้เด่น ได้แก่ เต็ง รัง เหียง รกฟ้า ฯลฯ

3.5 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะอากาศทั่วไปบริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาด่านน้ำน่าน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือเป็นประจำ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เล็กน้อย ลักษณะภูมิอากาศ แบ่งออกเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในช่วงเวลาดังนี้

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคม

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง มกราคม

ข้อมูลอากาศรายปี จากสถานีตรวจวัดอากาศซึ่งตั้งอยู่บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาด่านน้ำน่าน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526-2535 (ตารางที่ 1. ภาพที่ 3) พอสรุปได้ดังนี้

(1) อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 35.1 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายน อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 12.2 องศาเซลเซียส ในเดือนธันวาคม อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี 24.1 องศาเซลเซียสเฉลี่ย 10 ปี

(2) ปริมาณน้ำฝน น้ำฝนตลอดปี 1266.2 มิลลิเมตร ในเดือนสิงหาคม มีฝนตกมากที่สุดในรอบปี 241.8 มิลลิเมตร ในเดือนมกราคม ปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด 5.7 มิลลิเมตร

(3) ความเร็วลม ความเร็วลมเฉลี่ย 22.5 กิโลเมตร/วัน

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 87.8 % เดือนกันยายนและตุลาคม เฉลี่ยสูงสุด 90.0 % และเดือนเมษายน เฉลี่ยต่ำสุด 82.6 %

(5) การระเหยของน้ำ การระเหยของน้ำตลอดปี 1516.7 มิลลิเมตร เดือนเมษายนมีการระเหยของน้ำเฉลี่ยสูงสุด 200.0 มิลลิเมตร ในเดือนธันวาคมมีการระเหยของน้ำเฉลี่ยต่ำสุด 82.7 มิลลิเมตร

3.6 แปลงทดลองที่ทำการศึกษ

แปลงทดลองที่ทำการศึกษามีขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 20 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 10 แปลง สร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2533 และเพิ่มขึ้นเป็น 12, 14 แปลงในปีที่สอง และปีที่สาม ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ โดยสร้างเป็นแนวยาวติดต่อกันในบริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาดินน้ำนาน พื้นที่ดั้งเดิมเป็นไร่ร้างปล่อยทิ้งไว้ และมีสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศเดียวกัน คือ ความลาดชัน 17.5 % ความสูง 420 เมตร จากระดับน้ำทะเล ด้านลาดรับแสงไปทางทิศใต้ (ภาพที่ 5.) สำหรับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดการพืชมีรายละเอียดดังนี้

แปลงที่ 1,2 ป่าเบญจพรรณ (ภาพที่ 6 ก.)

ไม้ชั้นบน สัก กว้าว แดฝอย อินทนิลบก หนามแท่ง เหม้าสาย ประดู่
(เรือนยอดปกคลุมประมาณ 60-70 % ความสูงเฉลี่ย 5 เมตร)

ไม้พื้นล่าง ไม้ 50 % หญ้าคา 10-20 % ลูกไม้ต่าง ๆ 40-30 %
(ดีด เลือดแดง ประดู่ มะขามป้อม)

การจัดการ มีการชิงเผาไม้พื้นล่างในแปลงทดลองช่วงฤดูแล้ง

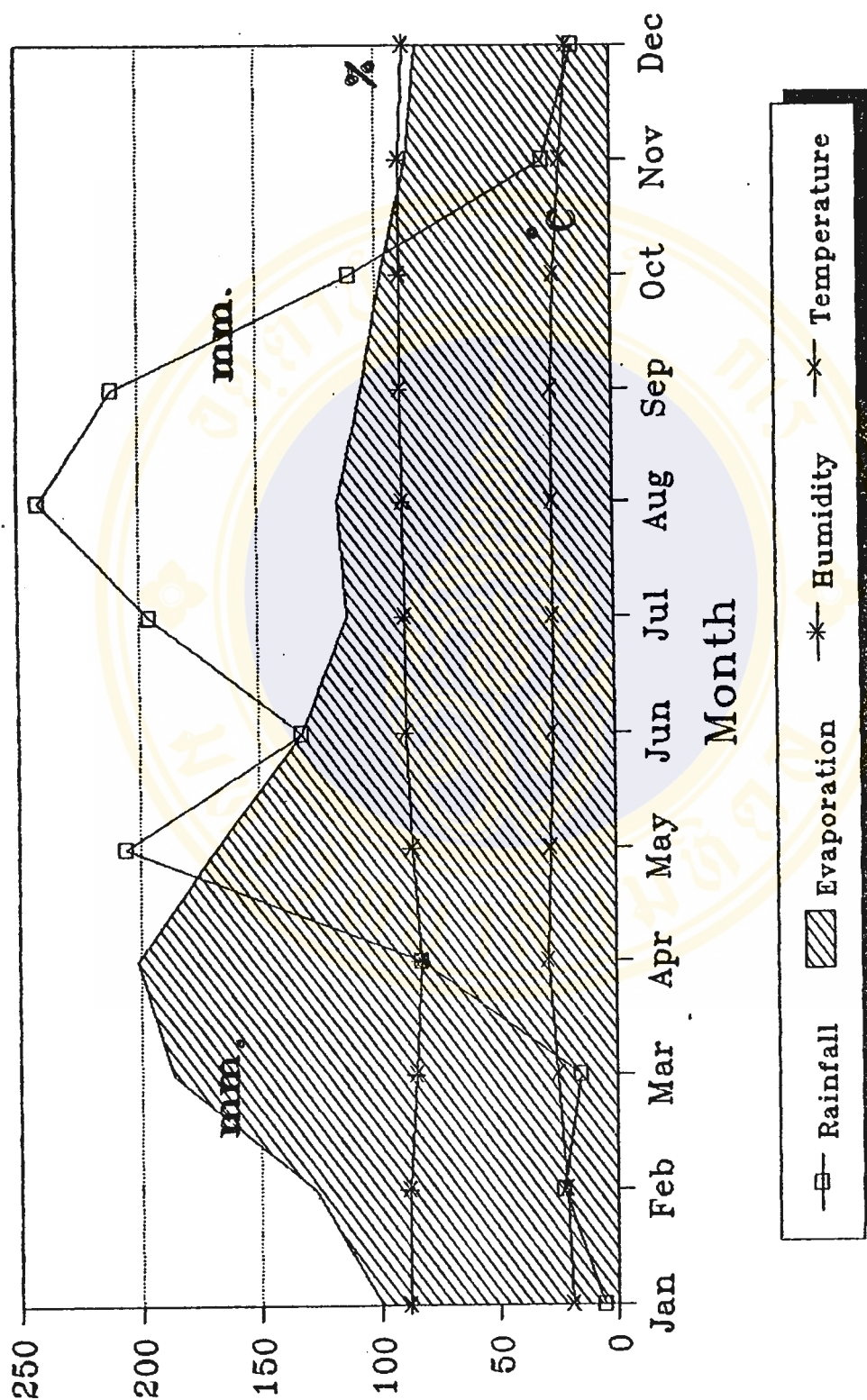
แปลงที่ 3,4 ไร่ร้าง (ภาพที่ 6 ข.)

ไม้ชั้นบน เส้า ตีนแดง เหมือดคน กว้าว สัก แดฝอย ยอป่า ตาเสือ

ตารางที่ 1. ข้อมูลอากาศเฉลี่ย 10 ปี ของสถานีตรวจวัดอากาศที่สถานีวิจัย เพื่อรักษาต้นน้ำผ่าน

อ.เวียงสา จ.น่าน (พ.ศ. 2526-2535)

Month	Rainfall (mm.)	Air temperature (°C)			Evapo- ration (mm.)	Relation humidity (%)	Wind velocity (km./day)
		Max.	Min.	Mean			
Jan.	5.7	27.5	12.6	19.1	99.3	88.0	20.7
Feb.	22.6	29.4	15.0	21.4	127.4	88.1	28.4
Mar.	15.1	32.1	18.5	25.1	186.9	84.9	34.0
Apr.	82.2	35.1	21.8	28.4	200.9	82.6	35.2
May	205.6	32.9	22.4	27.4	168.3	86.2	25.8
Jun	131.9	30.7	22.7	26.5	132.2	88.4	28.9
Jul.	195.3	29.8	22.2	25.9	112.5	88.8	24.8
Aug	241.8	29.2	22.2	25.7	116.2	89.4	23.2
Sep	210.6	29.9	21.5	25.5	106.0	90.0	13.7
Oct.	110.8	29.2	19.9	24.4	97.8	90.0	9.8
Nov.	28.5	27.7	16.2	21.6	86.6	89.7	10.7
Dec.	18.1	26.0	12.2	18.9	82.7	88.2	15.0
Total	1266.2	359.3	227.3	289.1	1516.7	1054.1	270.1
Average	105.5	29.9	18.9	24.1	126.4	87.8	22.5



ภาพที่ 3. กราฟแสดงค่าเฉลี่ยรายเดือนของ ปริมาณน้ำฝน การระเหย ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศ
บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาดินน้ำปาน (พ.ศ. 2526-2535)

ไม้พื้นล่าง หญ้าคา หญ้ายง หญ้าต่าง ๆ สาบเสือ ฝ
 ลูกไม้ต่าง ๆ (บอยาม แดง ยอป่า เหมือดคน เสียงผาย)
การจัดการ ถางวัชพืชครั้งเดียวตั้งแต่เริ่มต้นสร้างแปลงทดลอง แล้วปล่อยให้
 ไม้หญ้าคาและลูกไม้ขึ้นเองตามธรรมชาติตลอดการศึกษา ในขณะที่
 เติบโตกันทวนแนวกันไฟรอบแปลงทดลองเพื่อป้องกันไฟป่าทุกปี

หมายเหตุ

- ปี 2533 เรือนยอดปกคลุม ไม้ขึ้นบน 0-25 % ไม้พื้นล่าง 20-60 %
 ความสูงเฉลี่ยของไม้ขึ้นบน 50-100 ซม.
 ปี 2534 เรือนยอดปกคลุม ไม้ขึ้นบน 25-50 % ไม้พื้นล่าง 90-100 %
 ความสูงเฉลี่ยของไม้ขึ้นบน 90-100 ซม.
 ปี 2535 เรือนยอดปกคลุม ไม้ขึ้นบน 25-50 % ไม้พื้นล่าง 90-100 %
 ความสูงเฉลี่ยของไม้ขึ้นบน 90-100 ซม.

แปลงที่ 5,6 ถั่วเหลือง อายุ 75-90 วัน (ภาพที่ 6 ค.)

การปลูกและการเจริญเติบโต

มิถุนายน เตรียมดินโดยการถางวัชพืชและพรวนดิน
 กรกฎาคม เริ่มปลูก ระยะปลูก 30 x 30 ซม.
 สิงหาคม ถางและดายวัชพืช ความสูงเฉลี่ย 50-60 ซม.
 ปกคลุมพื้นที่ 40-50 %
 กันยายน เก็บเกี่ยว
 ตุลาคม - พฤษภาคม หักแปลงไว้ว่างเปล่า ถางวัชพืช 1 ครั้ง
 มีหญ้าขึ้นเล็กน้อย

แปลงที่ 7,8 ข้าวไร่ อายุ 120 วัน (ภาพที่ 6 ง.)

การปลูกและการเจริญเติบโต

มิถุนายน เตรียมดินโดยการถางวัชพืชและพรวนดิน
 กรกฎาคม เริ่มปลูก ระยะปลูก 40 x 20 ซม.
 สิงหาคม ถางและดายวัชพืช ความสูงเฉลี่ย 50-60 ซม.
 ปกคลุมพื้นที่ 40-50 %

พฤศจิกายน เก็บเกี่ยว

ธันวาคม-พฤษภาคม. ทิ้งแปลงไว้ว่างเปล่า ถางวัชพืช 1 ครั้ง

มีหญ้าขึ้นเล็กน้อย

แปลงที่ 9,10 ข้าวโพด อายุ 90 วัน (ภาพที่ 7 ก.)

การปลูกและการเจริญเติบโต

มิถุนายน เตรียมดินโดยการถางวัชพืชและพรวนดิน

กรกฎาคม เริ่มปลูก ระยะปลูก 60 x 80 ซม.

สิงหาคม ถางและดายวัชพืช ความสูงเฉลี่ย 50-60 ซม.

ปกคลุมพื้นที่ 50-60 %

ตุลาคม เก็บเกี่ยว

พฤศจิกายน -พฤษภาคม ทิ้งแปลงไว้ว่างเปล่า ถางวัชพืช 1 ครั้ง

มีหญ้าขึ้นเล็กน้อย

แปลงที่ 11,12 สัก ปลูกปี 2533 ระยะปลูก 4 x 4 เมตร (ภาพที่ 7 ข.)

ไม้ชั้นบน

ปี พ.ศ. 2533-2534 ความกว้างเรือนยอดเฉลี่ย 15-25 ซม. เรือนยอด

ปกคลุม 10-20 % ความสูงเฉลี่ย 20-45 ซม.

ปี พ.ศ. 2535 ความกว้างเรือนยอดเฉลี่ย 20-40 ซม. เรือนยอดปกคลุม

20-30 % ความสูงเฉลี่ย 30-60 ซม.

ไม้ชั้นล่าง

หญ้าคา สาบเสือขึ้นปกคลุมในต้นฤดูฝน 0-20 % ในช่วงฤดู

ฝน 80-90 %

การจัดการ มีการถางวัชพืช และชิงเฝานต้นฤดูฝน 1 ครั้ง

แปลงที่ 13, 14 ปลอยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (ภาพที่ 7 ค.)

เป็นแปลงที่ปราศจากสิ่งปกคลุมและทำการไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา บุกเบิกมา

จากพื้นที่ว่าง



ภาพที่ 4. ลักษณะดินในบริเวณแปลงทดลอง (หน่วยสัมพันธของชุดดินทำยาง/ลาดหญ้า)



ภาพที่ 5. แปลงทดลอง 14 แปลง ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ

(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



ภาพที่ 6. แปลงทดลอง ป่าเบญจพรรณ (ก) ไร่ร้าง (ข) ถั่วเหลือง (ค)
ข้าวไร่ (ง)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 7. แปลงทดลอง ข้าวโพด (ก) ป่าปลูกสัก (ข) ปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่า และไถพรวนขึ้นแปลงตลอดเวลา (ค)

บทที่ 4

วิธีการศึกษา

4.1 อุปกรณ์

- (1) แปลงทดลอง (runoff plots) ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 20 เมตร สร้างโดยใช้อิฐบล็อกขนาด 20x40 เซนติเมตร ก่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหล่อด้วยคอนกรีตทั้ง 4 ด้าน ตามขนาดแปลงทดลองโดยฝังลงไปในดิน 20 เซนติเมตร และอยู่เหนือผิวดิน 20 เซนติเมตร เหนือขอบสร้างทำเป็นรางน้ำไว้รองรับน้ำและตะกอน จากรางน้ำจะมีท่อเหล็กต่อไปยังถังขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ถัง ซึ่งเป็นที่เก็บน้ำและตะกอน (ภาพที่ 8.) แปลงทดลองทั้งหมดอยู่ภายใต้การใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ ตลอดจนระบบอนุรักษ์ที่แตกต่างกันไป
- (2) เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ พร้อมกระดาศกราฟวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ชนิด เปลี่ยนทุก ๆ 7 วัน
- (3) อุปกรณ์ในการสำรวจ และเก็บตัวอย่างดิน ตะกอน เช่น soil core, auger, ถุงเก็บตัวอย่างดิน กระบอกตวง เป็นต้น
- (4) อุปกรณ์ในการทำเขตกรรม เช่น จอบ คราด อื่น ๆ
- (5) อุปกรณ์และสารเคมีในห้องปฏิบัติการสำหรับวิเคราะห์ดิน และตะกอน เช่น เครื่องชั่ง ตู้อบไฟฟ้า กระดาศกรอง
- (6) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อม software

4.2 แผนการศึกษา

ทำการคัดเลือกแปลงทดลองในขอบเขตลุ่มน้ำป่าน ที่มีการติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ และมีการเก็บข้อมูลเป็นกระดาศกราฟ พร้อมทั้งมีรายละเอียดงานเรื่องข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิประเทศ การศึกษานี้ได้คัดเลือกสร้างแปลงทดลองในพื้นที่ลุ่มน้ำ

นาตอง ซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำน่าน บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน อ.เวียงสา จ. น่าน ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของสำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ จำนวนทั้งสิ้น 10 แปลง ในปี พ.ศ. 2533 และสร้างเพิ่มขึ้นอีกปีละ 2 แปลง ในปีถัดมา ตามการสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ (ภาพที่ 9) ดังนี้

ปี พ.ศ. 2533 จำนวน 10 แปลง คือ แปลงที่ 1-10

ปี พ.ศ. 2534 จำนวน 12 แปลง คือ แปลงที่ 1-12

ปี พ.ศ. 2535 จำนวน 14 แปลง คือ แปลงที่ 1-14

โดยกำหนดให้

แปลงที่ 1,2 ป่าเบญจพรรณ (mix deciduous forest)

แปลงที่ 3,4 ไร่ร้าง (swidden area)

แปลงที่ 5,6 ถั่วเหลือง (soybean) ระยะปลูก 30 x 30 ซม.

แปลงที่ 7,8 ข้าวไร่ (upland rice) ระยะปลูก 40 x 50 ซม.

แปลงที่ 9,10 ข้าวโพด (corn) ระยะปลูก 60 x 80 ซม.

แปลงที่ 11,12 ป่าปลูกสัก (teak plantation) ปลูกปี 2533

ระยะปลูก 4 x 4 เมตร

แปลงที่ 13,14 บ่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

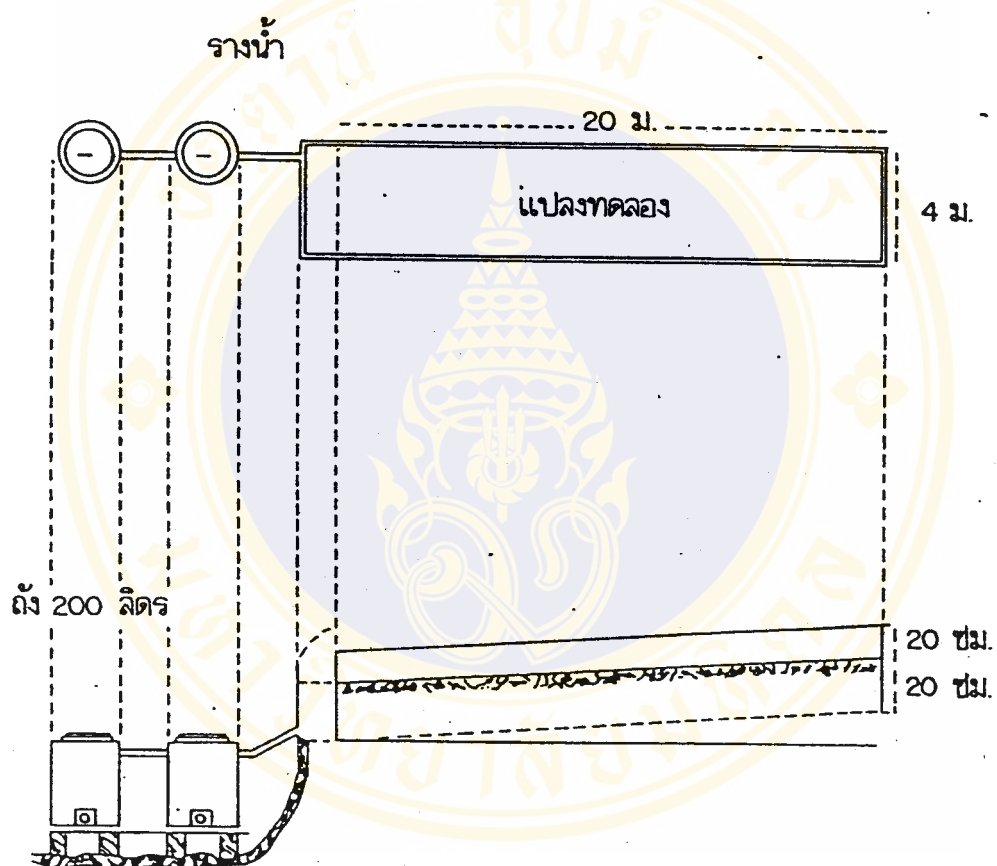
(up and down hill continuous fallow on bare

soil plots) สร้างปี พ.ศ. 2535

แปลงทดลองทั้งหมด สร้างเป็นแนวยาวติดต่อกัน ในสภาพภูมิประเทศเดียวกัน คือ ความลาดเท 17.5 % ด้านลาดรับแสงไปทางทิศใต้ ความสูง 420 เมตร จากระดับน้ำทะเล ในดินหน่วยดินสัมพันธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า มีสภาพดั้งเดิมเป็นไร่ร้างที่ถูกปล่อยทิ้งไว้

4.3. วิธีการ

4.3.1 การรวบรวมข้อมูล



ภาพที่ 8. ลักษณะแปลงทดลองการสูญเสียดินและน้ำ

ป่าเบญจพรรณ	
ป่าเบญจพรรณ	
ไร่ร้าง	
ไร่ร้าง	
ถั่วเหลือง	
ถั่วเหลือง	
ข้าวไร่	
ข้าวไร่	
ข้าวโพด	
ข้าวโพด	
ป่าปลูกสัก	
ป่าปลูกสัก	
พื้นที่ทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลง	
พื้นที่ทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลง	

ภาพที่ ๑. แผนผังแปลงทดลอง ที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาดินน้ำน่าน อ.เวียงสา จ.น่าน

4.3.1.1 ทำการเก็บข้อมูลตะกอนดินและน้ำไหลป่าจากแปลงทดลองทุกแปลง เป็นเวลาติดต่อกัน 3 ปี (พ.ศ.2533-2535) โดยเก็บทุกครั้งที่ฝนที่ตกในแต่ละครั้งแล้วทำให้เกิดการชะล้างพังทลาย (effective storm) แล้วนำมาวิเคราะห์หาเป็นน้ำหนักตะกอนแห้งในห้องปฏิบัติการโดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) วัดความสูงของน้ำในถังเก็บตะกอน คำนวณปริมาตรน้ำต่อพื้นที่
- (2) เก็บตะกอน โดยใช้ไม้กวานน้ำในถังให้ตะกอนกระจายอย่างทั่วถึงแล้วเก็บตัวอย่างตะกอนมา 1000 ลบ.ซม./แปลง ใส่ลงในหลอดแก้ว (cylinder)
- (3) นำน้ำตะกอนที่เก็บได้ไปทิ้งไว้ให้ตกตะกอน นาน 24 ชั่วโมง บันทึกปริมาตรตะกอนเปียก
- (4) กรองเอาตะกอนเปียก (wet sediment) ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง
- (5) นำไปหาน้ำหนักแห้ง (dry sediment) เป็นกรัมแล้วเทียบเป็นรูปน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ (ตัน/เฮกแตร์) ดังแสดงในภาคผนวกที่ 1 ข.
- (6) คำนวณปริมาณน้ำไหลป่าหน้าดิน (มิลลิเมตร) ดังแสดงในภาคผนวกที่ 2 ข.

4.3.1.2 รวบรวมกราฟน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ จำนวน 1 เครื่อง ที่สถานีตรวจวัดอากาศ ของสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำป่า ซึ่งติดตั้งห่างจากจุดตั้งแปลงทดลองประมาณ 500 เมตร โดยข้อมูลจากเครื่องวัดน้ำฝนจะบันทึกลงบนกระดาษกราฟแบบเปลี่ยนทุก 7 วัน เนื่องจากไม่สามารถหากระดาษเปลี่ยนทุกวันได้ กระดาษกราฟบันทึกปริมาณน้ำฝนสะสมต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ข้อมูลน้ำฝนที่นำมาใช้นั้นเป็นกราฟที่บันทึกในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บข้อมูลตะกอนและน้ำไหลป่าหน้าดินในแปลงทดลอง คือข้อมูลที่เก็บติดต่อกันเป็นเวลา 3 ปี (พ.ศ. 2533-2535) เนื่องจากกราฟชนิดเปลี่ยนทุก 7 วัน จะมีสเกลค่อนข้างเล็ก เพื่อความสะดวกในการอ่านข้อมูลจากกราฟน้ำฝน จึงนำมาขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

4.3.1.3 รวบรวมข้อมูลดินโดยเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ดินในแต่ละแปลงทดลองดังนี้

(1) ใช้ soil core เก็บตัวอย่างดินแบบ undisturbed soil นำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturate hydraulic conductivity, K_{sat}) ในห้องปฏิบัติการแล้วนำไปเทียบหาระดับชั้นการซึมน้ำได้ของดิน (soil permeability) ดังแสดงในภาคผนวกที่ 3 ข.

(2) หาชนิดโครงสร้างของดิน

(3) เก็บตัวอย่างดินแบบ disturbed Soil ในระดับความลึก 0-15 ซม. จำนวน 4 จุด/แปลง นำมาผสมคลุกเคล้ากันเป็น 1 ตัวอย่าง/แปลง และเก็บบริเวณใกล้เคียงอีก 18 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 32 ตัวอย่าง แล้วนำไปหาปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) โดยวิธีของ Walkley and Black method และหาเปอร์เซ็นต์ sand, silt, clay, very fine sand โดยวิธี pipet method

(4) หาชนิดของชุดดินบริเวณแปลงทดลอง จากแผนที่ดิน จ.น่าน ขนาด 1: 50,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน พร้อมทั้งตรวจสอบในภาคสนาม

4.3.1.4 รวบรวมข้อมูลชนิดพรรณไม้ ไม้พื้นล่าง พืชคลุมดิน เบอร์เซนต์การปกคลุมเรือนยอด การปกคลุมของเศษซากพืช ลักษณะไม้ชั้นล่าง การเจริญเติบโตของพืช ตลอดจนการจัดการพืชและการจัดการดินในแปลงทดลอง

4.3.1.5 รวบรวมสภาพภูมิประเทศในแต่ละแปลงทดลอง เช่น เบอร์เซนต์ความลาดเท (slope) ความสูงจากระดับน้ำทะเล (elevation) ทิศด้านลาดรับแสง (aspect) ตลอดจนขนาดและรายละเอียดเกี่ยวกับแปลงทดลอง

4.3.1.6 รวบรวมค่า C-factor, P-factor และแผนภาพการหา factor ต่าง ๆ จากเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ

4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.2.1 ประเมินค่าการสูญเสียดินจากแปลงทดลองทั้งหมด โดยนำข้อมูลตะกอนแห้งและน้ำไหลป่าจากแปลงทดลอง ภายใต้พืชพรรณที่ปกคลุม การจัดการดินจัดการพืชต่าง ๆ ในแต่ละแปลงทดลอง ช่วงปี พ.ศ. 2533-2535 (3 ปี) มาคำนวณหาปริมาณดินที่สูญเสียทั้งหมดเป็นรายสตรัม และรายปี ในหน่วยตัน/เฮกแตร์

4.3.2.2 ประเมินค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor, R)

(1) คำนวณค่าดัชนีพลังชะล้างพังทลายของฝน (R) โดยนำข้อมูลน้ำฝนที่ได้จากการอ่านกราฟเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ในแต่ละสตรัมมาคำนวณหาปริมาณน้ำฝน พลังงานจลน์ที่เกิดจากฝน อัตราความหนักเบาของฝนที่ตกในช่วงเวลาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี แล้วนำมาหาดัชนี EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m ดังนี้

(1.1) ดัชนี EI_{30} ของ Wischmeier and Smith (1958) สามารถวิเคราะห์หาได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. อ่านค่าปริมาณฝนตกในช่วงที่ต่อเนื่องกันหรือห่างไม่เกิน 6 ชั่วโมง และมีปริมาณฝนที่ตกไม่น้อยกว่า 12.5 มม. ขึ้นไป ในช่วงที่ตก 15 นาที หรือปริมาณฝนตก 6.25 มม.
2. จากเส้นกราฟที่บันทึกปริมาณและช่วงเวลาของฝนตก เลือกช่วงเวลา 30 นาทีที่มีฝนตกมากที่สุด คูณด้วย 2 เป็นค่าของ I_{30}
3. หาค่าพลังงานของฝนในครั้งหนึ่ง ๆ โดยแบ่งค่าปริมาณของฝนที่ตกเป็นส่วนตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นที่บันทึกปริมาณน้ำฝน นำค่าที่ได้ไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$KE = 916 + 331 \log I \quad (\text{หน่วยอังกฤษ})$$

เมื่อ KE = พลังงานจลน์ของฝน (ฟุต-ตัน/เอเคอร์-นิ้ว)

I = ความหนักเบาของฝน (นิ้ว/ชั่วโมง)

$$\text{หรือ } KE = 210.3 + 89 \log I \quad (\text{หน่วยเมตริก})$$

เมื่อ KE = พลังงานจลน์ของฝน (เมตร-ตัน/เฮกแตร์-ซม)

I = ความหนักเบาของฝน (มม./ชม.)

4. ค่า KE ของช่วงต่าง ๆ ในครั้งหนึ่งที่ฝนตก นำไปคูณด้วยปริมาณฝนของช่วงนั้น ๆ ก็จะได้เป็นค่าพลังงานของฝน (E)

5. ผลรวมของค่า E คูณด้วย I_{30} ทหารด้วย 100 จะได้เป็นค่า EI_{30}

6. ผลรวมของค่า EI_{30} ตลอดทั้งปีคือค่า R ที่นำไปใช้ในสมการ USLE (ภาคผนวกที่ 4 ข.)

(1.2) ดัชนี $KE > 1$ ของ Hudson (1971)

สำหรับการหาค่า $KE > 1$ ใช้ค่าปริมาณฝนที่ตกมากกว่า 1 นิ้ว/ชั่วโมง หรือ 25 มม./ชม. เท่านั้น โดยคิดปริมาณฝนในแต่ละชั้นความหนักเบาที่แตกต่างกันจากกราฟบันทึกน้ำฝนอัตโนมัติ ไปคูณกับค่าพลังงานของฝน ของแต่ละช่วงความรุนแรง (I) เช่นเดียวกับข้อ 1-4 ข้างต้น แล้วนำค่า KE ที่มีค่า $I > 25$ มม. มารวมกันในแต่ละครั้งที่ฝนตก โดยไม่ต้องนำไป คูณกับอะไรอีก ผลรวมของทั้งปีหารด้วย 100 จะใช้เป็นค่า R (ภาคผนวกที่ 4 ข.)

(1.3) ดัชนี AI_m ของ Lal (1976) นำ

เอาพลังงานน้ำฝนทั้งหมดที่ตกในครั้งนั้น (A) กับความหนักเบาสูงสุดของฝนที่ตกในครั้งนั้น (I_m) จะได้เป็น ดัชนี AI_m ในแต่ละครั้งที่ฝนตกแล้วนำมา รวมกัน ผลรวมทั้งปี จะให้เป็นค่า R (ภาคผนวกที่ 4 ข.)

แต่ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน ที่ นำไปใช้ในสมการการสูญเสียดินสากลใช้เฉพาะ ดัชนี EI_{30} เท่านั้น (Wischmeier and Smith, 1958)

(2) ทดสอบค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนที่เหมาะสม

ในสมการการสูญเสียดินสากล หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนชนิดต่าง ๆ กับการสูญเสียดินในแปลงทดลอง โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation)

(3) หาคความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของ
ผิวดินต่าง ๆ กับ ปริมาณน้ำฝน โดยพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient ,r) ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation)

4.3.2.3 ประเมินค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน
(soil erodibility factor ,K)

(1) หาค่า K-factor จากแผนภาพโนมोगราฟ โดยนำ
% silt , % sand, % (silt+ very fine sand), % อินทรีย์วัตถุ โครงสร้างของดิน
และการขบขี้มน้ำของดินในแต่ละแปลงทดลองไปหา K-factor โดยวิธีโนมोगราฟ (soil
erodibility nomograph) จากแผนภาพโนมोगราฟ ซึ่ง Wischmeier et al (1971)
ได้จัดทำขึ้น (ภาคผนวกที่ 1 ค.) หรืออาศัยสมการของ Wischmeier and Smith (1978)
ที่ใช้กับดินที่มีปริมาณทรายแฉะรวมกับปริมาณทรายละเอียดมาก น้อยกว่า 70 % แผนภาพ
โนมोगราฟจะประเมินได้จากสมการดังนี้

$$100 K = 2.1 M^{1.14} (10)^{-4(12-a)} + 3.25 (b-2) + 2.5(c-3)$$

ซึ่ง $M = (\% \text{ ทรายแฉะ} + \% \text{ ทรายละเอียดมาก}) (100 - \% \text{ ดินเหนียว})$

$a = \% \text{ อินทรีย์วัตถุ}$

$b = \text{ดัชนีที่ใช้เป็นค่าแทนลักษณะโครงสร้างของดิน}$

$c = \text{ระดับอัตราการขบขี้มน้ำของดิน}$

ค่า K-factor จากโนมोगราฟ นี้อยู่ในระบบ typical U.S customary
unit ต้องแปลงหน่วยของค่านี้ ให้อยู่ในระบบ metric โดยการคูณค่านี้ด้วย 1.292
Wischmeier and Smith (1978)

(2) หาคความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรายแฉะ กับ
เปอร์เซ็นต์ทรายแฉะรวมกับทรายละเอียดมาก จากข้อมูลดิน 32 ตัวอย่าง ในรูปสมการ
ถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation)

(3) หาค่า K-factor จากแปลงปล่อยดินทั้งไ้ว่างเปล่าและไ้พรวนขึ้นลงตลอดเวลา (K-factor from up and down hill continuous fallow on bare soil plots) โดยอาศัยสมการของ Wischmeier and Smith (1978) ดัดแปลงโดย Roose (1977) และ Singh et al (1981) ดังนี้

$$K = \frac{A}{RLSCP}$$

A = น้ำหนักตะกอนดินที่ได้จากแปลงปล่อยดินทั้งไ้ว่างเปล่าแล้ว
ไ้พรวนขึ้นลงตลอดเวลา (ตัน/เฮกแตร์)

R = ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน

L = ปัจจัยความยาวความลาดเท

S = ปัจจัยความลาดเท

C = ปัจจัยการจัดการพืช เท่ากับ 1 (ไม่มีการปลูกพืช)

P = ปัจจัยปฏิบัติการอนุรักษ์ดิน เท่ากับ 1 (ไ้พรวนขึ้นลง)

การคำนวณหาค่า K-factor จากแปลงทดลองนี้ คำนวณทุก ๆ ครั้งที่ฝนตกแล้ว ทำให้เกิดการชะล้างพังทลาย และนำมาเฉลี่ยเป็นรายปี และ K-factor นี้จะเป็นค่าที่แท้จริง จึงใช้เป็นตัวแทนของชุดดินในบริเวณที่สร้างแปลงทดลอง

4.3.2.4 ประเมินค่าปัจจัยความยาวของลาดเทและความลาดเท

(slope length and slope gradient factor, LS) โดยวัดความยาวความลาดเทและเปอร์เซ็นต์ความลาดเทของแปลงทดลอง แล้วนำไปแทนค่าในสูตร ของ Wischmeier and Smith (1965, 1978) ตามสมการดังนี้

$$S = (0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2)/6.617$$

$$L = (\lambda/22.1)^m$$

ในเมื่อ S = ปัจจัยความลาดเท

L = ปัจจัยความยาวความลาดเท

s = ความลาดเท (%)

λ = ความยาวความลาดเท (เมตร)

$m = 0.5$, ในกรณีความลาดเท $> 5\%$

0.4, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง $3.5-4.5\%$

0.3, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง $1-3\%$

0.2, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง $< 5\%$

ดังนั้น $LS = (N/22.1)^m (0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2)/6.617$

หมายเหตุ สูตรดังกล่าวนี้ใช้ได้ถูกต้องเมื่อความยาวของความลาดเทอยู่ในช่วงระหว่าง 30-300 ฟุต (8-90 เมตร) ความลาดเทอยู่ระหว่าง $3-18\%$ (ภาคผนวกที่ 5 ข.)

4.3.2.5 ประเมินค่าปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor, C)

(1) รวบรวมค่า C-factor ของข้าวไร่ ข้าวโพด ถั่วเหลือง พื้นที่ป่าไม้ จากงานวิจัยของ Watanasak (1978), Singh (1981), คณะวนศาสตร์ (2524) และนิพนธ์ ดังธรรม (2527) สำหรับสวนป่าปลูกสัก ไร่ร้าง ประเมินค่า C-factor ของ Wischmeier (1975) เสนอไว้ใช้สำหรับทุ่งปศุสัตว์ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พื้นที่รกร้างว่างเปล่าซึ่งมีวัสดุคลุมดิน โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของชนิดพืชพรรณและลักษณะการปกคลุมดิน

(2) ประเมินค่า C-factor ของป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด ป่าปลูกสักอายุ 3 ปี โดยอาศัยรูปแบบสมการการสูญเสียดินสากล (Wischmeier and Smith, 1978) ดังนี้

$$C = \frac{A_C}{RKLSP} \quad \text{หรือ} \quad \frac{A_C}{A_K}$$

C = ปัจจัยการจัดการพืช

A_C = การสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลองของพืชชนิดนั้น
(ตัน/เฮกตาร์)

K = ปัจจัยความคงทนต่อการพังทลายของดิน ได้จากค่าเฉลี่ยของแปลงทิ้งไว้ว่างเปล่าแล้วไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

R = ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน

L = บั๊จจัยความยาวความลาดเท

S = บั๊จจัยความลาดเท

P = บั๊จจัยการอนุรักษ์ดิน หรือ การจัดการดิน

A_k = การสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่า
และไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (ตัน/เฮกแตร์)

ค่า C -factor นี้ จะเป็นค่าพิพพรรณต่าง ๆ ในพื้นที่นี้จึงจะนำไปใช้ในสมการ
การสูญเสียดินสากลในการศึกษาครั้งนี้

4.3.2.6 ประเมินค่าการปฏิบัติการควบคุมการพังทลายของดิน
(conservation practice factor, P) บันทึกชนิดการปฏิบัติการอนุรักษ์ดิน การจัดการ
ที่ดินในแปลงทดลอง นำไปหาค่า P จากตาราง P -factor ในกรณีไม่ใช้มาตรการ
อนุรักษ์ดินด้วยวิธีใด ๆ ให้ค่า P เท่ากับ 1

4.3.2.7 ประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล
($A = RKLSCP$) โดยใช้ค่า K -factor ที่ประเมินได้จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่าง
เปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

4.3.2.8 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่ได้จาก
การใช้สมการการสูญเสียดินสากล กับการสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลอง (ในข้อ 4.3.2.7
กับ 4.3.2.1) ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation)

4.3.2.9 ประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล
($A = RKLSCP$) โดยใช้ค่า K -factor ที่ประเมินโดยใช้แผนภาพ Nomograph

4.3.2.10 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่ได้จากการ
ใช้สมการการสูญเสียดินสากล กับการสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลอง (ในข้อ 4.3.2.9 กับ
4.3.2.1) ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation)

บทที่ 5

ผลและวิจารณ์

5.1 ปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน (rainfall erosivity factor)

การวิเคราะห์หาค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนที่ทำให้เกิดการพังทลายของดินในการศึกษาครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลติดต่อกันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533-2535 (3 ปี) โดยการอ่านกราฟน้ำฝนชนิดบันทึก 7 วัน จากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติของสถานีตรวจวัดอากาศบริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากจุดศึกษาแปลงทดลองประมาณ 500 เมตร การศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องใช้กระดาษกราฟแบบบันทึก 7 วัน ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารรถหากราฟบันทึกแบบทุกวันในบริเวณศึกษาและใกล้เคียงได้ ซึ่งการอ่านกราฟน้ำฝนชนิดนี้มีสเกลเล็ก และความละเอียดน้อย จำเป็นต้องนำมาขยายสเกล 4 เท่า จึงสามารถอ่านค่าได้ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าดัชนี EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m เป็นรายสตอร์ม (ภาคผนวกที่ 4 ข.) แล้วจึงนำมาหาผลรวมของดัชนีต่าง ๆ เป็นรายปี (ตารางที่ 2,3,4)

จากการวิเคราะห์ปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนในปีแรก พบว่า ดัชนี EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m มีค่า 867.5 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ 112.5 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ และ 295.7 ตร.ชม./ชม. ตามลำดับ โดยน้ำฝนที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมีจำนวน 32 สตอร์ม ปริมาณน้ำฝน 961.5 มม. ในปีที่สอง มีค่า 945.9 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ 115.14 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ และ 294.4 ตร.ชม./ชม. ตามลำดับ โดยฝนที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมีจำนวน 36 สตอร์ม ปริมาณน้ำฝน 968.0 มม. ในปีที่สาม มีค่า 735.3 เมตร-ตัน/เฮกแตร์, 99.1 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ และ 366.0 ตร.ชม./ชม. ตามลำดับ โดยฝนที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมีจำนวน 36 สตอร์ม ปริมาณน้ำฝน 822.1 มม. (ตารางที่ 5.)

ตารางที่ 2. ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนและพลังงานจลน์เป็นรายสัปดาห์ ปี พ.ศ.2533

No of Storm	Date	Amount (mm)	Duration (min)	Intensity		I_{max} (mm/hr)	I_{30} (mm/hr)	KE (kg-ton/m ² /hr)	EI_{30} (kg-ton/m ² /hr)	KE>1 (kg-ton/m ² /hr)	A_{30} (mm ² /hr)
				(mm/hr)	(mm/hr)						
1	12/3/90	17.0	7.5	136.00	13.60	2.60	2.60	401.42	10.44	3.21	4.42
2	5/4/90	25.5	105	14.57	1.46	3.20	3.00	622.53	18.68	5.83	8.16
3	16/5/90	12.5	60	12.50	1.25	2.20	2.20	289.42	6.37	0.00	2.75
4	17/5/90	17.0	300	3.40	0.34	1.80	1.80	332.50	5.99	0.00	3.06
5	21/5/90	32.0	150	12.80	1.28	4.20	4.20	765.63	32.16	5.58	13.44
6	22/5/90	23.0	180	7.67	0.77	3.20	2.00	505.67	10.11	2.04	7.36
7	25/5/90	93.5	270	20.78	2.08	4.70	8.00	2378.57	190.29	19.71	43.95
8	28/5/90	19.0	330	3.45	0.35	0.90	1.60	359.83	5.76	0.00	1.71
9	30/5/90	39.0	330	7.09	0.71	2.50	2.50	879.20	21.98	3.07	9.75
10	9/6/90	54.0	150	21.60	2.16	3.60	4.00	1340.30	53.61	9.35	19.44
11	22/6/90	13.0	165	4.73	0.47	1.07	1.00	248.98	2.49	0.00	1.39
12	5/7/90	19.0	360	3.17	0.32	1.00	1.60	352.90	5.65	0.00	1.90
13	23/7/90	13.0	435	1.79	0.18	1.00	1.00	211.34	2.11	0.00	1.30
14	24/7/90	92.0	525	10.51	1.05	2.53	2.80	2026.03	56.70	4.68	23.28
15	29/7/90	26.0	330	4.73	0.47	2.00	2.00	555.00	11.10	0.00	5.20
16	30/7/90	14.0	210	4.00	0.40	1.00	1.00	253.85	2.54	0.00	1.40
17	18/8/90	33.0	60	33.00	3.30	3.30	5.00	846.28	42.31	8.46	10.89
18	29/8/90	39.0	270	8.67	0.87	1.45	4.60	841.16	38.69	0.00	5.66
19	30/8/90	33.0	870	2.28	0.23	0.80	0.80	533.68	4.27	0.00	2.64
20	3/9/90	14.0	50	16.80	1.68	2.00	2.00	366.05	6.52	0.00	2.80
21	5/9/90	64.0	45	85.33	8.53	8.50	7.80	1876.29	146.35	18.76	54.40
22	7/9/90	13.0	60	13.00	1.30	1.30	2.70	286.57	6.30	0.00	1.69
23	8/9/90	17.0	120	8.50	0.85	2.60	2.60	386.00	10.04	3.21	4.42
24	9/9/90	24.0	75	19.20	1.92	3.10	4.00	598.12	23.92	5.83	7.44
25	12/9/90	10.0	90	6.67	0.67	0.90	1.40	200.41	2.81	0.00	0.90
26	14/9/90	25.0	180	8.33	0.83	3.80	3.80	594.50	22.59	4.98	9.50
27	16/9/90	21.0	120	10.50	1.05	2.00	2.00	457.89	9.16	0.00	4.20
28	29/9/90	17.0	90	11.33	1.13	1.10	2.20	365.73	8.05	0.00	1.87
29	30/9/90	17.0	60	17.00	1.70	3.20	3.20	423.22	13.54	4.08	5.44
30	6/10/90	13.5	45	18.00	1.80	1.80	1.40	314.58	4.40	0.00	2.43
31	21/10/90	17.0	270	3.78	0.38	1.00	1.00	305.41	3.05	0.00	1.70
32	25/10/90	15.0	90	10.00	1.00	2.00	2.00	332.57	6.65	0.00	3.00
33	26/10/90	50.0	315	9.52	0.95	3.40	5.00	1158.08	57.90	8.76	17.00
34	9/11/90	29.5	360	4.92	0.49	3.80	3.80	658.14	25.01	4.98	11.21
Total		961.5	7,078					22,067.85	867.5	112.5	295.7

Remarks : KE = Kinetic energy of rainfall

ตารางที่ 3. ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนและพลังงานจลน์เป็นรายสัปดาห์ ปี พ.ศ.2534

No of Storm	Date	Amount (mm)	Duration (min)	Intensity		I_{max} (mm/hr)	I_{30} (mm/hr)	KE (mm ² /hr)	E_{30} (mm ² /hr)	KE>1 (mm ² /hr)	A_{30} (mm ² /hr)
				(mm/hr)	(mm/hr)						
1	19/4/91	29.5	180	9.83	0.98	1.60	2.40	643.30	29.50	0.00	4.72
2	21/4/91	31.0	90	20.67	2.07	5.40	5.40	815.78	44.05	7.44	16.74
3	27/4/91	80.0	240	20.00	2.00	4.20	7.00	1956.27	148.57	11.16	33.60
4	4/5/91	47.5	330	8.64	0.86	2.50	2.60	1048.94	27.27	6.14	11.88
5	6/5/91	15.5	60	15.50	1.55	3.00	3.00	385.21	11.56	3.79	4.65
6	8/5/91	42.0	360	7.00	0.70	3.20	5.40	970.02	52.49	8.17	13.44
7	9/5/91	14.5	120	7.25	0.73	2.10	2.10	320.22	6.72	0.00	3.05
8	14/5/91	64.0	240	16.00	1.60	6.10	10.00	1731.21	173.12	16.77	39.04
9	21/5/91	19.0	210	5.43	0.54	2.80	2.80	421.50	11.80	3.50	5.32
10	26/5/91	27.0	150	10.80	1.08	3.00	3.00	619.57	18.59	3.79	8.10
11	30/5/91	8.0	60	8.00	0.80	0.80	2.00	161.34	3.23	0.00	0.64
12	5/6/91	25.5	120	12.75	1.28	1.85	2.00	570.00	11.41	0.00	4.72
13	7/6/91	10.0	120	5.00	0.50	0.90	1.20	197.73	2.37	0.00	0.90
14	8/6/91	16.0	180	5.33	0.53	1.00	1.80	386.89	6.06	0.00	2.24
15	23/6/91	45.0	750	3.60	0.36	1.20	1.60	823.37	13.17	0.00	5.40
16	19/7/91	34.5	210	9.86	0.99	3.00	5.00	824.60	41.23	7.58	10.05
17	23/7/91	43.0	270	9.56	0.96	7.80	7.80	1178.34	91.91	11.30	33.54
18	24/7/91	29.5	180	9.83	0.98	3.00	3.00	674.05	20.22	3.97	8.85
19	26/7/91	8.0	150	3.20	0.32	0.80	0.80	139.91	1.12	0.00	0.64
20	1/8/91	9.5	60	9.50	0.95	0.90	1.20	197.90	2.37	0.00	0.86
21	4/8/91	19.5	120	9.75	0.98	3.00	2.40	454.64	10.91	3.79	5.85
22	10/8/91	21.0	60	21.00	2.10	2.10	2.20	501.85	11.04	0.00	4.41
23	15/8/91	46.5	270	10.33	1.03	2.70	3.40	1045.13	36.06	0.00	9.77
24	18/8/91	27.0	480	3.38	0.34	1.60	1.80	522.43	9.40	0.00	4.32
25	21/8/91	18.0	150	7.20	0.72	2.80	3.50	412.05	14.42	3.50	5.04
26	22/8/91	9.0	150	3.60	0.36	1.40	1.40	180.57	2.53	0.00	1.26
27	26/8/91	18.0	120	9.00	0.90	1.40	1.40	360.39	5.05	0.00	2.16
28	28/8/91	12.5	90	8.33	0.83	1.60	1.60	263.63	4.22	0.00	2.00
29	29/8/91	15.5	90	10.33	1.03	2.00	2.00	340.85	6.82	0.00	3.10
30	8/9/91	38.0	240	9.50	0.95	2.80	2.80	825.18	23.10	3.50	10.60
31	9/9/91	27.0	120	13.50	1.35	2.60	2.60	612.37	15.92	3.21	7.02
32	17/9/91	20.0	11	109.09	10.91	1.80	2.20	244.69	5.38	0.00	1.98
33	21/9/91	35.0	180	11.67	1.17	3.00	4.80	842.40	40.44	7.58	10.50
34	26/9/91	12.0	180	4.00	0.40	1.00	1.40	234.56	3.28	0.00	1.80
35	5/10/91	41.0	240	10.25	1.03	3.80	3.80	1031.61	39.20	9.95	15.58
36	6/10/91	9.0	75	7.20	0.72	0.70	0.80	177.89	1.42	0.00	0.63
Total	-	968.0	6,656	-	-	-	-	22,116.39	945.95	115.14	294.4

Remarks : KE = Kinetic energy of rainfall

ตารางที่ 4. ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของดินและพลังงานจลน์เป็นรายสัปดาห์ ปี พ.ศ.2535

No of Station	Date	Amount (mm)	Duration (min)	Intensity		I_{max} (mm/hr)	I_{50} (mm/hr)	KE (mm-ton/hr)	E_{50} (mm-ton/hr)	KE>1 (mm-ton/hr)	A_{50} (mm ² /hr)
				(mm/hr)	(mm/hr)						
1	30/4/92	31.0	108	17.22	1.72	3.00	5.00	767.74	38.39	7.58	9.30
2	14/5/92	10.5	60	10.50	1.05	2.00	2.00	243.16	2.43	0.00	2.10
3	16/6/92	6.5	30	13.00	1.30	2.40	1.30	153.89	2.00	0.00	1.56
4	30/6/92	5.5	30	11.00	1.10	1.60	1.00	119.97	1.20	0.00	0.88
5	11/7/92	9.0	210	2.57	0.26	1.20	1.20	166.80	2.00	0.00	1.08
6	13/7/92	6.0	75	4.80	0.48	1.20	0.70	118.75	0.83	0.00	0.72
7	14/7/92	30.0	420	4.29	0.43	1.20	1.20	552.81	6.63	0.00	3.60
8	15/7/92	11.0	210	3.14	0.31	1.00	1.00	210.08	2.10	0.00	1.10
9	23/7/92	8.0	210	2.29	0.23	1.20	1.20	151.99	1.82	0.00	0.96
10	24/7/92	16.0	120	8.00	0.80	1.20	1.20	325.04	3.90	0.00	1.92
11	25/7/92	9.0	180	3.00	0.30	1.20	1.20	169.48	2.10	0.00	1.08
12	26/7/92	34.0	450	4.53	0.45	2.60	1.90	687.35	13.25	1.61	8.84
13	28/7/92	22.0	120	11.00	1.10	1.40	1.40	475.60	6.66	0.00	3.08
14	29/7/92	22.5	420	3.21	0.32	3.00	1.60	436.28	6.98	1.90	6.75
15	30/7/92	14.0	120	7.00	0.70	1.00	1.00	276.65	2.77	0.00	1.40
16	31/7/92	70.0	450	9.33	0.93	16.80	9.00	1893.46	170.41	15.16	117.60
17	4/8/92	36.0	1080	2.00	0.20	2.00	2.00	656.30	13.13	0.00	7.20
18	5/8/92	24.0	120	12.00	1.20	4.80	3.00	565.31	16.96	3.25	11.52
19	6/8/92	20.0	150	8.00	0.80	4.40	3.20	459.96	14.71	2.94	8.80
20	15/8/92	21.3	390	3.28	0.33	1.20	1.20	384.13	4.62	0.00	2.52
21	18/8/92	18.3	135	8.13	0.81	2.60	1.50	390.31	5.85	1.61	4.81
22	29/8/92	18.0	90	12.00	1.20	2.60	2.60	413.16	10.74	3.21	4.68
23	31/8/92	98.0	150	39.20	3.92	6.20	7.40	2703.80	200.08	26.12	60.76
24	14/9/92	16.0	225	4.27	0.43	2.20	2.20	341.58	7.51	0.00	3.52
25	15/9/92	20.0	75	16.00	1.60	2.60	2.60	482.69	12.55	3.21	2.40
26	16/9/92	11.0	105	6.29	0.63	1.80	1.80	239.34	4.31	0.00	1.98
27	17/9/92	48.0	330	8.73	0.87	2.60	2.60	1020.72	26.50	3.21	12.48
28	20/9/92	29.0	435	4.00	0.40	2.60	1.30	592.59	7.70	3.21	7.54
29	22/9/92	18.0	75	14.40	1.44	4.40	4.40	439.54	19.34	2.94	7.92
30	23/9/92	39.0	300	7.80	0.78	3.80	4.00	1001.99	40.08	9.95	14.82
31	29/9/92	22.0	390	3.38	0.34	1.60	1.60	407.29	6.52	0.00	3.52
32	30/9/92	31.0	30	62.00	6.20	12.00	6.20	982.43	58.00	9.66	37.20
33	1/10/92	8.0	30	16.00	1.60	2.80	1.60	192.56	3.08	1.75	2.24
34	1/10/92	8.5	30	17.00	1.70	4.20	1.70	212.95	3.62	1.86	3.57
35	1/10/92	10.0	75	8.00	0.80	2.40	1.40	216.44	3.03	0.00	2.40
36	1/10/92	21.0	90	14.00	1.40	2.00	2.80	488.99	13.59	0.00	4.20
Total		622.1	7518	-	-	-	-	18941.13	735.39	99.17	346.05

Remarks : KE = Kinetic energy of rainfall

ตารางที่ 5. ปัจจัยชะล้างพังทลายของผิวนิคมต่าง ๆ บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาดินน้ำฝาน
ปี พ.ศ. 2533-2535

Year	Rainfall (mm/year)	Rainfall erosivity factor		
		EI ₃₀ (m-ton/ha)	KE>1 (m-ton/ha)	AI _m (cm ² /ha)
1990	961.5	867.5	112.5	295.7
1991	968.0	945.9	115.4	294.4
1992	822.1	735.3	99.1	366.0

เมื่อพิจารณาค่าดัชนี EI₃₀ จากตารางที่ 2,3,4 พบว่า ค่าสูงสุด และต่ำสุดที่ทำให้เกิดการสูญเสียดินในปีแรก เท่ากับ 190.29 , 2.49 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ ปีที่สอง เท่ากับ 173.12, 1.12 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ ปีที่สาม เท่ากับ 200.08, 0.83 เมตร-ตัน/เฮกแตร์

จากตารางที่ 2,3,4. จะเห็นได้ว่าค่าสูงสุดของดัชนี KE>1 ที่ทำให้เกิดการสูญเสียดินในปีแรก ปีที่สอง และปีที่สาม เท่ากับ 19.71, 16.37 และ 26.12 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ และให้ค่าต่ำสุดทั้ง 3 ปี เท่ากับ 0

สำหรับดัชนี AI_m ค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้เกิดการสูญเสียดิน ในปีแรก เท่ากับ 54.40 และ 1.30 ตร.ชม./ชม. ปีที่สอง เท่ากับ 39.04 และ 0.64 ตร.ชม./ชม. ปีที่สาม เท่ากับ 117.60 และ 0.72 ตร.ชม./ชม. (ตารางที่ 2,3,4)

เมื่อนำค่าดัชนี EI_{30} และ $KE>1$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ (ตารางที่ 5) ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการประเมินในสมการสหสัมพันธ์ของ มนุ ศรีจักร และคณะ (2527) ซึ่งได้ค่า EI_{30} ในปีแรก ปีที่สอง ปีที่สาม เท่ากับ 509.7, 515.3 และ 388.2 ตามลำดับ จากปริมาณน้ำฝนรายปี 961.5, 968.0, 822.1 มม. และค่า $KE>1$ เท่ากับ 156.7, 157.7 และ 133.9 ตามลำดับ จะเห็นว่าดัชนี $KE>1$ ให้ค่าไม่แตกต่างกันมากนัก นั้นแสดงให้เห็นแนวโน้มการประยุกต์ใช้กระดาษกราฟแบบบันทึก 7 วันแทนแบบชนิดอ่านทุกวัน แต่สำหรับค่าของดัชนี EI_{30} นั้น มีแนวโน้มมากกว่าเกือบ 2 เท่าในทุก ๆ ปี

5.1.1 การทดสอบปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนที่เหมาะสมใน USLE

ในการศึกษาหาดัชนีที่เหมาะสมในสมการการสูญเสียดินสากลครั้งนี้ ใช้การพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ การสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงในแปลงทดลอง ทำการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation) โดยใช้ข้อมูลรายสตรอม ที่เก็บติดต่อกันเป็นเวลา 3 ปี ได้ผลการศึกษา ดังนี้

จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนต่าง ๆ กับ การสูญเสียดินที่เกิดจากจำนวนฝนรวม 106 สตรอม โดยพิจารณาเป็นรายแปลง พบว่าดัชนี EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m มีความสัมพันธ์กับปริมาณการสูญเสียดิน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างดัชนี EI_{30} กับ การสูญเสียดิน มีแนวโน้มสูงกว่าดัชนีอื่น ๆ เกือบทุกแปลงทดลอง คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.397 - 0.941 รองลงมาเป็นดัชนี $KE>1$ ซึ่งมีค่า 0.392 - 0.931 และดัชนี AI_m มีค่าน้อยที่สุด คือ 0.274 - 0.825 (ตารางที่ 6.)

และจากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ การสูญเสียดินเป็นรายสตรอมรวมทุกแปลง (1,104 สตรอม) พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับวิธีแรก นั่นคือ ดัชนีทั้งสามมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียดิน โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และสมการถดถอยแบบเส้นตรงดังนี้ (ตาราง 6. ภาคผนวกที่ 6 ข.)

ตารางที่ 6. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างปัจจัยข้างล่าง
ฟังก์ชันของฝนกับการสูญเสียดิน

Landuse	E_{11}	$KC > 1$	A_{11}
MDF	$S = 39.86 + 1.93R$ $r = 0.595$	$S = 48.23 + 12.32R$ $r = 0.452$	$S = 59.32 + 2.79R$ $r = 0.354$
MDF	$S = 12.72 + 2.83R$ $r = 0.673$	$S = 14.86 + 21.44R$ $r = 0.607$	$S = 39.52 + 4.27R$ $r = 0.418$
SA	$S = 24.81 + 1.32R$ $r = 0.397$	$S = 23.33 + 10.79R$ $r = 0.392$	$S = 34.92 + 2.40R$ $r = 0.274$
SA	$S = 11.30 + 1.21R$ $r = 0.511$	$S = 8.81 + 10.26R$ $r = 0.522$	$S = 18.82 + 2.40R$ $r = 0.382$
SB	$S = 3.35R - 0.80$ $r = 0.701$	$S = 27.68R - 5.66$ $r = 0.701$	$S = 22.75 + 6.31R$ $r = 0.500$
SB	$S = 4.42R - 2.95$ $r = 0.746$	$S = 35.51R - 6.08$ $r = 0.723$	$S = 26.68 + 8.51R$ $r = 0.542$
UR	$S = 23.99 + 4.42R$ $r = 0.812$	$S = 22.22 + 35.08R$ $r = 0.777$	$S = 46.24 + 9.33R$ $r = 0.647$
UR	$S = 27.55 + 4.31R$ $r = 0.739$	$S = 29.64 + 32.92R$ $r = 0.681$	$S = 51.19 + 8.86R$ $r = 0.575$
C	$S = 8.04 + 3.06R$ $r = 0.700$	$S = 7.05 + 24.17R$ $r = 0.668$	$S = 24.44 + 6.33R$ $r = 0.549$
C	$S = 3.18R - 1.10$ $r = 0.751$	$S = 1.15 + 24.08R$ $r = 0.686$	$S = 18.86 + 6.27R$ $r = 0.559$
T	$S = 1.17 + 3.16R$ $r = 0.664$	$S = 6.90 + 22.80R$ $r = 0.578$	$S = 26.52 + 5.62R$ $r = 0.446$
T	$S = 2.51 + 2.83R$ $r = 0.580$	$S = 10.67 + 19.43R$ $r = 0.481$	$S = 27.79 + 4.74R$ $r = 0.367$
BS	$S = 0.06 + 0.02R$ $r = 0.941$	$S = 0.04 + 0.13R$ $r = 0.931$	$S = 0.11 + 0.03R$ $r = 0.825$
BS	$S = 0.12 + 0.01R$ $r = 0.885$	$S = 0.09 + 0.10R$ $r = 0.916$	$S = 0.17 + 0.02R$ $r = 0.750$
Total	$S = 11.53 + 3.03R$ $r = 0.653$	$S = 12.42 + 23.41R$ $r = 0.607$	$S = 32.59 + 5.72R$ $r = 0.470$

$$\text{soil loss} = 11.53 + 3.03 \text{ EI}_{30}, \quad r = 0.653$$

$$\text{soil loss} = 12.42 + 23.41 \text{ KE} > 1, \quad r = 0.607$$

$$\text{soil loss} = 32.59 + 5.72 \text{ AI}_m, \quad r = 0.470$$

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6. เป็นที่น่าสังเกตว่าดัชนี EI_{30} มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียดินมากกว่าดัชนี $\text{KE} > 1$ และ AI_m ตลอดการวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณี ทั้งนี้อาจสรุปได้ว่า ดัชนี EI_{30} น่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ใน USLE ในพื้นที่ศึกษา มากกว่าดัชนี $\text{KE} > 1$ และ AI_m ที่เป็นเช่นนี้แสดงให้เห็นว่า การเกิดการพังทลายของดินในพื้นที่นี้ขึ้นอยู่กับพลังงานของเม็ดฝนที่ขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของเม็ดฝน ปริมาณฝนตก และความหนักเบา 30 นาทีสูงสุด เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ดัชนี EI_{30} มีบทบาทมาก ทั้งนี้อิทธิพลของพลังงานจลน์ เป็นตัวที่พาหื้ออนุภาคของดินแตกกระจายออกจากกันและพาเม็ดดินที่แตกแยกกระเด็นออกไป และค่าความหนักเบา 30 นาทีสูงสุด เป็นตัวกำหนดว่าจะมีน้ำไหลบ่ามากน้อยเพียงใด ซึ่งสะท้อนให้เห็นอัตราการสูญเสียดินอย่างเด่นชัด (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) ถ้าความหนักเบาสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีมีค่าน้อยมากแล้ว อัตราการเกิดการพังทลายของดินเกือบจะไม่เกิดเลย (Satterlund, 1972) ดังนั้นดัชนี EI_{30} จึงมีอิทธิพลต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดินอย่างเด่นชัด

อีกประการหนึ่ง ดัชนี EI_{30} เป็นข้อมูลจากผลการศึกษาและทดลองในพื้นที่ต่าง ๆ จำนวน 10,000 แปลง-ปี อย่างต่อเนื่องและยาวนานเป็นเวลาถึง 22 ปี จนสามารถเชื่อถือได้อย่างมีนัยสำคัญ (Wischmeier and Smith, 1965) และได้มีการทดลองใช้ในประเทศต่าง ๆ ก็พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดการพังทลายของดินมากกว่าดัชนีตัวอื่น ๆ และ Wischmeier and Smith (1958) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเม็ดฝนกับความหนักเบาของฝนที่มีความสัมพันธ์กับการชะล้างพังทลายของดิน ได้กล่าวว่า การสูญเสียดินมีความสัมพันธ์ที่ผันแปรโดยตรงกับผลคูณของพลังงานจลน์ของฝน กับความหนักเบาสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาที และจากผลการศึกษาของ Smith and Wischmeier (1962) กล่าวว่า การสูญเสียดินเนื่องจากฝนมีพลังชะล้างพังทลาย (EI_{30}) ต่าง ๆ กันจากแปลงทดลองที่มีการไถพรวนขึ้นลงขนานแนวความลาดชัน โดยใช้ดินต่าง ๆ กัน จะมีผลต่อการสูญเสียดิน

เนื่องมาจากฝนตกครั้งหนึ่ง ๆ ประมาณ 70-90 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นเป็นอิทธิพลของปัจจัยอื่น สอดคล้องกับ Babu et al (1970) ที่ได้ทำการศึกษาทดลองในประเทศอินเดียซึ่งอยู่ใน เขตร้อนชื้นเช่นเดียวกับประเทศไทย พบว่า ดัชนี EI ที่มีความแรงวิกฤตของฝนที่ตกสูงสุดใน 30 นาที มีความสัมพันธ์กับการเกิดการชะล้างพังทลายของดินจากลักษณะฝนที่ตกในอินเดีย แต่ละพายุฝนมากที่สุด และจากผลการศึกษาของ Aina et al (1977) ในบริเวณเขตป่า ฝนเมืองร้อนทางตะวันตกของประเทศไนจีเรีย ก็ได้ผลเช่นเดียวกันกับ วีระชาติ เทพพิศ (2524) ได้ศึกษาพบว่า การสูญเสียดินมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง กับผลคูณของพลังงานที่ได้จาก ความหนักเบาของฝนทั้งหมดในแต่ละครั้ง กับ ความหนักเบาของฝนที่ตกสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีสูงสุด

ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้ จึงสามารถชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มถึงการนำดัชนี EI₃₀ ไปใช้ในสมการการสูญเสียดิน น่าจะมีความเหมาะสมในพื้นที่นี้ ถ้าได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานกว่านี้

และอิทธิพลของพลังงานจลน์ของน้ำฝน ส่งผลให้ดัชนี KE>1 มีความสัมพันธ์กับการ สูญเสียดินเช่นกัน แต่อยู่ในระดับที่น้อยกว่า ดัชนี EI₃₀ เล็กน้อย ทั้งนี้การได้มาของดัชนี KE>1 นั้นได้มาจากการคำนวณและเลือกเอาเฉพาะพลังงานจลน์ของฝนที่มีความรุนแรง 25 มม./ชม. ดังที่ Hudson (1971) กล่าวว่า การชะล้างพังทลายของดินจะเกิดขึ้นได้เมื่อฝนที่ตกมี อัตราความหนักเบาเกินวิกฤติ ค่าต่ำสุดของความหนักเบาของฝนนี้ คือ ระดับปริมาณ 1 นิ้ว/ชม. หรือ 25 มม./ชม. แต่อย่างไรก็ดี ค่าดัชนีนี้ก็ยังมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียดิน น้อยกว่า ดัชนี EI₃₀ ซึ่งเมื่อมาพิจารณาค่าของดัชนี KE>1 แล้วจะเห็นว่าในบางสโตรมที่ ฝนตก และมีค่า KE>1 สูง แต่การพังทลายของดินยังคงมีไม่มากนัก เนื่องจากสภาพดินมี ความชื้นน้อย โดยเฉพาะสโตรมของฝนที่ทิ้งช่วงห่างของฝน เมื่อมีฝนตกมาปริมาณน้ำฝนจะซึม ซาบสู่ดิน ไม่ก่อให้เกิดการไหลบ่าหน้าดิน ซึ่ง นิพนธ์ ตั้งธรรม (2527) ได้กล่าวว่า การ ชะล้างพังทลายของดินไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดนั้นมักมีสาเหตุมาจากความรุนแรงของเม็ดฝนที่ตก กระทบ และมาจากน้ำไหลบ่าหน้าดินอันเกิดจากที่ดินไม่สามารถรองรับการซึมของน้ำฝนได้หมด เนื่องจากมีอิทธิพลของสภาพความชื้นดินมาเกี่ยวข้อง จึงทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี KE>1

กับการสูญเสียดินน้อยลงบ้าง แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังคงมีแนวโน้มนาไปประยุกต์ใช้ใน USLE ได้รองจากดัชนี EI_{30}

สำหรับดัชนี AI_m นั้น มีการคำนวณจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในครั้งนั้นกับความหนักเบาสูงสุดของฝนในครั้งนั้น โดยไม่มีพลังงานจลน์เข้าไปเกี่ยวข้องด้วย และพบว่ามีความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ น้อยกว่าดัชนี EI_{30} และ $KE>1$ ซึ่งมีการนำเอาพลังงานจลน์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงสามารถชี้ให้เห็นถึงการสูญเสียดินในพื้นที่นี้ มีความสัมพันธ์กับพลังงานจลน์ของน้ำฝนดังที่กล่าวข้างต้นแล้ว จึงส่งผลให้ดัชนี EI_{30} และ $KE>1$ มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียดินสูงกว่า AI_m ซึ่ง สมเจตน์ จันทวัฒน์ (2522) บรรยายว่า อำนาจของฝนในการก่อให้เกิดการพังทลายของดิน จะมีความสัมพันธ์กับสมบัติต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ของฝน โดยเฉพาะพลังงานจลน์ของฝนที่มีความสำคัญที่สุด และสอดคล้องกับ วีระชาติ เทพพิพิธ (2524) ที่ได้ศึกษาการสูญเสียดินบนภูเขาสูงดอยบุญ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณดินที่สูญเสีย กับ พลังงานจลน์ของเม็ดฝน (kinetic energy, KE)

ดังนั้น จากการศึกษความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนที่หาด้วยวิธีต่าง ๆ ในครั้งนี้ กับการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริง สามารถชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มความเหมาะสมของดัชนี EI_{30} ที่ใช้ใน USLE ของการศึกษานี้ แต่อย่างไรก็ตามดัชนี $KE>1$ ก็ยังคงเป็นดัชนีที่น่าจะนำไปประยุกต์ใช้ได้เช่นกัน

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน กับ ปริมาณน้ำฝน

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของชนิดฝนต่าง ๆ (EI_{30} , $KE>1$, AI_m) กับปริมาณน้ำฝนเป็นรายสัปดาห์ ในปี พ.ศ. 2533, 2534 และ 2535 โดยการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) และสมการถดถอยเชิงเส้นตรง พบว่า ดัชนีทั้งสามมีความสัมพันธ์ กับปริมาณน้ำฝนอย่างมีนัยสำคัญ คือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ในปีแรก ปีที่สอง และปีที่สาม (ตารางที่ 7. ภาคผนวกที่ 7 ข. ภาคผนวกที่ 8 ข. ภาคผนวกที่ 9 ข.) . ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 7. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผิวดินกับปริมาณน้ำฝน

Year	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
1990	$Y=1.64X-20.93$ $r=0.8496$	$Y=0.18X-1.88$ $r=0.7599$	$Y=0.48X-4.80$ $r=0.8438$
1991	$Y=1.96X-26.31$ $r=0.8466$	$Y=0.19X-2.03$ $r=0.7481$	$Y=0.48X-4.80$ $r=0.8549$
1992	$Y=2.06X-26.69$ $r=0.8993$	$Y=0.25X-2.93$ $r=0.8752$	$Y=0.90X-10.46$ $r=0.7756$
1990- 1992	$Y=1.85X-24.11$ $r=0.8626$	$Y=0.21X-2.28$ $r=0.7961$	$Y=0.61X-6.75$ $r=0.7473$

Remarks : r = Correlation coefficient value

Y = Rainfall erosivity factor

X = Annual rainfall

ดัชนี EI_{30} เท่ากับ 0.8496, 0.8466 และ 0.8993

ดัชนี $KE>1$ เท่ากับ 0.7599, 0.7481 และ 0.8752

ดัชนี AI_m เท่ากับ 0.8438, 0.8549 และ 0.7759

เมื่อวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผิวดินกับปริมาณน้ำฝนเป็นรายสัปดาห์ รวม 3 ปี (106 สัปดาห์) พบว่า ดัชนีทั้งสามมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนอย่างมีนัยสำคัญ โดยดัชนี EI_{30} มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนมากที่สุด รองลงมาเป็นดัชนี $KE>1$ และ AI_m ตามลำดับ (ตารางที่ 7. ภาคผนวกที่ 10 ข.) โดยมีสมการถดถอยเชิงเส้นตรงดังนี้

$$EI_{30} = 1.85 \text{ Rain} - 24.11, \quad r = 0.8629$$

$$KE > 1 = 0.21 \text{ Rain} - 2.28, \quad r = 0.7961$$

$$AI_m = 0.61 \text{ Rain} - 6.75, \quad r = 0.7473$$

จากสมการนี้ เมื่อพิจารณาแล้ว จะเห็นว่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน จะมีค่าผันแปรตามปริมาณของฝน หมายความว่า ต้องมีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 13.03 มิลลิเมตร ต่อสตอร์ม จึงจะทำให้เกิดค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (EI_{30}) ขึ้นได้ หรือต้องมีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 10.85 มิลลิเมตร/สตอร์ม จึงจะทำให้เกิดค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน ($KE > 1$) ขึ้นได้ ซึ่งความสัมพันธ์กันอย่างยิ่งของทั้งสองนี้ สอดคล้องกับ มนุ ศรีจรรยา และคณะ (2527) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนรายปีกับดัชนี EI_{30} มีค่า r เท่ากับ 0.9482 และ 0.7211 เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุภรัตน์ สาราญ (2527) ที่ทำการศึกษามนคยบยุย เชียงใหม่ ทั้งสองมีความสัมพันธ์กันทั้งรายเดือน รายฤดู และรายปี โดยมีค่า R^2 (coefficient of determination,) เท่ากับ 0.8081 และสอดคล้องกับ ผลการศึกษาของ เรือง จันทรมหเสถียร (2529) ที่พบว่า ทั้งสองมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8588 และ 0.9347 รวมทั้งสอดคล้องกับการศึกษาของ วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์ (2529) และ วัฒนชัย คารงหาญวิทย์ (2528)

ฉะนั้นการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และสมการถดถอยเชิงเส้นตรงครั้งนี้ อาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาครั้งต่อไป ในการนำเอาสมการไปใช้ประเมินค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนในท้องที่นั้น หรือท้องที่มีลักษณะต่าง ๆ ของฝนใกล้เคียงกัน ในกรณีทราบถึงปริมาณน้ำฝนในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาเรื่องการขาดแคลนเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ และข้อมูลขาดช่วง แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์นี้ยังเป็นเพียงแนวทางเท่านั้น ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้เลย เนื่องจากการวิเคราะห์หาค่าครั้งนี้ใช้ข้อมูลเป็นรายสตอร์ม และเป็นข้อมูลเพียง 3 ปี ซึ่งยังเป็นตัวแทนไม่ค่อยจะดีนัก ทั้งนี้เพราะธรรมชาติของฝนในแต่ละปีมีความแปรปรวนต่างกัน ดังนั้นการใช้ข้อมูลเพียงปีเดียว หรือน้อยกว่า 10 ปี จะเป็นผลทำให้ค่าดัชนีที่ประเมินได้ไม่เป็นตัวแทนที่ดีในบริเวณนั้น จึงควรใช้ข้อมูลระยะ 10 ปีเป็นอย่างน้อย (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2526)

5.2 ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility factor, K)

การประเมินค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ในหน่วยสัมพัทธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า (Tha Yang/Lat Ya Series Association, Ty/Ly) ที่ถูกแผ้วถางป่าปล่อยทิ้งไว้เป็นไร่ร้าง บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน จ. น่าน ได้ใช้วิธีการศึกษาในครั้งนี้ 2 วิธี คือ การประเมินจากแผนภาพโนมोगราฟ (nomograph) โดยใช้คุณสมบัติดินทางกายภาพในพื้นที่ศึกษา และประเมินจากปริมาณการสูญเสียดินในแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าแล้วไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (up and down hill continuous fallow on bare soil plots) ซึ่งการศึกษาค้างนี้เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงสมบัติของดินที่มีผลต่อความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินโดยพลังน้ำฝน และน้ำไหลบ่าหน้าดิน และเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างของวิธีการประเมินค่า K-factor ผลการศึกษาค้างนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

จากผลการประเมินค่า K-factor โดยอาศัยแผนภาพโนมोगราฟ ของ Wischmeier et al (1971) ซึ่งใช้สมบัติทางกายภาพของดินในแปลงทดลองทั้ง 14 แปลง ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. พบว่า ค่า K-factor อยู่ในช่วง 0.32-0.42 เฉลี่ย 0.37 (ตารางที่ 8.) โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 2.05-3.97 เฉลี่ย 3.02 มีเปอร์เซ็นต์ทรายแฉะรวมทั้งทรายละเอียดมากอยู่ในช่วง 52.9-60.7 เฉลี่ย 56.6 เนื้อดินเป็นดินร่วน (loam) โครงสร้างแบบ Blocky สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) อยู่ระหว่าง 14.70-29.50 ซม./ชม. ซึ่งเมื่อนำไปจัดระดับความสามารถข่าบน้ำของดินของ O'Neal (1952) ดังภาคผนวกที่ 3 ข. จัดว่าอยู่ในระดับการข่าบน้ำได้เร็ว (rapid) ทุกแปลงทดลอง (ตารางที่ 9.)

เมื่อนำค่า K-factor จากการประเมินโดยวิธีนี้ ไปจัดระดับชั้นความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินของ Dangler and El-Swaify (1976) ตามภาคผนวกที่ 11 ข. จัดว่าเป็นดินที่ง่ายต่อการพังทลาย (Moderately high)

ซึ่งผลการประเมิน K-factor โดยวิธีใช้แผนภาพนี้ สอดคล้องกับการรายงานของ กรมพัฒนาที่ดิน (2526) ที่ได้ประเมินดินหน่วยสัมพัทธ์ของชุดดินท้ายาง/ลาดหญ้า (Ty/Ly) จากแผนภาพนี้ได้ค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.33 นอกจากนี้ยังได้ผลตรงกับ วัณชัย คาร์ทวาทวิทย์ (2528) ที่ได้ค่านี้ได้เท่ากับ 0.38 จากการประเมินโดยใช้แผนภาพโรมกราฟ เช่นกัน

และจากการศึกษาค่า K-factor โดยวิธีการประเมินจากปริมาณการสูญเสียดินในแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา ตามแบบ Wischmeier and Smith (1965,1978) และดัดแปลงโดย Roose (1977) โดยอาศัยรูปแบบของสมการการสูญเสียดินสากล ซึ่งการศึกษานี้ได้ใช้แปลงทดลองที่ 13,14 ที่เก็บข้อมูลการสูญเสียดินติดต่อกันเป็นรายสัปดาห์จำนวน 36 สัปดาห์ ปี พ.ศ. 2535 พบว่า K-factor ในแปลงที่ 13,14 มีค่า 0.008 และ 0.011 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ย 0.01 (ตารางที่ 10.) และจัดได้ว่าเป็นดินยากต่อการถูกชะล้างพังทลาย (low) เมื่อนำไปจัดระดับชั้นความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน

5.2.1 การเปรียบเทียบ K-factor จากการประเมินโดยใช้แผนภาพโรมกราฟกับแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

เมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ประเมินได้จากแผนภาพโรมกราฟ (0.37) ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแปลงทดลอง (0.01) จะเห็นได้ว่า K-factor ที่ประเมินได้จากแผนภาพ จะมากกว่าค่าที่ตรวจวัดได้จริงจากแปลงทดลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้แผนภาพประเมินนั้น อาจจะให้ค่าสูงสุดของดินนั้น ๆ ก็ได้ เพราะประเมินจากสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของดินเป็นสภาพที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำเสมอ แต่ค่าที่ตรวจวัดได้จริงจากแปลงทดลองในภาคสนามนั้น ในบางสัปดาห์ของฝนอาจยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และช่องว่างในดินยังไม่ถูกอุดตันปริมาณน้ำบางส่วนจึงไหลซึมลงสู่ดิน ปริมาณน้ำไหลพาของน้ำจึงลดลง ส่งผลให้ลดความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจึงน้อย ทำให้ K-factor ที่ประเมินได้มีค่าน้อยด้วย

ตารางที่ 8. ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ในหน่วยสัมพัทธ์ของ
ชุดดินที่ง่าย/ลาดหญ้า ที่ประเมินด้วยแผนภาพโรมกรรพ

Plot no.	Landuse	Silt + V _{fs} (%)	Clay (%)	OM (%)	Struc Code	Permea Code	Nomograph-K	
							(imperial) ^{1/}	(metric) ^{2/}
1	Mix deciduous fores	58.4	20.3	3.60	4	1	0.283	0.37
2	Mix deciduous fores	60.6	20.8	3.97	4	1	0.280	0.36
3	Swidden area	57.4	21.7	2.85	4	1	0.295	0.38
4	Swidden area	52.9	23.5	3.26	4	1	0.253	0.33
5	Soybean	55.2	21.3	3.16	4	1	0.276	0.36
6	Soybean	55.9	23.7	2.73	4	1	0.283	0.37
7	Upland rice	60.7	19.6	2.73	4	1	0.327	0.42
8	Upland rice	55.6	22.2	2.54	4	1	0.292	0.38
9	Corn	56.7	22.0	2.76	4	1	0.293	0.38
10	Corn	53.8	22.4	3.63	4	1	0.251	0.32
11	Teak 3 year	57.8	22.3	2.82	4	1	0.298	0.38
12	Teak 3 year	55.0	26.7	2.05	4	1	0.284	0.37
13	Bare soil	55.1	22.3	3.19	4	1	0.270	0.35
14	Bare soil	57.8	22.9	3.04	4	1	0.287	0.37
Average		56.6	22.3	3.02	4	1	0.28	0.37

Remark :

Si + V_{fs} = Percentage of silt + very fine sand

OM = Percentage of organic matter

Struc. code = Soil structure code

1 => very fine granular 2 => fine granular

3 => medium and course granular 4 => blocky, platy or massive

Permea. code = Soil Permeability code

1 => rapid 2 => moderrate to rapid 3 => moderate

4 => slow to moderate 5 => slow 6 => very slow

1/ = K-factor from Soil erodibility nomograph (Wischmeier, 1971) in imperial system

(For soil containing less than 70 % silt and very fine sand the nomograph solves the equation

$$100 K = 2.1 M^{1.14} (10)^{-4} (12-a) + 3.25(b-2) + 2.53(c-3)$$

$$M = \frac{\%(\text{silt} + \text{very fine sand})}{100 - \% \text{clay}}$$

a = % organic matter

b = soil structure code

c = soil permeability code

2/ = K-factor from soil erodibility nomograph in metric system

$$1K \text{ in metric} = 1.292 K \text{ in imperial}$$

ตารางที่ 9. คุณสมบัติบางประการของดิน ในแปลงทดลองการใช้น้ำประปาที่ดินชนิดต่าง ๆ ที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำ

Plot no.	Landuse	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	V _{fs} (%)	Texture	K _{sat} (cm/hr)	Permea
1	Mix deciduous forest	0-15	44.4	35.5	20.3	23.1	Loam	29.50	Rapid
2	Mix deciduous forest	0-15	37.4	41.8	20.8	18.8	Loam	22.95	Rapid
3	Swidden area	0-15	40.4	37.8	21.7	19.5	Loam	18.52	Rapid
4	Swidden area	0-15	42.9	33.6	23.5	19.3	Loam	22.69	Rapid
5	Soybean	0-15	43.9	34.9	21.3	20.3	Loam	20.20	Rapid
6	Soybean	0-15	39.9	36.4	23.7	19.5	Loam	14.70	Rapid
7	Upland rice	0-15	41.2	39.2	19.6	21.5	Loam	24.52	Rapid
8	Upland rice	0-15	42.1	35.7	22.2	19.9	Loam	25.29	Rapid
9	Corn	0-15	41.9	36.1	22.0	20.6	Loam	20.11	Rapid
10	Corn	0-15	44.6	33.0	22.4	20.8	Loam	18.46	Rapid
11	Teak 3 year	0-15	40.6	36.8	22.3	20.8	Loam	15.36	Rapid
12	Teak 3 year	0-15	38.4	34.9	26.7	20.1	Loam	20.46	Rapid
13	Bare soil	0-15	39.9	37.8	22.3	17.3	Loam	20.42	Rapid
14	Bare soil	0-15	39.6	37.5	22.9	20.3	Loam	17.59	Rapid

Remarks: V_b = Very fine sand
Permea = Permeability

ตารางที่ 10. ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ในหน่วยสัมพัทธ์ของ
ชุดดินท้ายาง/ลาดหญ้า ที่ประเมินจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่า
และไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

No. of stems	Date	R-fac (m-ton/ha)	LS-fac	Soil loss (ton/ha)		K-factor ^{1/}		Average K-factor
				plot 13	plot 14	plot 13	plot 14	
1	30/4/92	38.39	2.622	0.7557	0.8556	0.0075	0.0085	0.0080
2	14/5/92	2.43	2.622	0.0379	0.0435	0.0059	0.0068	0.0064
3	16/6/92	2.00	2.622	0.0254	0.0270	0.0048	0.0051	0.0050
4	30/6/92	1.20	2.622	0.0188	0.0175	0.0060	0.0056	0.0058
5	11/7/92	2.00	2.622	0.0275	0.0228	0.0052	0.0044	0.0048
6	13/7/92	0.83	2.622	0.0047	0.0076	0.0021	0.0035	0.0028
7	14/7/92	6.63	2.622	0.0680	0.0460	0.0039	0.0026	0.0033
8	15/7/92	2.10	2.622	0.0254	0.0349	0.0046	0.0063	0.0055
9	23/7/92	1.82	2.622	0.0072	0.0048	0.0015	0.0010	0.0013
10	24/7/92	3.90	2.622	0.3044	0.5040	0.0298	0.0493	0.0395
11	25/7/92	2.10	2.622	0.0197	0.0198	0.0036	0.0036	0.0036
12	26/7/92	13.25	2.622	0.2030	0.2762	0.0058	0.0080	0.0069
13	28/7/92	6.66	2.622	0.1603	0.1603	0.0092	0.0092	0.0092
14	28/7/92	6.98	2.622	0.0504	0.0735	0.0028	0.0040	0.0034
15	30/7/92	2.77	2.622	0.0782	0.0648	0.0108	0.0089	0.0098
16	31/7/92	170.41	2.622	2.4507	1.6883	0.0055	0.0038	0.0046
17	4/8/92	13.13	2.622	0.0290	0.0794	0.0008	0.0023	0.0016
18	5/8/92	16.96	2.622	0.1196	0.1556	0.0027	0.0035	0.0031
19	6/8/92	14.71	2.622	0.2874	0.6585	0.0075	0.0171	0.0123
20	15/8/92	4.62	2.622	0.0854	0.0957	0.0071	0.0079	0.0075
21	18/8/92	5.85	2.622	0.0106	0.0113	0.0007	0.0007	0.0007
22	29/8/92	10.74	2.622	0.0275	0.0211	0.0010	0.0007	0.0009
23	31/8/92	200.08	2.622	3.2461	2.7549	0.0062	0.0053	0.0057
24	14/9/92	7.51	2.622	0.0167	0.0313	0.0008	0.0016	0.0012
25	15/9/92	12.55	2.622	0.0337	0.0394	0.0010	0.0012	0.0011
26	16/9/92	4.31	2.622	0.0317	0.0558	0.0028	0.0049	0.0039
27	17/9/92	26.50	2.622	0.4882	0.4942	0.0070	0.0071	0.0071
28	20/9/92	7.70	2.622	0.0558	0.0665	0.0028	0.0033	0.0030
29	22/9/92	19.34	2.622	1.0298	0.5022	0.0203	0.0099	0.0151
30	23/9/92	40.08	2.622	1.5263	1.2163	0.0145	0.0116	0.0131
31	29/9/92	6.52	2.622	0.2557	0.3094	0.0150	0.0181	0.0165
32	30/9/92	58.00	2.622	1.2172	1.4629	0.0080	0.0096	0.0088
33	1/10/92	3.08	2.622	0.2557	0.9857	0.0317	0.1221	0.0769
34	2/10/92	3.62	2.622	0.0217	0.0273	0.0023	0.0029	0.0026
35	6/10/92	3.03	2.622	0.1654	0.1962	0.0208	0.0247	0.0228
36	9/10/92	13.59	2.622	0.8580	0.6366	0.0241	0.0179	0.0210
Total	-	735.39	-	13.998	13.647	0.286	0.403	0.345
Average	-	-	2.622	-	-	0.008	0.011	0.010

Remarks : 1/ = K-factor from up and down hill continuous fallow on bare soil plots

$$\text{K-factor} = \frac{\text{Soil loss}}{(\text{R-fac})(\text{LS-fac})}$$

$$\text{R-factor} = \text{EI}_{30}$$

ประการที่สอง พื้นที่ที่ศึกษานี้เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่ดั้งเดิมถูกแผ้วถางป่าทางเกษตร แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นไร่ร้างมานาน ซึ่งเดิมนั้นการสูญเสียดินจัดอยู่ในระดับรุนแรง (Severe) การสูญเสียดินจึงเกิดค่อนข้างสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2524; วารินทร์ จิระสุทวิกุล, 2526) จะเห็นว่าปัจจุบันพื้นที่เหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการพังทลายจนผิวหน้าดินถูกชะล้างไปหมดแล้ว คงเหลือแต่ดินชั้นล่างซึ่งแน่นกว่าและมีปริมาณกรวดประปรายอยู่มาก (วิทยุสรี ประมอญี, 2526 ; เกษม จันทรแก้ว และคณะ, 2517) ประกอบกับลักษณะดินเป็นหน่วยสัมพันธ์ของชุดดินเทาบาง/ลาดหญ้า ที่มีเนื้อดินบนเป็นดินปนกรวด และปริมาณกรวดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งกรวดเหล่านี้เกิดจากการสลายตัวของหินต้นกำเนิดและจะพบตลอดทุกชั้นดิน จากอิทธิพลของปริมาณกรวดนี้จะส่งผลให้ดินมีอัตราการซึมน้ำมาก อัตราการไหลบ่าหน้าดินน้อย โดยสามารถพิจารณาได้จากการไหลบ่าหน้าดินในแปลงทดลองที่ 13, 14 ในระหว่างการศึกษา มีปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเพียง 86.14, 88.25 มม. ในขณะที่มีปริมาณฝน 822 มม. คิดเป็นเพียง 10.48 และ 10.73 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝนเท่านั้น (ตารางที่ 11.) ด้วยเหตุนี้จึงก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายปริมาณตะกอนน้อยไปด้วย ซึ่งการชะล้างพังทลายของดินไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดนั้นมิได้สาเหตุมาจากความรุนแรงของฝนที่ตกกระทบ และจากแรงน้ำไหลบ่าหน้าดิน อันเกิดจากที่ดินไม่สามารถรับการซึมของน้ำได้หมด (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) ซึ่งผลสืบเนื่องดังกล่าวทำให้ K-factor จากแปลงทดลองมีค่าน้อย สอดคล้องกับ สมเจตน์ จันทวัฒน์ (2522) ได้กล่าวว่า ดินที่มีปริมาณกรวดมากย่อมมีค่า K-factor น้อยกว่า 0.1

อีกประการหนึ่ง การสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลอง โดยแท้จริงเกิดจากอิทธิพลของค่า R หรือ EI_{30} รวมกับพลังน้ำไหลบ่าหน้าดิน แต่ K-factor ที่คำนวณได้จากสมการการสูญเสียดินสากลดั้งเดิมใช้เฉพาะค่า R หรือ EI_{30} เท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงพลังน้ำไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญ เพราะน้ำไหลบ่าหน้าดินมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนเป็นอย่างมาก (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527)

นอกจากนี้ K-factor ที่ได้จากแปลงทดลองนี้เกิดจากฝนที่ตกจำนวนหลายครั้ง ซึ่งย่อมจะต้องมีผลของความชื้นในดินและพลังของฝนที่ผ่านมาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยมิใช่สมบัติของดินตัวเดียวโดดๆ (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527 ; Dangler and El-Swaify, 1976) เช่น

เดียวกับ Wooldridge (1964) ได้กล่าวว่า ความคงทนของดินนอกจากจะขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของดินเองแล้ว ยังขึ้นกับปริมาณน้ำในดินและกิจกรรมต่าง ๆ ในการก่อกำเนิดดิน ดังนั้นความสามารถในการซับซึมน้ำของดินจึงขึ้นกับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินก่อนฝนตก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการทิ้งช่วงของฝนบางสัปดาห์มีอิทธิพลต่อการเกิดปริมาณตะกอนในแปลงทดลอง ต่างไปจากการประเมินจากแผนภาพโรมกราฟ ที่ได้จากสมบัติของดินที่วิเคราะห์เชิงกลเป็นส่วนใหญ่

อย่างไรก็ตามผลการทดลองประเมินค่า K-factor ที่แตกต่างกันครั้งนี้ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Jantawat (1977) , Osborn *et al* (1977) , Evans and Kalkanis (1977) ดวงตา ไร่เจริญรัตน์ (2528) เรือง จันทรมหเสถียร (2529) และยังรวมทั้งงานศึกษาชุดดินต่าง ๆ ของประเทศไทย จากงานวิจัยของ วาสูเทพ กาญจนกุล และคณะ (2530) วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์ และคณะ (2526) สารัญ สมบัติพานิช และคณะ (2526) ที่ให้ผลของค่า K-factor ในชุดดินต่าง ๆ จากการตรวจวัดจริงในภาคสนาม น้อยกว่าที่ได้จากการแผนภาพ และสะท้อนให้เห็นความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นโดยการเลือกใช้ K-factor จากแผนภาพโรมกราฟ ในการประเมินการสูญเสียดินใน USLE ได้

5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง (Silt) และเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก (silt+ very fine sand)

เมื่อศึกษาถึงสมบัติของดินจากตารางที่ 12. จะเห็นได้ว่าการศึกษาหน่วยสัมพันธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า (Tha Yang/Lat Ya Series Association, Ty/Ly) จำนวน 32 ตัวอย่าง มีเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง (silt) อยู่ระหว่าง 31.7-43.3 และ เปอร์เซ็นต์ทรายละเอียด (very fine sand) อยู่ระหว่าง 15.4-23.0 เปอร์เซ็นต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก (silt+ very fine sand) อยู่ระหว่าง 47.1-60.7 เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง กับ เปอร์เซ็นต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง จะได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบการดังนี้

ตารางที่ 11. เบอร์เจนต์ปริมาณน้ำไหลป่าหุลป่าหัดิน เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝนที่ทางที่เกิดการชะล้างพังทลาย

Plot no.	Landuse	1990 (mm)			1991 (mm)			1992 (mm)		
		Rainfall	Runoff	%	Rainfall	Runoff	%	Rainfall	Runoff	%
1	Mix deciduous forest	916.50	-	-	968.00	128.32	13.26	822.10	154.26	18.76
2	Mix deciduous forest		-	-		93.55	9.66		86.35	10.50
	Average		-	-		110.94	11.46		120.31	14.63
3	Swidden area		136.59	14.90		28.69	2.96		9.60	1.17
4	Swidden area		134.17	14.64		31.84	3.29		14.32	1.74
	Average		135.38	14.77		30.27	3.13		11.96	1.45
5	Soybean		129.60	14.14		71.04	7.34		55.56	6.76
6	Soybean		116.96	12.76		71.24	7.36		80.71	9.82
	Average		123.28	13.45		71.14	7.35		68.14	8.29
7	Upland rice		101.78	11.11		110.15	11.38		58.82	7.15
8	Upland rice		116.74	12.74		101.46	10.48		69.55	8.46
	Average		109.26	11.92		105.81	10.93		64.19	7.81
9	Corn		125.86	13.73		52.49	5.42		53.50	6.51
10	Corn		67.53	7.37		56.84	5.87		48.44	5.89
	Average		96.70	10.55		54.67	5.65		50.97	6.20
11	Teak 3 year		106.17	11.58		81.91	8.46		15.97	1.94
12	Teak 3 year		85.05	9.28		78.77	8.14		54.65	6.65
	Average		95.61	10.43		80.34	8.30		35.31	4.30
13	Bare soil		-	-		-	-		86.14	10.48
14	Bare soil		-	-		-	-		88.25	10.73
	Average		-	-		-	-		87.20	10.61
	Total		112.05	12.23		75.53	7.80		62.58	7.61

ตารางที่ 12. ปริมาณเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง เปอร์เซ็นต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก
ในดินหน่วยสัมพันธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า

No.	Silt (X)	V_s	Silt + V_s (Y)	Texture
1	41.7	17.5	59.2	Clay Loam
2	37.9	16.6	54.5	Clay Loam
3	31.7	15.4	47.1	Loam
4	43.3	16.4	59.7	Clay Loam
5	37.0	17.1	54.1	Clay Loam
6	33.5	21.5	55.0	Clay Loam
7	36.2	23.0	59.2	Loam
8	37.4	21.4	58.8	Loam
9	36.4	18.2	54.6	Loam
10	37.6	18.7	56.3	Loam
11	37.5	18.5	56.0	Loam
12	37.4	19.6	57.0	Loam
13	37.3	20.3	57.6	Loam
14	40.0	20.0	60.0	Loam
15	37.9	21.9	59.8	Loam
16	37.9	21.1	59.0	Loam
17	35.5	23.1	58.4	Loam
18	41.8	18.8	60.6	Loam
19	37.9	19.5	57.4	Loam
20	33.6	19.3	52.9	Loam
21	34.9	20.3	55.2	Loam
22	36.4	17.5	53.9	Loam
23	39.2	21.5	60.7	Loam
24	35.7	19.9	55.6	Loam
25	36.1	20.6	56.7	Loam
26	33.0	20.8	53.8	Loam
27	36.8	20.8	57.6	Loam
28	34.9	20.1	55.0	Loam
29	37.8	17.3	55.1	Loam
30	37.5	20.3	57.8	Loam
31	34.2	18.9	53.1	Loam
32	36.1	20.3	56.4	Loam

$$Y = 24.5510 + 0.8651X$$

โดยที่ $Y = \% \text{ Silt} + \text{Very fine sand}$

$X = \% \text{ Silt}$

และมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient value ,r) เท่ากับ 0.7597 (ภาคผนวกที่ 12 ข.) และคุณสมบัติดินทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

5.3 ปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor, C)

ผลการทดลองนี้ได้นำมาใช้ในการทดลองตามแบบคานิยามของ Schulz (1981) โดยใช้แปลงทดลองทั้ง 14 แปลง เป็นแปลงศึกษา C-factor ที่ได้เป็นผลจากการประเมินโดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล เป็นรายสตอร์มที่มีฝนตกจำนวน 36 สตอร์ม (ภาคผนวก 13 ข.) ผลการทดลองในปี พ.ศ. 2535 ปรากฏว่า C-factor ของป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด สวนสักอายุ 3 ปี มีค่า 0.328-0.847, 0.030-0.031, 0.310-0.572, 0.442-0.549, 0.374-0.365, 0.125-0.215 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย 0.587, 0.031, 0.447, 0.495, 0.367 และ 0.170 ตามลำดับ (ตารางที่ 14.)

เมื่อพิจารณา C-factor ของพืชพรรณแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันไปตามประสิทธิภาพของการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน โดยเฉพาะพืชพรรณที่สามารถสกัดกั้นพลังของฝนไว้ได้เกือบทั้งหมด ย่อมจะควบคุมการชะล้างพังทลายของดินให้เกิดน้อยที่สุด (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) ซึ่งเมื่อพิจารณาการสูญเสียดินแล้ว จะเห็นได้ว่า ไร่ร้างมีการสูญเสียดินและการไหลบ่าของน้ำดินน้อย เพราะฉะนั้น เมื่อทำการประเมิน C-factor จึงส่งผลให้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับพืชพรรณอื่น ๆ คือ มีค่าเฉลี่ย 0.031 เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมีสาเหตุมาจาก ความหนาแน่นของวัชพืชและเศษซากพืชที่ปกคลุมดินในแปลงทดลอง ประมาณ 90-100 เปอร์เซ็นต์ ตลอดทั้งปี ซึ่งจะลดแรงปะทะจากเม็ดฝน และหน่วงเหนี่ยวให้น้ำไหลบ่าหน้าดินให้ช้าลง (Wooldridge, 1964) และเมื่อเปรียบเทียบค่า C-factor จากที่

ประเมินได้จากการทดลองครั้งนี้ กับค่าที่ประเมินจากตาราง C-factor ใช้สำหรับทุ่งปศุสัตว์ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และพื้นที่รกร้างว่างเปล่าซึ่งมีวัสดุคลุมดินกระจายหนาสมควร (ภาคผนวกที่ 9 ก.) ของ Wischmeier (1975) ซึ่งมีค่า C-factor เท่ากับ 0.040-0.011 จะให้ค่าใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างไปจาก ของ Tangtham (1983) ที่ประเมินได้ 0.004 สำหรับไร่ร้าง (ตารางที่ 13. ภาพที่ 10.) อาจเนื่องมาจากความแตกต่างเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของวัชพืชนั้นเอง ฉะนั้นจากการศึกษานี้ สามารถชี้ให้เห็นแนวระบในการเลือกเอาวิธีการประเมินของ Wischmeier (1975) ซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอด เปอร์เซ็นต์การปกคลุมผิวดินของพืชหน้าดิน ชนิดและความสูงของพืชพรรณ ชนิดผิวดิน มาปรับใช้ในพื้นที่ไร่ร้างได้

และเมื่อพิจารณา C-factor ของป่าเบญจพรรณ ที่มีค่าเฉลี่ย 0.587 จะเห็นได้ว่ามีค่าสูงกว่าพืชพรรณชนิดอื่น ๆ รวมทั้งยังสูงกว่า C-factor จากการศึกษาคณะวนศาสตร์ (2524) และ นิพนธ์ ตั้งธรรม (2527) ซึ่งมีค่า 0.064 และ 0.003 ตามลำดับ อาจเป็นไปได้ว่า การเลือกพื้นที่สร้างแปลงทดลองนี้ไว้ชั่วคราวที่ดี เนื่องจากป่าเบญจพรรณในบริเวณนี้เป็นป่าโปร่ง ต้นไม้มีขนาดเล็ก และขึ้นห่างกันมาก มีการลักลอบตัดไม้ในอดีต ประกอบกับยังเคยได้รับอิทธิพลของไฟป่าที่ไหม้ประจำทุก ๆ ปีมาก่อนที่จะดำเนินการศึกษา (วารินทร์ จิระสุทวารีกุล, 2526) แต่ในการศึกษานี้การที่จะหาพื้นที่เป็นตัวแทนป่าที่ดินนั้นมีอุปสรรคในการสร้างแปลงทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับแปลงทดลองการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดอื่น ๆ

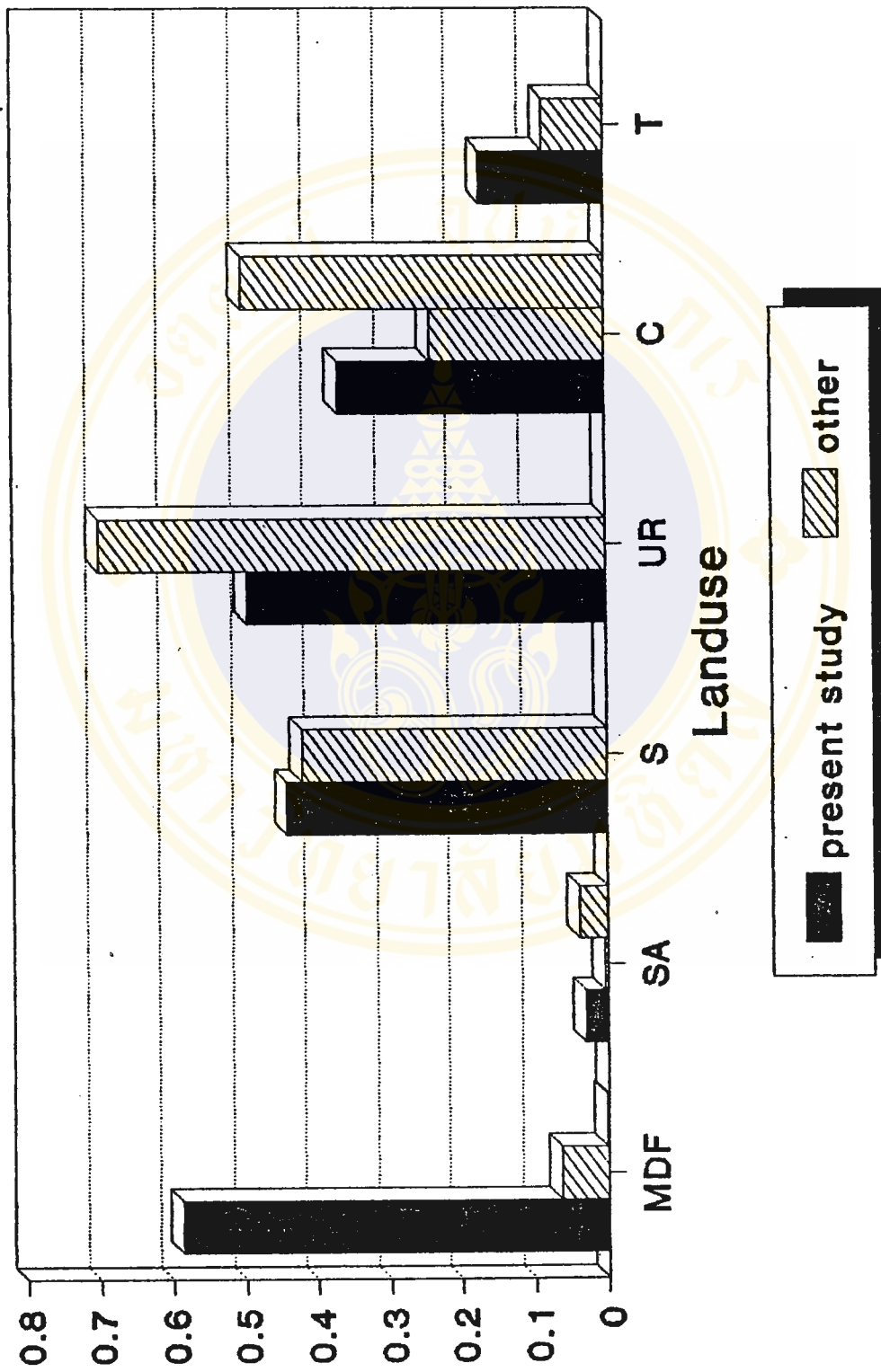
ในทางอ้อมเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบ C-factor ของข้าวโพด ที่มีค่า 0.441 กับงานวิจัยในท้องที่ต่าง ๆ จะพบว่ามีความแตกต่างจากค่าของ Watanasak (1978) ที่ศึกษาใน จ. ระยอง มีค่า 0.240 และ Singh et al (1981) ที่ให้ค่า 0.423 (ตารางที่ 13. ภาพที่ 10.) แสดงให้เห็นว่า C-factor ของพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างท้องถื่นอาจแตกต่างกันไป ทั้งนี้เป็นเพราะการตกของฝนที่มีความหนักเบาแตกต่างกัน การกำหนดค่า C-factor ของพืชชนิดใดชนิดหนึ่งในแต่ละท้องที่ จะต้องพิจารณาการตกและการกระจายของฝน ประสิทธิภาพของพืชชนิดนั้น ตลอดจนถึงเศษซากเน่าเปื่อยผุพังที่คลุมดินอยู่

ตารางที่ 13. การเปรียบเทียบค่าปัจจัยการจัดการพืช ที่ประเมินได้จากการศึกษาภาคสนามกับงานวิจัยอื่น ๆ

Plot no.	Landuse	C-factor ^{1/}	Average	C-factor ^{2/}	
				C-factor	Reference
1	Mix deciduous forest	0.847	0.587	0.064	Faculty of forest (1981)
2	Mix deciduous forest	0.328		0.003	Tangtham (1983)
3	Swidden area	0.030	0.031	0.040	Wischmeier (1975)
4	Swidden area	0.031		0.004	Tangtham (1983)
5	Soybean	0.310	0.441	0.420	Singh <i>et al</i> (1981)
6	Soybean	0.572			
7	Upland rice	0.442	0.495	0.700	Singh <i>et al</i> (1981)
8	Upland rice	0.549			
9	Corn	0.374	0.369	0.240	Watanasak (1978)
10	Corn	0.365		0.502	Singh <i>et al</i> (1981)
11	Teak 3 year	0.125	0.17	0.083	Wischmeier (1975)
12	Teak 3 year	0.215			

Remarks : C-factor^{1/} = C-factor from runoff plots with vegetative cover

C-factor^{2/} = C-factor from other research



ภาพที่ 10. กราฟเปรียบเทียบค่าปัจจัยการจัดการพืช ที่ได้จากการศึกษาทำงานวิจัยอื่น ๆ

รวมทั้งลักษณะการปฏิบัติงานการปลูกพืช (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) ซึ่งงานที่นี้เป็นไปได้ว่า ระบบการปลูกพืช และการจัดการแตกต่างกันไปตามสภาพท้องที่ อีกทั้งยังไม่ได้นำเอาอิทธิพลของช่วงเวลาของฝนมาขึ้นประเมินในการศึกษานี้ด้วย

จากการศึกษาี้ พออาจกล่าวได้ว่า ค่า C-factor ของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพืช แม้พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างท้องถิ่นและต่างเวลาก็อาจจะแตกต่างกันไป หรืออาจจะมีพื้นที่การใช้ประโยชน์บางชนิด เช่น สวนป่าปลูกสักในระยะแรก ไร่ร้าง มีแนวร่วมที่จะประยุกต์ใช้ค่า C-factor ของ Wischmeier (1975) ที่ใช้สำหรับ พืชคลุมดิน พืชหญ้าเลี้ยงสัตว์ และพื้นที่รกร้างว่างเปล่าซึ่งมีวัสดุคลุมดินกระจัดกระจายหนาสมควร โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของชนิดพืชพรรณและลักษณะการปกคลุมผิวดิน ซึ่งก็ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

5.4 การสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลอง

5.4.1 การสูญเสียดิน

ตลอดช่วงของการเก็บข้อมูลปริมาณตะกอนในแปลงทดลองต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 ถึง ปี พ.ศ. 2535 เพื่อศึกษาการสูญเสียดินภายใต้สภาพพืชพรรณต่างชนิด ได้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของแปลงทดลองพืชพรรณแต่ละชนิดโดยใช้ Analysis of variance และ วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างแปลงชนิดพืชพรรณโดยวิธี Duncan's multiple - range test ได้ผลการศึกษาดังนี้

จากผลการศึกษาในปี พ.ศ. 2533 (ภาคผนวก 14 ข.) บริเวณแปลงทดลองทั้ง 10 แปลง คือ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด ป่าปลูกสักอายุ 1 ปี พบว่า ค่าเฉลี่ยการสูญเสียดินจากแปลงทดลองปลูกข้าวไร่ มากที่สุด คือ 5.784 ตัน/เฮกตาร์/ปี รองลงมา คือ ข้าวโพด ไร่ร้าง ป่าปลูกสักอายุ 1 ปี และ ถั่วเหลือง เท่ากับ 4.928, 4.630, 3.109 และ 2.845 ตัน/เฮกตาร์/ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 14. ภาพที่ 11.)

และเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียดินของแปลงทดลองพืชทั้ง 5 ชนิด ในปีเดียวกัน พบว่า ในระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และ 99 เปอร์เซนต์ ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกันระหว่างชนิดพืชพรรณ พบว่า ในระดับความ เชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวกที่ 15 ข.) โดย การสูญเสียดินในแปลงทดลองข้าวไร่ แตกต่างจาก สวนป่าสักอายุ 1 ปี ถั่วเหลือง แต่ ไม่แตกต่างกับข้าวโพด ไร่ร้าง

เมื่อพิจารณาผลการศึกษานปี พ.ศ. 2534 (ภาคผนวกที่ 16 ข.) ในแปลง ทดลองเดิม และเพิ่มแปลงทดลองป่าเบญจพรรณขึ้น พบว่า ค่าเฉลี่ยการสูญเสียดินจากแปลง ทดลองปลูกข้าวไร่มากที่สุดเช่นเดียวกับปี พ.ศ. 2533 คือ 5.444 ตัน/เฮกเตอร์/ปี รองลงมา ได้แก่ ถั่วเหลือง ป่าปลูกสักอายุ 2 ปี ป่าเบญจพรรณ ข้าวโพด ไร่ร้าง ซึ่งมีค่าการสูญเสียดิน เท่ากับ 4.162, 3.982, 3.892 1.994 และ 0.392 ตัน/ เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 14. ภาพที่ 11.)

และเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียดินของแปลงทดลองพืชทั้ง 5 ชนิด ในปีเดียวกัน พบว่า ในระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และ 99 เปอร์เซนต์ มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกันระหว่างชนิดพืชพรรณ พบว่า ในระดับ ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และ 99 เปอร์เซนต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่ง (ภาคผนวกที่ 17 ข.) โดยการสูญเสียดินของข้าวไร่ แตกต่างไปจากแปลงอื่น ๆ สำหรับ ถั่วเหลือง ป่าปลูกสักอายุ 2 ปี และป่าเบญจพรรณนั้นไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างไปจาก ข้าวโพด และ ไร่ร้าง

สำหรับผลการศึกษานปี พ.ศ. 2535 (ภาคผนวกที่ 18 ข.) ในแปลงทดลอง เดียวกันกับปี พ.ศ. 2533 และ ปี พ.ศ 2534 จำนวน 12 แปลง และเพิ่ม แปลงทดลองปล่อยดินทิ้งว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา พบว่า ค่าเฉลี่ยการสูญเสียดิน จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา มากที่สุด คือ 13.823 ตัน/เฮกเตอร์/ปี รองลงมา คือ ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ป่าเบญจพรรณ ข้าวโพด ป่าปลูกสัก

อายุ 3 ปี และไร่ร้าง ซึ่งมีค่าการสูญเสียดิน เท่ากับ 2.697, 2.633, 1.996 1.398, 0.742 และ 0.117 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 14. ภาพที่ 11.)

และเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียดินจากแปลงทดลองพืชทั้ง 5 ชนิด ในปีเดียวกัน พบว่า ในระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และ 99 เปอร์เซนต์ มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชนิดพืชพรรณ พบว่า ในระดับความ เชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และ 99 เปอร์เซนต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งอีก เช่นกัน (ภาคผนวกที่ 19 ข.) และเมื่อแบ่งความแตกต่างจะเห็นว่า แปลงโคพรวนปล่อยดิน ทิ้งไว้ว่างเปล่าจะแตกต่างไปจากแปลงอื่น ๆ สำหรับถั่วเหลืองกับข้าวไร่ ไม่แตกต่างกัน แต่ แตกต่างไปจากป่าเบญจพรรณ ข้าวโพด สวนป่าสักอายุ 3 ปี ไร่ร้าง ในขณะที่ป่า เบญจพรรณ กับข้าวโพดไม่มีความแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาการสูญเสียดินจากแปลงทดลองทั้งหมด ในช่วงปี พ.ศ. 2533-2535 กล่าวได้ว่า การสูญเสียดินในบริเวณลุ่มน้ำนี้จัดอยู่ในระดับน้อยมาก (very slight) ตาม การแบ่งระดับการพังทลายของดินของกรมพัฒนาที่ดิน (ภาคผนวกที่ 20 ข.) และจัดว่าอยู่ ในระดับการสูญเสียดินที่ยอมรับได้ (soil loss tolerance) ที่กำหนดขึ้นในประเทศสหรัฐ อเมริกา ซึ่งการกำหนดการยอมให้เกิดการสูญเสียดินโดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตของพืชหรือ คงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและให้ผลผลิตในระยะยาวได้ในประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนด อยู่ในเกณฑ์ 2-5 ตัน/เอเคอร์/ปี หรือ 0.8-2.0 ตัน/ไร่/ปี หรือ 5-12.5 ตัน/เฮกแตร์/ปี แต่ มนุ ศรีจอร์ (2529) รายงานว่ามีนักวิชาการหลายท่านในประเทศไทย ได้กำหนดไว้ไม่ควรเกินกว่า 31.25 ตัน/เฮกแตร์/ปี

การที่บริเวณลุ่มน้ำนี้มีการสูญเสียดินในระดับน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องมาจาก พื้นที่ดั้งเดิม ของบริเวณนี้ถูกแผ้วถางทำการเกษตรกรรม และถูกปล่อยทิ้งเป็นไร่ร้างมานาน ฉะนั้น หน้าดินในส่วนที่ง่ายต่อการพังทลายถูกชะล้างออกไปแล้ว ดินที่เหลืออยู่ภายหลังจะมีความคงทน มาก (นิพนธ์ ตั้งธรรม และคณะ , 2515) เช่นเดียวกับ าพูลย์ ประมจณี (2526) ที่บรรยายว่า ไร่ร้างจะมีการสูญเสียดินไม่มากนัก เนื่องจากผิวดินบนได้ถูกชะล้างไปแล้วเป็น

ส่วนมาก ดินล่างซึ่งแน่นกว่ามีความทนทานต่อการชะล้างพังทลายมากกว่าก็โผล่ขึ้นมา จึงทำให้อัตราการชะล้างพังทลายก็จะน้อยลงไปด้วย

จากการพิจารณาการสูญเสียดินตามสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน ภายใต้อสภาพแวดล้อมเดียวกัน ในปี พ.ศ. 2533 จะเห็นได้ว่าการสูญเสียดินขึ้นอยู่กับอิทธิพลของพืชพรรณ พืชที่มีลักษณะใบพืชเล็ก ไม่ปกคลุมดิน เช่น ข้าวไร่ ข้าวพุด หรือพื้นที่ปราศจากสิ่งปกคลุมดิน เช่น ไร่ร้างที่มีการถางวัชพืชและพืชพรรณออกก่อน ในปีทำการสร้างแปลงทดลอง ทำให้ปราศจากสิ่งปกคลุมดินในระยะแรก ๆ จะมีระดับการสูญเสียดินมากกว่าพืชพรรณอื่น ๆ โดยเฉพาะข้าวไร่ ที่มีแนวโน้มการสูญเสียดินสูงกว่า ตลอดช่วงการศึกษา 3 ปี ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะลาดชัน และใบ ราก มีเปอร์เซ็นต์การปกคลุมดินน้อย เมื่อฝนตกลงมาเม็ดฝนส่วนใหญ่มีโอกาสดตกกระทบผิวดินโดยตรง จึงเกิดการกระจายของเม็ดดินได้ง่าย

สำหรับในปี พ.ศ. 2534, 2535 ในพื้นที่ไร่ร้างถูกปล่อยให้มีการเจริญเติบโตของหญ้าคาและวัชพืชขึ้นทดแทน และได้มีการกำจัดตอเช่นแปลงทดลองอื่น ๆ ประกอบกับการทากันน้ำไฟ ทำให้แปลงทดลองไร่ร้างมีวัชพืช หญ้าคา ไม้พุ่มขนาดเล็กขึ้นปกคลุมหนาแน่น และมีระบบรากประสานอยู่ในดินชั้นบนกันอย่างหนาแน่น จึงทำให้มีความสามารถยึดเหนี่ยวดินได้ดี ประสิทธิภาพในการลดการชะล้างพังทลายของดินจึงมีอย่างสูง (สนิท อักษรแก้ว และคณะ, 2520) สอดคล้องกับ นิพนธ์ ตั้งธรรม และคณะ (2515) ที่พบว่า ภายหลังจากการทำลายป่าดิบเขา แล้วปล่อยให้มีการทดแทนของสังคมพืช พร้อมกับการป้องกันไฟป่า ช่วงแรกของการทดแทนจะมีวัชพืชจากพวกหญ้าคา สาบเสือ และพวกวัชพืช สามารถช่วยยึดดินได้ดี จากอิทธิพลนี้ยังผลให้การสูญเสียดินของไร่ร้าง ลดน้อยลงจาก 3.109 ตัน/เฮกตาร์/ปี ในปีแรก เป็น 0.396 ตัน/เฮกตาร์/ปี ในปีที่สอง และ 0.117 ตัน/เฮกตาร์/ปี ในปีที่สาม ซึ่งลดการสูญเสียดินให้เหลือน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาแปลงป่าเบญจพรรณ จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ ไม่แตกต่างจากถั่วเหลือง และสวนป่าไม้สักอายุ 2 ปี ในปี พ.ศ. 2534 และไม่แตกต่าง

จากข้าวโพด ในปี พ.ศ. 2535 อีกทั้งมีการสูญเสียดินมากกว่าไร่ร้าง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ลักษณะป่าเบญจพรรณบริเวณนี้ เป็นป่าที่ผ่านการทำไม้มาก่อน ดินไม้ไผ่และกระแสรนไม่สมบูรณ์ จากอิทธิพลของไฟป่าที่เผาไหม้ทุก ๆ ปี ก่อนทำการศึกษา ซึ่งการเผาไหม้ของไฟป่ามีผลทำให้การสูญเสียดินและน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าไหม้ต่อเนื่องกันทุกปี (เกษม จันทรแก้ว, 2519) ประกอบกับมีการถางวัชพืชออกเพื่อทำแนวกันไฟในขณะที่ศึกษา ทำให้ปราศจากพืชคลุมดินในพื้นที่ล่าง อีกประการหนึ่ง ป่าเบญจพรรณนี้ไม่มีสัณฐานอยู่ด้วยการพังทลายของดินมาจากอิทธิพลของน้ำพืชหยดที่ค้างมาจากใบพืช โดยเฉพาะใบสักที่ทากให้มีขนาดน้ำพืชหยดใหญ่ และปริมาณมาก ยังผลให้เกิดพลังงานจลน์มากกว่าเม็ดฝนที่ตกลงมาโดยตรง

จากผลการศึกษาสามารถชี้ให้เห็นว่า ปัจจุบันพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลองในระดับน้อย แม้ว่าจะมีการนำพื้นที่ไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรกรรม แต่จะให้การสูญเสียดินน้อยที่สุดเมื่อมีการปล่อยพื้นที่เป็นไร่ร้างแล้วให้มีการทดแทนตามธรรมชาติ พร้อมทั้งมีมาตรการป้องกันไฟป่า วิธีการนี้จึงเป็นการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำที่น่าจะเป็นประโยชน์ยิ่ง

5.4.2 น้ำไหลป่าหน้าดิน (runoff)

การสูญเสียน้ำในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษารูปของน้ำไหลป่าหน้าดิน (runoff) ปริมาณน้ำไหลป่าหน้าดินเป็นปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่ฝนตกลงมาสู่ดินนั้น มีบางส่วนที่ซึมผ่านลงไปในดินส่วนที่เหลือจะเป็นน้ำไหลป่าหน้าดิน โดยเก็บข้อมูลเป็นรายสัปดาห์ แล้วนำมารวมเป็นรายปี ควบคู่ไปกับการศึกษาการสูญเสียดินในแปลงทดลองเดียวกัน ดังภาคผนวกที่ 21 ข. 22 ข. 23 ข. และจากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 จนถึง พ.ศ. 2535 ให้ผลไปในทางองเดียวกันกับผลของการเกิดการสูญเสียดิน นั่นคือ

ในปีการศึกษาแรก จากแปลงทดลองทั้ง 5 ชนิด ภายได้สภาพแวดล้อมเดียวกัน แต่ต่างชนิดพืชพรรณ พบว่า มีน้ำไหลป่าหน้าดินโดยเฉลี่ย 112.05 มิลลิเมตร/ปี คิดเป็น

12.22 เปอร์เซนต์ของปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดิน โดยแปลงไร่ร้าง มีน้ำไหลบ่าหน้าดินมากที่สุด 135.38 มิลลิเมตร/ปี รองลงมาเป็น ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด และสวนป่าปลูกสักอายุ 1 ปี ซึ่งมีค่า 123.28, 109.26, 96.70 และ 95.61 มิลลิเมตร/ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 14. ภาพที่ 12.)

สำหรับในปีที่สอง ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 75.53 มิลลิเมตร/ปี คิดเป็น 7.80 เปอร์เซนต์ ของปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดิน โดยป่าเบญจพรรณมีการสูญเสียน้ำมากที่สุด 110.94 มิลลิเมตร/ปี รองลงมาเป็น ข้าวไร่ ป่าปลูกสักอายุ 2 ปี ถั่วเหลือง ข้าวโพด และไร่ร้าง มีค่า 105.81, 80.34, 71.14, 54.57, และ 30.27 มิลลิเมตร/ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 14. ภาพที่ 12.)

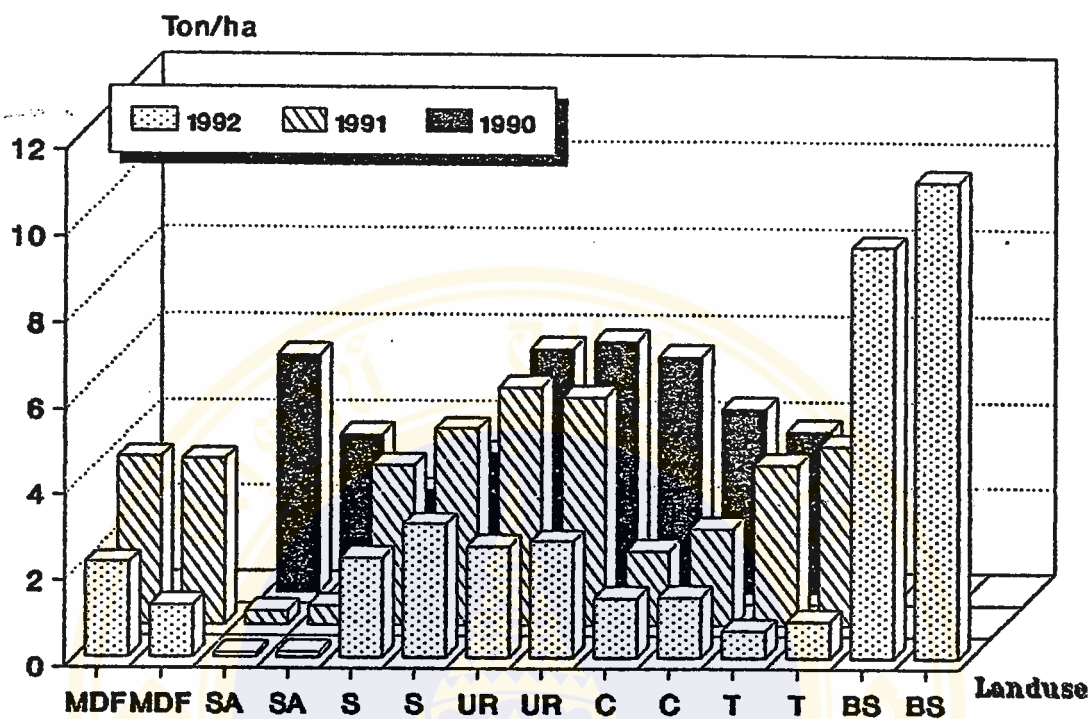
เมื่อพิจารณาผลการศึกษานปีที่สาม พบว่า ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 62.58 มิลลิเมตร/ปี คิดเป็น 7.61 เปอร์เซนต์ ของปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดิน โดยป่าเบญจพรรณ มีค่ามากที่สุด 120.31 มิลลิเมตร/ปี รองลงมา คือ แปลงปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่า และไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด ป่าปลูกสักอายุ 2 ปี และ ไร่ร้าง เท่ากับ 87.20, 68.14, 64.19, 50.97, 35.31 และ 11.96 มิลลิเมตร/ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 14. ภาพที่ 12.)

จากข้อมูลการสูญเสียน้ำในรูปน้ำไหลบ่าหน้าดิน ของทุกแปลงทดลองในพื้นที่ลุ่มน้ำนี้ ของปี พ.ศ 2533 จนถึง ปี พ.ศ 2535 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำอยู่ในช่วง 10.43-14.77 เปอร์เซนต์ของปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดินในปีแรก 3.13-11.46 เปอร์เซนต์ของปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดินในปีสอง และ 1.45-14.63 เปอร์เซนต์ของปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดินในปีสาม (ตารางที่ 11.) ซึ่งอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่การศึกษานี้ มีลักษณะดั้งเดิมเป็นไร่ร้าง จึงมีปริมาณกรวดมากในชั้นหน้าตัดดิน (เกษม จันทรแก้ว และคณะ, 2517) ประกอบลักษณะดินเป็นหน่วยสัมพันธ์ดินชุดท่ายาง/ลาดหญ้า ซึ่งมีการระบายน้ำดี และเนื้อดินบนเป็นดินกรวดจะ

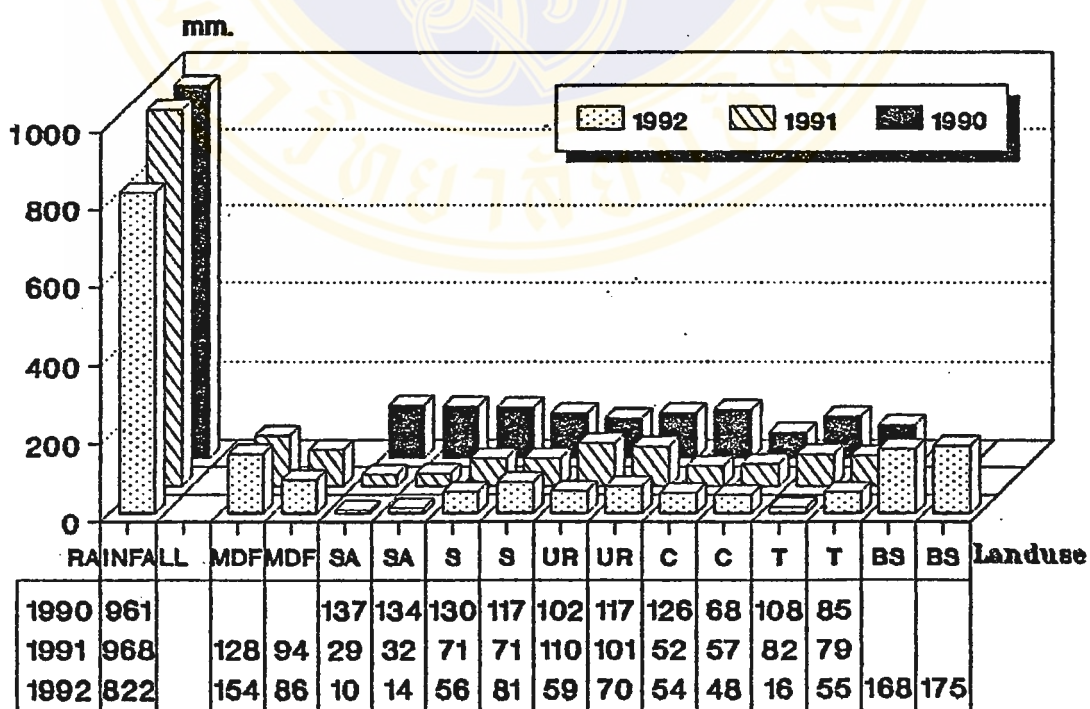
ตารางที่ 14. ค่าเฉลี่ยการสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลองการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ

ปี พ.ศ 2533 - 2535

Landuse	Soil loss (ton/ha/year)			Runoff (mm/year)		
	1990	1991	1992	1990	1991	1992
Mix deciduous forest	-	3.917	2.195	-	128.32	154.26
Mix deciduous forest	-	3.868	1.797	-	93.55	86.35
Average	-	3.893	1.996	-	110.94	120.31
Swidden area	5.561	0.330	0.108	136.59	28.69	9.60
Swidden area	3.699	0.461	0.126	134.17	31.84	14.32
Average	4.630	0.396	0.117	135.38	30.27	11.96
Soybean	2.409	3.733	2.304	129.60	71.04	55.56
Soybean	3.280	4.592	3.090	116.96	71.24	80.71
Average	2.845	4.163	2.697	123.28	71.14	68.14
Upland rice	5.697	5.553	2.573	101.78	110.15	58.82
Upland rice	5.872	5.336	2.692	116.74	101.46	69.55
Average	5.785	5.445	2.633	109.26	105.81	64.19
Corn	5.528	1.733	1.385	125.86	52.49	53.50
Corn	4.327	2.255	1.411	67.53	56.84	48.44
Average	4.928	1.994	1.398	96.70	54.67	50.97
Teak 3 year	3.803	3.756	0.624	106.17	81.91	15.97
Teak 3 year	2.415	4.207	0.859	85.05	78.77	54.65
Average	3.109	3.982	0.742	95.61	80.34	35.31
Bare soil	-	-	13.998	-	-	86.14
Bare soil	-	-	13.647	-	-	88.25
Average	-	-	13.823	-	-	87.20
Total	4.259	3.312	3.058	112.05	75.53	82.58



ภาพที่ 11. กราฟแสดงการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง ในปี พ.ศ. 2533-2535



ภาพที่ 12. กราฟแสดงปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินจากแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2533-2535

ช่วยส่งผลให้ดินมีอัตราการซึมน้ำมาก อัตราการไหลบ่าหน้าดินน้อย (กองสำรวจดิน ,2515; วารินทร์ จิระสุทวิกุล, 2526)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินของแต่ละแปลงทดลองในรูปเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดินของข้อมูลที่ทำการศึกษาจริงในปี พ.ศ. 2533 จนถึง พ.ศ. 2535 เพื่อดูแนวโน้มการสูญเสียดินในช่วง 3 ปี เป็นที่น่าสังเกตว่าในพื้นที่ไร่ร้างมีแนวโน้มลดลงอย่างเด่นชัด คือ ลดลงจาก 14.77 เปอร์เซ็นต์ ในปีแรก เหลือ 3.13 เปอร์เซ็นต์ ในปีที่สอง และ 1.45 เปอร์เซ็นต์ ในปีที่สาม (ตารางที่ 11.) ทั้งนี้เพราะสภาพพืชคลุมแปลงที่เกิดจากวัชพืช ไม้ขนาดเล็ก ขึ้นปกคลุมพื้นที่โดยมิได้ทำการถางออกพร้อมทั้งทำแนวกันไฟ ในปีต่อมารากพืชก่อให้เกิดดินมีความร่วนซุยมาก ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านผิวดินได้ดี อันเป็นปัจจัยทำให้น้ำไหลบ่าหน้าดินลดลง ซึ่งมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับการสูญเสียดิน จึงอาจกล่าวได้ว่าภายหลังจากการเป็นไร่ร้างแล้วปล่อยให้มีการทดแทนตามธรรมชาติและมีการป้องกันไฟในพื้นที่นี้ ใช้เวลาเพียง 1-2 ปี สภาพพืชที่คลุมดินจะมีบทบาทในการลดปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน และการสูญเสียดิน

5.5 การสูญเสียดินจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล

ทำการประเมินการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล (USLE) ทั้งสามปี โดยใช้รูปแบบสมการ $A = RKLSCP$ ซึ่งมีค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ดังนี้

1) ดัชนีการชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor, R) ใช้ค่า R ที่หาได้จากดัชนี EI₃₀ ในปีแรก ปีที่สอง และปีที่สาม คือ 867.5, 946.0 และ 735.4 ตามลำดับ

2) ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility factor, K) ในการศึกษาครั้งนี้ นำค่า K-factor ที่ประเมินได้ทั้งสองวิธีมาใช้ในสมการการสูญเสียดิน คือ ใช้ค่าจากแผนภาพโรโมกราฟ ทั้ง 14 แปลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ

0.37, 0.36, 0.38, 0.33, 0.36, 0.37, 0.42, 0.38, 0.83, 0.32, 0.38, 0.37, 0.35, และ 0.37 ตามลำดับ (ตารางที่ 8.) และ K-factor จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา ซึ่งมีค่า 0.01 (ตารางที่ 10.)

3) ปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท (slope length and Slope gradient factor, LS) ใช้สูตรของ Wischmeier and Smith (1965, 1978) คำนวณ LS-factor จากแปลงทดลอง ยาว 20 เมตร ความลาดชัน 17.5 % มีค่าเท่ากับ 2.6217 (ภาคผนวกที่ 5 ข.)

4) ปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor, C) ทำการประเมิน C-factor จากคานิยามของ Schulz (1981) ได้ค่า C-factor ของป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด สวนสักอายุ 3 ปี เท่ากับ 0.587, 0.031 0.441, 0.495, 0.369 และ 0.170 ตามลำดับ แต่สำหรับ ปีแรก ปีที่สอง C-factor ของป่าเบญจพรรณ ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด สามารถใช้ค่าเดียวกับปีที่สาม เนื่องจากมีลักษณะพืชพรรณเช่นเดียวกัน สำหรับสวนสักอายุหนึ่งและสองปี ใช้หลักการประเมินโดยอาศัยลักษณะพืชพรรณแปลงทดลองของ Wischmeier (1975) สำหรับทุ่งหญ้า และพื้นที่ไร่ร้างว่างเปล่า (ภาคผนวกที่ 9 ก.) เมื่อนำเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอด การปกคลุมผิวหน้าดิน ความสูงของพืชพรรณ และชนิดพืชผิวหน้าดิน ไปหาค่า C-factor จะเห็นว่าสวนสักอายุในแต่ละปี ให้ค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกัน นั่นแสดงให้เห็นว่าสวนสักอายุ 1-3 ปีให้ค่า C-factor ไม่แตกต่างกัน ฉะนั้นการศึกษาค้างนี้ จึงให้ค่าของสวนสักอายุ 1 และ 2 ปี เท่ากับ อายุ 3 ปี (0.170) ในทำนองเดียวกันได้ใช้วิธีการประเมินดังกล่าว ประเมินในพื้นที่ไร่ร้าง ซึ่งได้ทำการถางวัชพืชออกในปีแรก มีการปกคลุมเรือนยอดเฉลี่ยประมาณ 0-25 เปอร์เซ็นต์ ความสูงเฉลี่ย 50-100 เซนติเมตร มีวัชพืชปกคลุมประมาณ 20-60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากภาคผนวกที่ 9 ก. จะให้ค่าเท่ากับ 0.20 และในปีต่อมา ไม่ได้ทำการจัดการถางวัชพืช มีลักษณะคล้ายกันกับ ปี พ.ศ.2535 จึงให้ค่านี้เช่นกัน (0.31)

5) ปัจจัยการปฏิบัติการควบคุมการพังทลายของดิน (conservation

practice factor, P) ในการศึกษาค้างนี้ พื้นที่ที่ทำการศึกษามีการทำการอนุรักษ์ใด ๆ
ฉะนั้น จึงให้ค่า P เท่ากับ 1 (Arnoldus, 1977)

5.5.1 การสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูก ชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรมกราฟ

เมื่อทำการประเมินการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล (USLE) โดยให้
K-factor จากแผนภาพโรมกราฟ (ตารางที่ 15.) การสูญเสียดินมีค่าดังนี้

1) ในปีแรก ป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด
สวนป่าสักอายุ 1 ปี มีค่าเฉลี่ย 487.3, 161.4, 366.1, 450.3, 293.7 และ 145.0
ตัน/เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ (ภาคผนวกที่ 24 ข.)

2) ในปีที่สอง ป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด
สวนป่าสักอายุ 2 ปี มีค่าเฉลี่ย 531.4, 27.4, 399.2, 491.0, 320.3 และ 158.1
ตัน/เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ (ภาคผนวกที่ 25 ข.)

3) ในปีที่สาม ป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด
สวนป่าสักอายุ 3 ปี พื้นที่ปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลง มีค่าเฉลี่ย 413.0,
21.2, 310.3, 381.7, 249.0, 122.9 และ 694.1 ตัน/เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ
(ภาคผนวกที่ 26 ข.)

เมื่อพิจารณาการสูญเสียดินจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากลแล้ว จะพบว่า
การสูญเสียดินมีแนวโน้มสูงในเกือบทุกแปลงทดลอง ยกเว้น ไร่ร้าง และเมื่อมาพบทำการจัด
ระดับขั้นการพังทลายของดิน (ภาคผนวกที่ 20 ข.) การสูญเสียดินจะจัดอยู่ในระดับรุนแรง
การสูญเสียดินมีค่าเกินกว่าระดับการสูญเสียดินที่ยอมรับได้ (soil loss tolerance) ของ
ม.ร.ศ. (2529) นั่นคือ มีค่าเกินกว่า 31.25 ตัน/เฮกเตอร์/ปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการ

ประเมินของ กรมพัฒนาที่ดิน (2524) โดยการใช้ USLE ในพื้นที่ลุ่มน้ำดังกล่าวนี้ ที่พบว่ามีสภาพการพังทลายของดินในระดับรุนแรงเช่นกัน (วารินทร์ จิระสุททวีกุล, 2526)

5.5.2 การสูญเสียดินจากการสมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกระส่ำพังทลายของดินจากแปลงปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

และเมื่อทำการประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล (USLE) ที่ใช้ K-factor จากแปลงทดลอง แทนการใช้ค่า K-factor ที่ได้จากแผนภาพโรโมกราฟ (ตารางที่ 16.) จะได้การสูญเสียดินดังนี้

1) ในปีแรก ป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด
สวนป่าสักอายุ 1 ปี มีค่าเฉลี่ย 13.35, 4.55, 10.03, 11.26, 8.39 และ 3.866
ตัน/เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ (ภาคผนวกที่ 27 ข.)

2) ในปีที่สอง ป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด
สวนป่าสักอายุ 2 ปี มีค่าเฉลี่ย 14.56, 0.77, 10.94, 12.28, 9.15 และ 4.22
ตัน/เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ (ภาคผนวกที่ 28 ข.)

3) ในปีที่สาม ป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด
สวนป่าสักอายุ 3 ปี พื้นที่ปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา มีค่าเฉลี่ย
11.32, 0.59, 8.50, 9.54 , 7.11, 3.28 และ 19.28 ตัน/เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ
(ภาคผนวกที่ 29 ข.)

จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการปรับค่า K-factor ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การสูญเสียดินจะลดน้อยลงจนอยู่ในระดับน้อย (slight) จนถึงน้อยมาก (very slight) ในทุก ๆ แปลงทดลอง และเมื่อนำไปจัดระดับการพังทลายของดิน จะเป็นดินที่ยากต่อการพังทลาย และมีค่าน้อยกว่าระดับการสูญเสียดินที่ยอมรับได้ (soil loss tolerance)

5.7 การเปรียบเทียบการสูญเสียเงินจากการใช้สมการการสูญเสียเงินสากล กับ แปลงทดลอง

เมื่อนำค่าการสูญเสียเงินจากการคำนวณโดย USLE ที่ใช้ K-factor จากแผนภาพนอมกราฟ ไปเปรียบเทียบกับ การสูญเสียเงินจากแปลงทดลองที่เกิดขึ้นจริง จะเห็นได้ว่าในทุก ๆ ปีตลอดช่วงการศึกษา จะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันหมด คือ ปริมาณการสูญเสียเงินจากการคำนวณโดย USLE จะมากกว่าการสูญเสียเงินแปลงทดลองอย่างเด่นชัด โดยมีค่าเป็น 70, 100 และ 140 เท่า ในปีแรก ปีที่สอง และปีที่สาม ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 104 เท่าของการสูญเสียเงินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลอง (ตารางที่ 15.)

เมื่อวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ของการสูญเสียเงินที่เกิดขึ้นจริงในแปลงทดลอง (Y) กับการสูญเสียเงินจากการใช้ USLE (X) พบว่า มีความสัมพันธ์ไปในแนวทางเดียวกันกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.722 และมีรูปแบบสมการ $Y = 0.012 X - 0.206$ (ภาคผนวกที่ 30 ข. ภาพที่ 15.) ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ ดวงตา รัสเจริญรัตน์ (2528) ที่ได้ทำการศึกษากลุ่มน้ำกาแล จ.ระยอง พบว่า ปริมาณการสูญเสียเงินที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ USLE มากกว่าปริมาณการสูญเสียเงินที่เกิดขึ้นจริง และมีความสัมพันธ์ไปในแนวทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.92

อย่างไรก็ดีความแตกต่างระหว่างปริมาณการสูญเสียเงินทั้งสอง จะลดน้อยลงอย่างเด่นชัด เมื่อมีการนำ K-factor ที่ได้จากการประเมินในแปลงทดลอง (0.01) มาใช้แทน K-factor จากแผนภาพนอมกราฟ ซึ่งการสูญเสียเงินจาก USLE ในปีแรก ปีที่สอง และสาม จะมีมากกว่าเพียง 1.60, 2.73 และ 3.83 เท่า ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 2.72 เท่าของการสูญเสียเงินที่เกิดขึ้นจริง (ตารางที่ 16.)

เมื่อวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ของการสูญเสียเงินที่เกิดขึ้นจริงในแปลงทดลอง (Y) กับการสูญเสียเงินจากการใช้ USLE (X) พบว่า มีความสัมพันธ์

ไปในทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.730 และมีรูปแบบสมการ $Y = 0.465 X - 0.275$ (ภาคผนวกที่ 31 ข. ภาพที่ 17.)

เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณการสูญเสียดินที่ได้จากการคำนวณ USLE จะมากกว่าการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลองหลายเท่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ในประการแรก K-factor ที่ใช้ในการคำนวณการสูญเสียดินใน USLE เป็นค่าที่ได้จากแผนภาพโรมกราฟ ซึ่งมีค่าสูงกว่า K-factor ที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริง ๆ ทั้งนี้วิธีที่ได้มาจากแผนภาพโรมกราฟ เป็นการเลือกมาจากผลการทดลองจากต่างประเทศ ซึ่งมีรากฐานการทดลองศึกษาในประเทศอเมริกา แล้วนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ศึกษาที่เป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธารที่ผ่านสภาพการทำลายป่ามาแล้ว แตกต่างไปจากพื้นที่ศึกษาทดลองในการสร้างสมการจึงทำให้การประเมินปัจจัยนี้จากแผนภาพโรมกราฟ น่าเป็นสาเหตุทำให้การสูญเสียดินมากไปจากความเป็นจริงหลายเท่าตัว (104 เท่า) ซึ่งให้เห็นว่าความถูกต้องของการใช้สมการ ขึ้นอยู่กับการเลือกปัจจัยซึ่งต้องมีสภาพทางกายภาพ การจัดการว่าถูกต้องมากน้อยเพียงไร บนดินที่มีการประเมินค่าปัจจัยต่าง ๆ สำหรับบริเวณนั้น (สมเจตน์ จันทวี, 2526) หรือบางครั้งจำเป็นต้องประเมินค่าปัจจัยใหม่สำหรับบางปัจจัย ดัดแปลงหรือปรับค่าใหม่สำหรับปัจจัยบางตัวเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในที่อื่น ๆ โดยเฉพาะในประเทศภูมิภาคเขตร้อน (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) เมื่อพิจารณาว่าเมื่อนำ K-factor ที่ได้จากการทดลองเฉพาะในพื้นที่ศึกษามาปรับใช้ใน USLE ปริมาณการสูญเสียดินจึงมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น นั่นคือการทำให้ 0.01 จากแปลงโอดรอน แทนค่า 0.37 ที่ได้จากแผนภาพโรมกราฟ จะให้ค่าแตกต่างที่น้อยลงในทุก ๆ ปี คือ มีความแตกต่างประมาณ 2.72 เท่า (ตารางที่ 16.) ฉะนั้นการใช้ปัจจัยต่าง ๆ ใน USLE ซึ่งมีการทดลองจากที่อื่นมาใช้ในประเทศไทยจึงพยายามระมัดระวังในการนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม ภายใต้สมมุติฐานที่ยอมรับได้ มนุ ศรีขจร และคณะ (2527) ดังจะเห็นได้จากการศึกษา

ประการที่สอง ในการคำนวณการสูญเสียดินจากการใช้ USLE นั้น ดังเดิมใช้เฉพาะค่า R หรือ EI₃₀ ค่านี้ไม่ได้คำนึงถึงพลังน้ำไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญ เพราะน้ำไหลบ่าหน้าดินมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนเป็นอย่างมาก (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527)

จึงเป็นเหตุให้การสูญเสียดินไม่ถูกต้องกับความเป็นจริง ดังนั้น การประเมินการสูญเสียดิน จึงสมควรที่จะต้องพิจารณาสำรวจของพลังงานทั้งหมด ที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน (erosivity factor, E) จะทำให้การสูญเสียดินถูกต้องแม่นยำไปกว่า การนำค่า R มาใช้เพียงค่าเดียว ดังการศึกษาของ ชาตรี มากนวล (2534) ที่พบว่า อิทธิพลของ น้ำไหลพาหน้าดิน ต่อให้เกิดการสูญเสียดินจากขบวนการชะล้างพังทลายของดินได้มากกว่า อิทธิพลที่เกิดจากพลังชะล้างพังทลายของฝนเพียงอย่างเดียว และเมื่อใช้ปัจจัยทั้งสองร่วมกัน ในการประเมินการสูญเสียดิน จะให้ค่าสัมพันธ์กับการสูญเสียดินดีกว่าเช่นกัน

ประการที่สาม สภาพพื้นที่ศึกษาซึ่งมีความลาดชันประมาณ 17.5 % ซึ่งแตกต่างไป จากพื้นที่ศึกษาทดลองที่เป็นรากฐานที่มาของสมการคือ แปลงทดลองขนาดความลาดชัน 9 % จึง มีผลทำให้การคำนวณค่า R หรือ EI_{30} ที่คำนวณได้อาจผิดไปจากความจริงในกรณีที่มีความลาดชันมากขึ้น เนื่องจากการคำนวณปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน มักคิดเอาว่าเม็ดฝน กระหน่ำบนแนวตั้งฉากกับพื้นที่ราบเสมอ (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) ซึ่งสาเหตุจากความ ลาดชันดังกล่าวสอดคล้องกับข้อจำกัดของการใช้สมการ ที่กล่าวไว้ว่า ความถูกต้องของการ ใช้ USLE เพื่อการคาดคะเนการสูญเสียดินได้ดินในพื้นที่มีเนินปานกลาง บนพื้นที่ที่มีความลาด เทออยู่ระหว่าง 3-18 เปอร์เซ็นต์ มีความยาวของการลาดไม่เกิน 40 ฟุต ตลอดจนมีการ ปลุกพืชและมีการจัดการคล้ายกับแปลงทดลองที่เป็นรากฐานของสมการนี้ (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2526) จากกล่าวนี้ ยังแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความไม่สม่ำเสมอของพื้นที่แปลงทดลองที่ ส่งผลให้การสูญเสียดินจากการคำนวณ USLE แตกต่างไปจากความเป็นจริงเช่นกัน ทั้งนี้ เนื่องมาจากวิวัฒนาการของสมการนี้ หรือโมเดลคณิตศาสตร์การพังทลายของดินที่ผ่านมาใน อดีต สมการที่สร้างขึ้นมักได้มาจากทดลองที่ใช้พื้นที่มีความลาดเอียงเท่ากันตลอด ปริมาณ ตะกอนหรือการสูญเสียดินที่คำนวณได้ จึงไม่ตรงกับข้อเท็จจริงตามธรรมชาติ เพราะการ กำหนดให้พื้นที่ลาดเขาที่มีความลาดเทสม่ำเสมอเพียงอันเดียวย่อมเป็นไปไม่ได้ (Foster and Wischmeier, 1974) การใช้สมการนี้ จึงเป็นสมการที่ใช้คาดคะเนการพังทลายของดิน เฉลี่ยรายปี ของพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งที่มีความลาดเทสม่ำเสมอ (Kirkby and Morgan, 1980)

อีกประการหนึ่ง สมการนี้ไม่มีความละเอียดทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงกลไกของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกอนจากตำแหน่งหนึ่งไปสู่ตำแหน่งหนึ่งบนพื้นที่ลาดเทอันใดอันหนึ่ง ความผันแปรของกลไกและกระบวนการตามเวลาไม่ได้คำนึงแต่อย่างไร (Meyer and Wischmeier, 1969) ดังนั้นการใช้ USLE คำนวณการสูญเสียดิน ณ ที่ใด มักกำหนดค่าต่าง ๆ ให้คงที่เสมอ โดยมีค่าคงที่ถึงเวลาที่เปลี่ยนไปด้วย ค่าที่ได้จากสมการจึงมักผิดไปจากความจริง (Wischmeier 1966; นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527)

นอกจากนี้ สมการนี้ใช้คาดคะเนการสูญเสียดินเฉลี่ยระยะยาวมากกว่าเป็นค่าปีใดปีหนึ่งโดยเฉพาะ (สมเจนต์ จันทวัฒน์, 2526 ; Meyer and Wischmeier, 1969 ; Osborn et al ,1977)

อย่างไรก็ตามผลการทดลองครั้งนี้ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Osborn et al (1977), Evans and Kalkanis (1977) และผลการทดลองในพื้นที่ลุ่มน้ำของประเทศไทย โดย ดวงตา ไร่เจริญรัตน์ (2528) และ สมศักดิ์ เหลืองสะอาด (2530)

จากการศึกษาในครั้งนี้ เมื่อพิจารณาแล้วพอกล่าวได้ว่า การสูญเสียดินจากการประเมินจาก USLE มากกว่าการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลอง ในทุกพื้นที่ตลอดช่วงเวลาของการศึกษา และมากกว่าหลายเท่าตัว ถึงแม้ว่าปัจจัยทั้งหมดในสมการการสูญเสียดินจะได้มีการประเมินไว้แล้ว แต่ส่วนใหญ่เป็นตัว เลขหรือดัชนีที่คำนวณจากข้อมูลในสหรัฐอเมริกาซึ่งการประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นที่แตกต่างออกไป ย่อมมีค่าผิดพลาดเป็นอย่างมาก (นิพนธ์ ตั้งธรรม ,2527) แต่ความแตกต่างนี้จะมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อมีการตัดแปลงหรือปรับค่าใหม่สำหรับปัจจัยบางตัว ฉะนั้นการที่จะนำ USLE ไปใช้ประเมินต่อไปในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยเฉพาะพื้นที่ที่ผ่านการปล่อยทิ้งไว้เป็นไร่ร้างมาก่อน และผ่านขบวนการพังทลายจนผิวหน้าดินได้ถูกชะล้างหมดไป โดยการนำปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นรากฐานของสมการนั้น จำเป็นต้องปรับค่าปัจจัยเหล่านี้ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เช่น ประเมินค่า K-factor จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าแล้วไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลาในพื้นที่นั้น ๆ จึงเป็นค่าในสภาพความเป็นจริง เพื่อนำไปใน USLE ต่อไป จะทำให้ได้ค่าใกล้เคียงกับ

ความเป็นจริงยิ่งขึ้น ซึ่งอาจพิจารณาจากการศึกษาครั้งนี้ที่ประเมิน K-factor ในปี พ.ศ. 2535 แล้วนำไปประเมินการสูญเสียดิน ในปี พ.ศ. 2533 และ 2534 แทนการใช้ค่าที่ได้จากแผนภาพร่มกราฟ จะให้ค่าการสูญเสียดินใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากกว่า แต่จะให้ผลได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ถ้ามีการประเมินเป็นระยะเวลานาน ๆ และอย่างต่อเนื่อง ดังเช่น Osborn et al (1977) ศึกษาพบว่า ข้อมูลการสูญเสียดินที่ได้จาก USLE จะมีมากกว่าการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริง เมื่อใช้ข้อมูลนี้พัฒนาในช่วง 3 ปี แต่ถ้าใช้ข้อมูลนี้พัฒนาช่วงระยะเวลานานอีก 15 ปี ปริมาณการสูญเสียดินจะไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งตรงกับคำกล่าวของ Roose (1977) ที่กล่าวว่า การหาปัจจัยแต่ละตัวใน USLE จำเป็นต้องมีการวางแผนการทดลองเข้าเป็นอย่างดี กระจายหลายแห่ง ต่อเนื่องหลาย ๆ ปีในระยะเวลายาวนานกว่านี้

อย่างไรก็ตามในการประเมินปัจจัยใหม่ ๆ ที่ใช้ใน USLE เพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำสูงนั้น ควรคำนึงถึงงบประมาณที่จะต้องใช้จ่ายในช่วงระยะเวลาการศึกษาด้วย หากไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และใช้เวลาที่ยาวนานจนไม่ทันต่อสถานการณ์ปัจจุบัน น่าจะมีการพิจารณาใช้โมเดลใหม่ ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมามากมายในปีหลัง ๆ มาคาดคะเนการสูญเสียดินและน้ำ รวมถึงการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากกว่าสมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 15. การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียดินที่ประเมินจากแปลงทดลองและสมการ
การสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน
จากแผนภาพโนมิกราฟ

Plot no.	Landuse	Soil loss estimation by (ton/ha/year)		Differentiate of estimation by USLE and Runoff plots (ton/ha/year) one hundred percent	
		USLE	Runoff plots		
1990					
1	Mix deciduous forest	494.0	-	-	
2	Mix deciduous forest	480.6	-	-	
3	Swidden area	172.8	5.561	167.2	31.08
4	Swidden area	150.1	3.699	146.4	40.58
5	Soybean	361.1	2.409	358.7	149.88
6	Soybean	371.1	3.280	367.8	113.14
7	Upland rice	472.8	5.697	467.1	83.00
8	Upland rice	427.8	5.872	421.9	72.85
9	Corn	318.9	5.528	313.4	57.69
10	Corn	268.6	4.327	264.2	62.06
11	Teak 1-year	146.9	3.803	143.1	38.63
12	Teak 1-year	143.1	2.415	140.6	59.24
Average				253.7	70.8
1991					
1	Mix deciduous forest	538.7	3.917	534.7	137.5
2	Mix deciduous forest	524.1	3.868	520.2	135.5
3	Swidden area	29.2	0.330	28.9	88.5
4	Swidden area	25.4	0.461	24.9	55.0
5	Soybean	393.7	3.733	390.0	105.5
6	Soybean	404.7	4.592	400.1	88.1
7	Upland rice	515.6	5.553	510.1	92.9
8	Upland rice	466.5	5.336	461.2	87.4
9	Corn	347.8	1.733	346.0	200.7
10	Corn	292.9	2.255	290.6	129.9
11	Teak 2-year	160.2	3.756	156.5	42.7
12	Teak 2-year	156.0	4.207	151.8	37.1
Average				317.9	100.1
1992					
1	Mix deciduous forest	418.7	2.195	416.5	190.8
2	Mix deciduous forest	407.4	1.797	405.6	226.7
3	Swidden area	22.7	0.108	22.6	210.3
4	Swidden area	19.7	0.126	19.6	156.5
5	Soybean	306.1	2.304	303.8	132.9
6	Soybean	314.6	3.090	311.5	101.8
7	Upland rice	400.8	2.573	398.3	155.8
8	Upland rice	362.7	2.692	360.0	134.7
9	Corn	270.3	1.385	269.0	195.2
10	Corn	227.7	1.411	226.2	161.3
11	Teak 3-year	124.5	0.624	123.9	199.6
12	Teak 3-year	121.3	0.859	120.4	141.2
13	Bare soil	674.8	13.998	660.8	48.2
14	Bare soil	713.4	13.647	699.7	52.3
Average				293.0	140.8
Average 3 year				288.2	103.9

Remarks : Using K-factor from soil erodibility nomograph

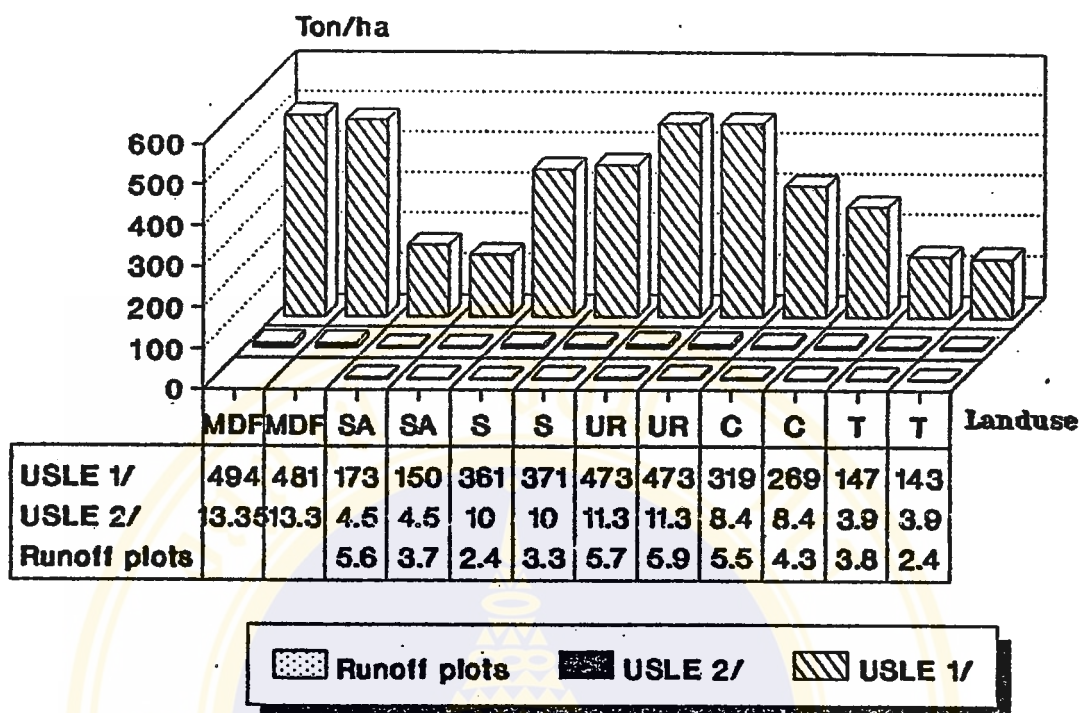
ตารางที่ 16. การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียดินที่ประเมินจากแปลงทดลองและสมการการ

สูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน

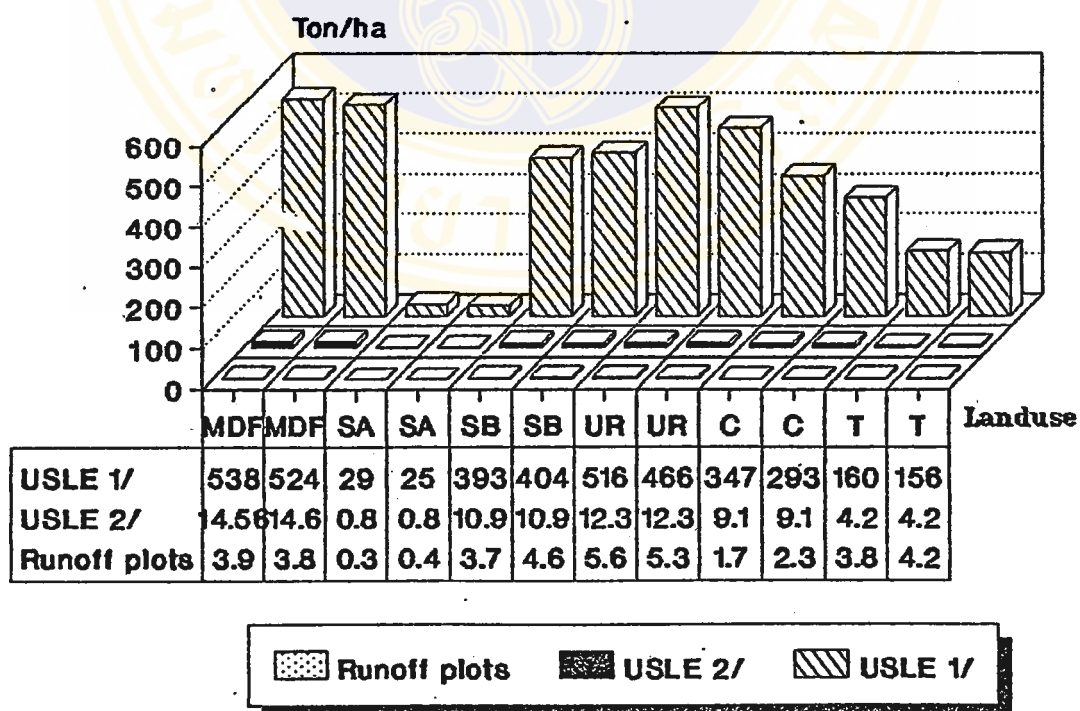
จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

Plot no.	Landuse	Soil loss estimation by (ton/ha/year)		Differentiate of estimation by USLE and Runoff plots	
		USLE	Runoff plots	(ton/ha/year)	one hundred percent
1990					
1	Mix deciduous forest	13.350	-	13.350	-
2	Mix deciduous forest	13.350	-	13.350	-
3	Swidden area	4.549	5.561	-1.012	0.818
4	Swidden area	4.549	3.699	0.850	1.230
5	Soybean	10.030	2.409	7.621	4.164
6	Soybean	10.030	3.280	6.750	3.058
7	Upland rice	11.258	5.697	5.561	1.976
8	Upland rice	11.258	5.872	5.386	1.917
9	Corn	8.392	5.528	2.864	1.518
10	Corn	8.392	4.327	4.065	1.939
11	Teak 1-year	3.866	3.803	0.063	1.017
12	Teak 1-year	3.866	2.415	1.451	1.601
Average				5.02	1.60
1991					
1	Mix deciduous forest	14.558	3.917	10.641	3.717
2	Mix deciduous forest	14.558	3.868	10.690	3.764
3	Swidden area	0.769	0.330	0.439	2.330
4	Swidden area	0.769	0.461	0.308	1.668
5	Soybean	10.937	3.733	7.204	2.930
6	Soybean	10.937	4.592	6.345	2.382
7	Upland rice	12.277	5.553	6.724	2.211
8	Upland rice	12.277	5.336	6.941	2.301
9	Corn	9.153	1.733	7.420	5.282
10	Corn	9.152	2.255	6.897	4.059
11	Teak 2-year	4.216	3.756	0.460	1.122
12	Teak 2-year	4.216	4.207	0.009	1.002
Average				5.34	2.73
1992					
1	Mix deciduous forest	11.317	2.195	9.122	5.156
2	Mix deciduous forest	11.317	1.797	9.520	6.298
3	Swidden area	0.598	0.108	0.490	5.537
4	Swidden area	0.598	0.126	0.472	4.746
5	Soybean	8.502	2.304	6.198	3.690
6	Soybean	8.502	3.090	5.412	2.751
7	Upland rice	9.543	2.573	6.970	3.709
8	Upland rice	9.543	2.692	6.851	3.545
9	Corn	7.114	1.385	5.729	5.136
10	Corn	7.114	1.411	5.703	5.042
11	Teak 3-year	3.278	0.624	2.654	5.253
12	Teak 3-year	3.278	0.859	2.419	3.816
13	Bare soil	19.280	13.998	5.282	1.377
14	Bare soil	19.280	13.647	5.633	1.413
Average				4.48	3.83
Average 3-year				4.95	2.72

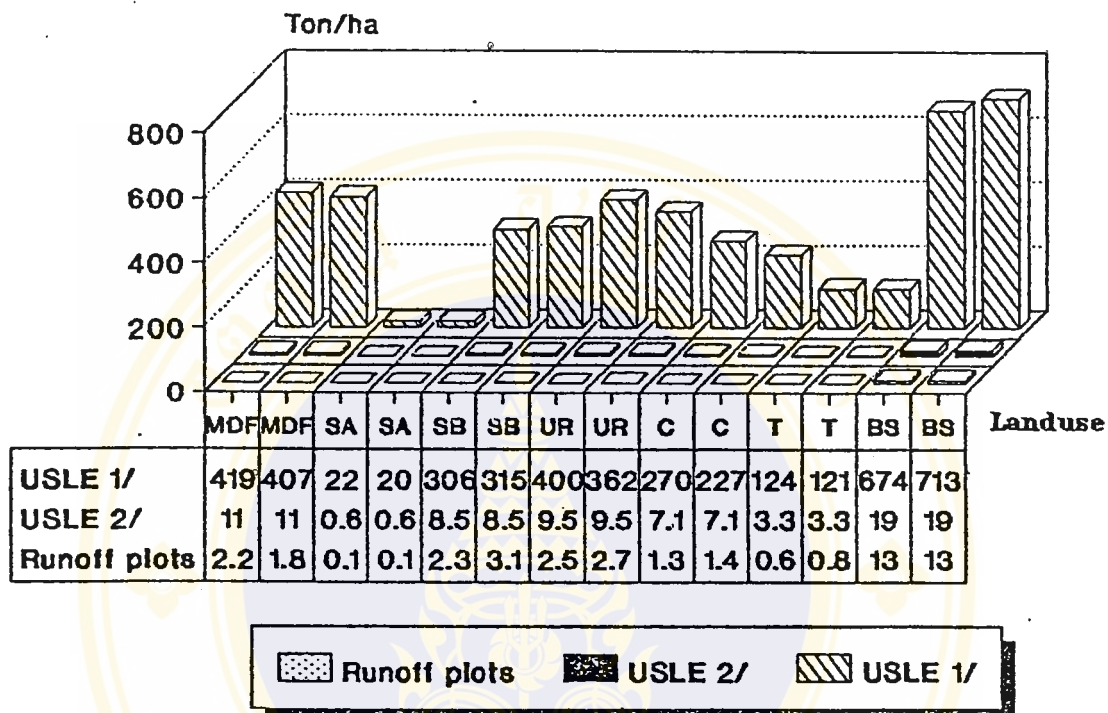
Remarks : 1/ Using K-factor from up and down hill continuous fallow on bare soil plots



ภาพที่ 13. กราฟแสดงการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากล และแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2533



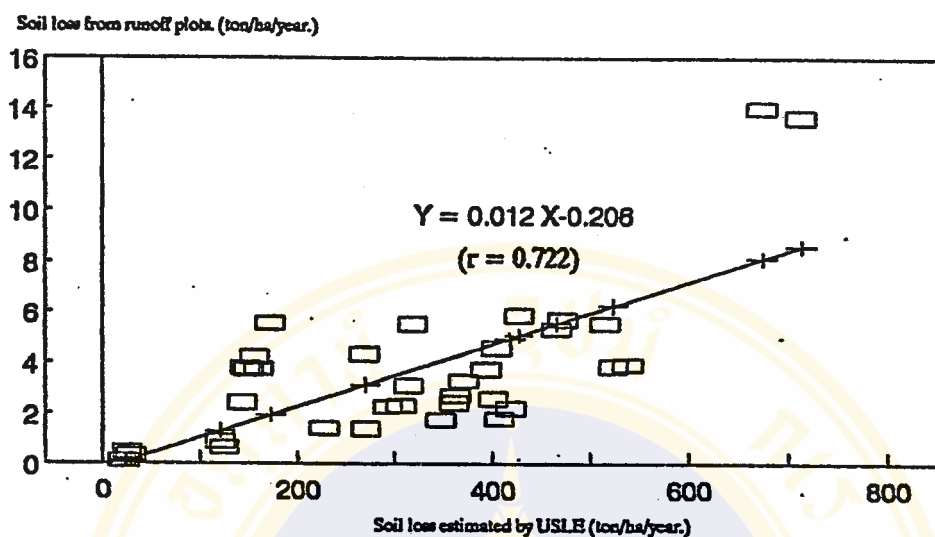
ภาพที่ 14. กราฟแสดงการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากลและแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2534



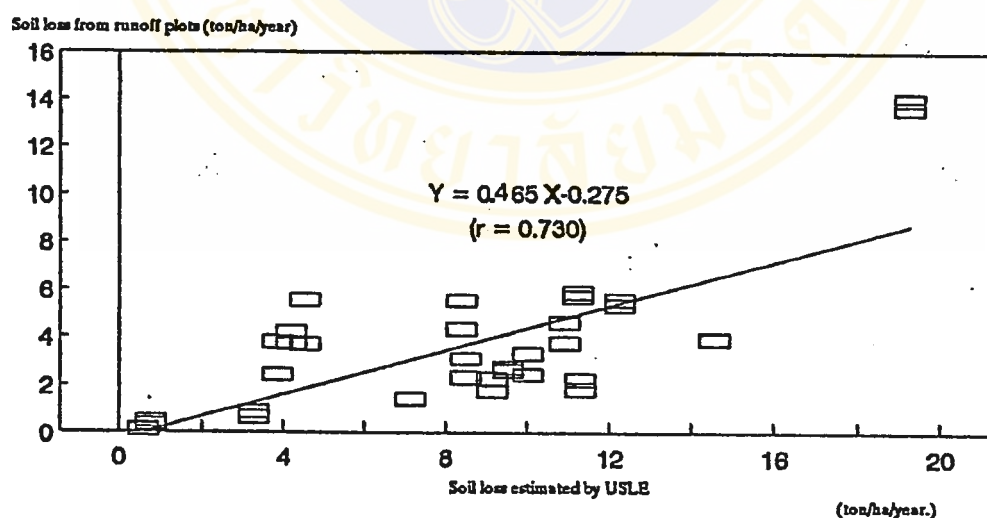
Remark : USLE 1/ = Soil loss estimated by USLE using K-factor from nomograph.

USLE 2/ = Soil loss estimated by USLE using K-factor from up and down hill continuous fallow on bare soil plots.

ภาพที่ 15. กราฟแสดงการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากลและแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2535



ภาพที่ 16. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรโมกราฟ กับ แปลงทดลอง



ภาพที่ 17. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินที่ประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากลที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา กับ แปลงทดลอง

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินระหว่างการใช้สมการการสูญเสียดินสากล กับ แปลงทดลองในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน อ.เวียงสา จ.น่าน โดยดำเนินการเก็บข้อมูลในการศึกษาวิจัยติดต่อกันเป็นเวลา 3 ปี (พ.ศ.2533-2535) จาก แปลงทดลองการสูญเสียดินและน้ำ (runoff plots) ขนาด 4 x 20 ตารางเมตร จำนวน 14 แปลง ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน ในหน่วยสัมพันธ์ของชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า (Tha Yang/Lat Ya Series Association, Ty/Ly) ซึ่งพื้นที่ดั้งเดิมถูกแผ้วถางป่าเป็น ไร่ร้าง ความลาดชัน 17.5 เปอร์เซ็นต์ ความสูงประมาณ 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล จากการศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินทั้งสองวิธี ตลอดจนการศึกษาปัจจัยชะล้างพังทลาย ของผืน ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ การสูญเสียดิน ปัจจัยการจัดการพืช ปัจจัยความทนต่อการถูชะล้างพังทลายของดิน ที่ประเมินจากแผนภาพโรม กราฟ และจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าแล้วไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา รวมทั้ง ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง กับ เปอร์เซ็นต์ทรายแป้งบวกทรายละเอียดมาก มีผลพอสรุปได้ดังนี้

6.1 การเปรียบเทียบการสูญเสียดินจากการใช้ USLE (X) กับ การสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลอง (Y) พบว่า การสูญเสียดินที่ประเมินโดย USLE ที่ใช้ค่า K-factor จากแผนภาพโรมกราฟ มีปริมาณมากกว่าประมาณ 104 เท่า ของการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริง และมีความสัมพันธ์เป็นทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.722$) โดยมีรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรง $Y = 0.012 X - 0.206$ แต่ความแตกต่างจะลดน้อยลงอย่างเด่นชัด เมื่อมีการใช้ K-factor จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา แทนการใช้ K-factor จากแผนภาพโรมกราฟ ซึ่งจะมากกว่าเพียง

2.72 เท่าของการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริง อีกทั้งมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.730$) และมีรูปแบบสมการ $Y = 0.465X - 0.275$

ดังนั้นหากจะนำ USLE ไปประยุกต์ใช้แล้วให้ค่าใกล้เคียงกับ ค่าที่ตรวจวัดได้จริงจากแปลงทดลอง จึงควรใช้ K-factor จากการตรวจวัดจริงในแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา แทนค่าที่ได้จากแผนภาพกรมกราฟ แต่ในการปรับปัจจัยนี้ น่าจะคำนึงถึงปริมาณและระยะเวลาด้วย หากไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจและใช้เวลานานจนไม่ทันต่อสถานการณ์ปัจจุบัน ควรพิจารณาใช้โมเดลใหม่ ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมามากมายในปีหลัง ๆ

6.2 ในปี พ.ศ. 2533 พบว่า ค่าเฉลี่ยการสูญเสียดินจากแปลงทดลองข้าวไร่ มากที่สุด คือ 5.784 ตัน/เฮกแตร์/ปี รองลงมา ได้แก่ ข้าวโพด ไร่ร้าง ป่าสัก อายุ 1 ปี และถั่วเหลือง เท่ากับ 4.928, 4.630, 3.109 และ 2.845 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ ในปีต่อมา ค่าเฉลี่ยการสูญเสียดินของข้าวไร่ มากที่สุด อีกเช่นกัน คือ 5.444 ตัน/เฮกแตร์/ปี รองลงมา คือ ถั่วเหลือง ป่าสักอายุ 2 ปี ป่าเบญจพรรณ ข้าวโพด ไร่ร้าง มีค่า 4.162, 3.982, 3.893, 1.994 และ 0.396 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ และในปีสุดท้าย แปลงทดลองทิ้งว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา มีค่ามากที่สุด คือ 13.824 ตัน/เฮกแตร์/ปี รองลงมา ได้แก่ ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ป่าเบญจพรรณ ข้าวโพด สวนสักอายุ 3 ปี และไร่ร้าง มีค่า 2.697, 2.632, 1.996, 1.398, 0.741 และ 0.117 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ การสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงจากแปลงทดลองทั้งสามปี จัดอยู่ในระดับน้อยมาก (very slight) และอยู่ในระดับการสูญเสียดินที่ยอมรับได้ (soil loss tolerance) การปล่อยพื้นที่ไร่ร้างให้มีการทดแทนตามธรรมชาติ พร้อมทั้งมีมาตรการป้องกันไฟป่าเป็นวิธีการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำที่ดีที่สุด

6.3 ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (rainfall erosivity factor) ปี พ.ศ 2533 ดัชนี EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m มีค่า 867.5 เมตร-ตัน/เฮกแตร์, 112.5 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ และ 295.7 ตร.ซม./ซม. ตามลำดับ รอยฝนที่ก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมีจำนวน 32 สโตรม รวม 961.5 มม. ในปีถัดมา มีค่า 945.9

เมตร-ตัน/เฮกแตร์ , 115.1 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ และ 294.4 ตร.ชม./ชม. ตามลำดับ โดยมีพื้นที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินจำนวน 36 สตอร์ม รวม 968.0 มม. ในปีสุดท้าย มีค่า 735.3 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ 99.1 เมตร-ตัน/เฮกแตร์ และ 366.0 ตร.ชม./ชม. ตามลำดับ โดยมีพื้นที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินจำนวน 36 สตอร์ม รวม 822.1 มม.

6.4 การทดสอบปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน ที่เหมาะสมในสมการการสูญเสียดินสากล โดยวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืนชนิดต่าง ๆ กับ การสูญเสียดินที่เกิดจากผืน จำนวน 106 สตอร์ม ซึ่งพิจารณาเป็นรายแปลง พบว่า ดัชนี EI_{30} มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงกว่าดัชนีอื่น ๆ เกือบทุกแปลงทดลอง รองลงมา เป็นดัชนี $KE>1$, AI_m ตามลำดับ และเมื่อพิจารณารวมทุกแปลงทดลอง ($N=1104$) พบว่ามีแนวโน้มเดียวกับวิธีการแรก การศึกษาครั้งนี้ จึงสามารถชี้ให้เห็นถึงความเหมาะสมในการนำดัชนี EI_{30} ไปใช้ในสมการการสูญเสียดินสากล ถ้าได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามดัชนี $KE>1$ ก็เป็นดัชนีที่น่าจะนำไปประยุกต์ใช้ได้เช่นกัน

6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ ปริมาณน้ำฝน ในแต่ละปี พบว่า ดัชนีทั้งสาม มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ในปีแรก ปีที่สอง และปีที่สาม ตามลำดับดังนี้

ดัชนี EI_{30} เท่ากับ 0.8496, 0.8466 และ 0.8993

ดัชนี $KE>1$ เท่ากับ 0.7599, 0.7481 และ 0.8752

ดัชนี AI_m เท่ากับ 0.8438, 0.8549 และ 0.7750

เมื่อวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน กับ ปริมาณน้ำฝน รายสตอร์ม รวมทั้ง 3 ปี (106 สตอร์ม) ดัชนีทั้งสาม มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนอย่างมีนัยสำคัญ โดยดัชนี EI_{30} มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนมากที่สุด ($r=0.8626$) รองลงมาเป็นดัชนี $KE>1$, AI_m ตามลำดับ ($r = 0.7961, 0.7473$)

6.6 ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา ในดินหน่วยสัมพัทธ์ชุดดินท่ายาง/ลาดหญ้า ที่พื้นที่ดั้งเดิมถูกแผ้วถางป่าเป็นไร่ร้างทิ้งไว้ มีค่าเฉลี่ย 0.01 ซึ่งจัดเป็นดินยากต่อการถูกชะล้างพังทลาย (very low) และการประเมินโดยอาศัยแผนภาพโนมิกราฟ (nomograp) มีค่าเฉลี่ย 0.37 จัดเป็นดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย (moderately high) จึงให้เห็นว่า การประเมินค่าปัจจัยนี้ จากแผนภาพโนมิกราฟ จะสูงกว่าค่าที่ได้จากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง (X) และเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก (Y) มีรูปแบบสมการ $Y = 24.5510 + 0.8651 X$ ($r=0.7597$)

6.8 ปัจจัยการจัดการพืช ของป่าเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด ส่วนสักอายุ 3 ปี มีค่าเฉลี่ย 0.587, 0.031, 0.441, 0.495, 0.369 และ 0.17 ตามลำดับ และค่าปัจจัยนี้ของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพืช แม้พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างท้องถิ่นและต่างเวลาก็ต่างกันออกไป พื้นที่การใช้ประโยชน์บางชนิด เช่น สวนสักในระยะแรก ไร่ร้าง มีแนวโน้มที่จะประยุกต์ใช้ปัจจัยการจัดการพืชของ Wischmeier (1975) ที่ใช้สำหรับทุ่งปศุสัตว์ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และพื้นที่รกร้างว่างเปล่าซึ่งมีวัสดุคลุมดินจะจัดกระจายหนาสมควร โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของชนิดพืชพรรณและลักษณะการปกคลุมผิวดินซึ่งก็ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาแนวทางประเมินปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ที่เหมาะสมในประเทศไทย โดยการประยุกต์จากวิธีการต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้แทนสูตรในแผนภาพโรมกราฟ ซึ่งได้มาจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อให้ K-factor ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด ถ้าหากเป็นไปได้ควรประยุกต์ใช้เฉพาะภูมิภาคใด เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้และจากงานวิจัยของนักวิชาการท่านอื่น ๆ แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ในการนำ K-factor จากโรมกราฟ ไปใช้ในสมการการสูญเสียดินสากล ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลทางเศรษฐกิจด้วย

2. ควรนำเอาโรเดลใหม่ ๆ ที่ถูกพัฒนาและนำมาใช้ในระยะหลัง ๆ ซึ่งเป็นโรเดลที่ประเมินในหลาย ๆ ด้าน มาประยุกต์ใช้แทนสมการการสูญเสียดินซึ่งมีข้อผิดพลาดมากเมื่อใช้ปัจจัยไม่เหมาะสม

3. เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ ปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน ที่นำมาใช้เป็นค่า EI_{30} ได้จากการคำนวณจากพลังชะล้างพังทลายของผืนเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าใกล้เคียงน้ำไหลบ่าหน้าดิน ทำให้ได้ค่าประเมินจากสมการการสูญเสียดินสากลมากกว่าความเป็นจริงไปมาก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาปัจจัยชะล้างพังทลายของผืน โดยคำนึงถึงปัจจัยน้ำไหลบ่าหน้าดิน (erosivity factor, E) และหาความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดิน กับอิทธิพลร่วมระหว่างพลังชะล้างพังทลายของผืน (EI) กับพลังน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Q) ในรูปของสมการ Multiple regression พร้อมทั้งศึกษาหาความสัมพันธ์ทั้ง 3 นี้ ให้ใกล้เคียงกับปริมาณการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจริงในแปลงทดลอง ซึ่งจะช่วยให้ทราบได้ว่า การสูญเสียดินในพื้นที่ศึกษา มีอิทธิพลของพลังชะล้างพังทลายของผืน (EI) กับพลังน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Q) ในสัดส่วนเท่าไร ซึ่งการศึกษานี้ควรกระทำในระยะยาวเช่นเดียวกับการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ

4. ควรมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ในการแปลงข้อมูลจากกระดาษกราฟไปบนแผนการแปลงผลด้วยวิธีการเดิม ซึ่งจะช่วยให้สะดวกรวดเร็ว และลดข้อผิดพลาด

ได้อย่างมาก เช่น การพัฒนา software ต่าง ๆ เข้ามาช่วยในการแปลงข้อมูลภาพจาก
กระดาษกราฟ

5. ควรหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำฝนกับปัจจัยชะล้างพังทลายของดินโดย
ใช้ข้อมูลระยะยาวจากเครื่องวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ ในท้องที่ใดท้องที่หนึ่ง เพื่อนำไปประยุกต์
ใช้ในงานสมการการสูญเสียดินสากลในพื้นที่ใกล้เคียง โดยการประเมินจากสมการสหสัมพันธ์
ทั้งในพื้นที่ต้นน้ำลำธารนั้น ยังไม่มีการติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีราคาสูงและต้อง
การดูแล ตลอดจนการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นอุปสรรคอยู่มาก แม้ในบางแห่ง
มีการติดตั้งเครื่องแล้ว ยังประสบปัญหาข้อมูลขาดช่วงจากการชำรุดของเครื่อง หรือจากการ
เก็บข้อมูลเป็นแบบกระดาษกราฟบันทึก 7 วัน แทนกระดาษกราฟบันทึก 1 วัน ในขณะเดียว
กัน หาแนวทางการศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยชะล้างพังทลายของดินวิธีต่าง ๆ จากเครื่องวัด
น้ำฝนชนิดกระดาษกราฟบันทึก 7 วัน กับแบบชนิดเปลี่ยนทุก ๆ วัน

6. การศึกษาปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ปัจจัยการจัด
การพืชจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งไว้ว่างเปล่าแล้วไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา ในครั้งนี้ ข้อมูล
ที่ได้ เป็นข้อมูลที่เกิดจากการทดลองเพียง 1 ปี ซึ่งอาจจะมีความแปรปรวนอยู่บ้าง
เนื่องจากลักษณะดิน ฟ้า อากาศในแต่ละปีเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ทำให้ข้อมูลที่ได้ยังไม่อาจ
เป็นตัวแทนที่ต้องการของการศึกษาครั้งนี้ จึงควรดำเนินการต่อเนื่องเช่นนี้ต่อไป หรือให้
กระจายในพื้นที่หลาย ๆ แห่ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนที่ดีและมีความถูกต้องยิ่งขึ้นที่จะนำ
ไปใช้ในการประเมินการสูญเสียดินในสมการการสูญเสียดินสากลได้อย่างถูกต้อง

7. หาแนวทางประยุกต์การประเมินค่าปัจจัยการจัดการพืช ที่นอกเหนือไปจาก
การใช้แปลงทดลอง เช่น การใช้ลักษณะพืชพรรณและการปกคลุมดิน เช่น การศึกษาครั้งนี้
จะเห็นแนวทางการประเมิน C-factor ของ Wischmeier (1975) ที่ทำ
สำหรับทุ่งหญ้า พื้นที่รกร้างว่างเปล่า ไปประยุกต์ใช้กับไร่ร้าง สวนสักในระยะแรก จึง
สมควรศึกษาข้อมูลเปรียบเทียบต่อไปอีกระยะหนึ่ง เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ชัดเจนยิ่งขึ้น

8. ควรศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล กับแปลงทดลองต่อไปอีกอย่างน้อย 5-10 ปี และแยกศึกษาชนิดพืชพรรณไป เพื่อที่จะทำให้ได้ผลการศึกษาที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

9. ควรมีการประเมินปริมาณตะกอนที่พัดพาลงสู่แหล่งน้ำ (sediment yield) โดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล และเปรียบเทียบกับประเมินจากการวัดจากเขื่อนดักตะกอน หรือ ประเมินจากสมการอื่น ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อไป

10. ควรมีการศึกษาการสูญเสียธาตุอาหารพืช ที่ติดมากับดินที่สูญเสียจากแปลงทดลอง และประเมินการสูญเสียธาตุอาหารในรูปของปุ๋ยและมูลค่าทางเศรษฐกิจ นอกเหนือจากรายได้จากผลผลิต ซึ่งจะช่วยให้ประเมินการสูญเสียดินได้สมเหตุสมผลมากขึ้น สามารถนำไปประเมินความสูญเสียทั้งลุ่มน้ำ เพื่อทราบสถานการณ์ทางสิ่งแวดล้อมต่อไป

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. 2524. การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์, กรุงเทพฯ. 33 น.

_____. 2526. การใช้สมการการสูญเสียดินสากลและมาตรการการอนุรักษ์ดิน.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 266 น.

กองวางแผนการใช้ที่ดิน. 2523. แผนการใช้ที่ดินจังหวัดน่าน. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 180 น.

กองสำรวจดิน. 2515. แผนที่ดินจังหวัดน่าน มาตรฐาน 1:100,000. กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กิตติมา ตั้งวิมลวงษ์. 2528. การประเมินปัจจัยการจัดการพืชสำหรับข้าวโพดจากแปลง
ทดลองน้ำไหลบ่าที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทรแก้ว, ประชุม สันติการ และ นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2517. ผลการทบทวน
ลดต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของดินป่าดิบเขา. บันทึกวิจัย
ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ฉบับที่ 19. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
23 น.

เกษม จันทรแก้ว, ปรีชา กุรัตน, สามัคคี บุญวัฒน์, ปรีชา ธรรมมานนท์ และนฤตย์ พันธุ์บุรณะ.
2519. การสูญเสียดินและน้ำ บริเวณป่าแม่หวด ลำปาง. บันทึกวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า
ฉบับที่ 28. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 43 น.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2530. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 673 น.

จินตนา มานพวงศ์ และ สุธีม ปลัดสงคราม. 2529. การศึกษาดัชนีการชะล้างพังทลายของผืนดินในประเทศไทย. รายงานผลการวิจัย กองบริการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 12 น.

จิระ ทศนาญชลี, วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์, สุรจิตต์ ชัยศิริ, สุรศักดิ์ นาคคำ. 2523. การถูกชะล้างพังทลายของดินบางชนิด, น. 1-6. ใน รายงานประชุมวิชาการ ปี 2523. กองบริการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ชาติรี มากนวล. 2534. การประเมินค่าประสิทธิภาพการควบคุมการพังทลายของดินในสมการการสูญเสียดินสากลของสวานป่าไม้โตเร็วอายุ 7 ปี บนชั้นดินดิน บริเวณสถานีเกษตรหลวง อำเภอลำปาง เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ พลวงษ์. 2530. การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในจังหวัดลำปางโดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ดวงตา ไร่เจริญรัตน์. 2528. การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินจากแปลงทดลองและจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากลในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคตะวันออก : ลุ่มน้ำท่าเสา อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ถวิล โกศลอนันตวงศ์. 2528. การประมาณค่าประสิทธิภาพการควบคุมการพังทลายของดินในสมการการสูญเสียดินสากล สำหรับป่าดิบเขาที่มีเปอร์เซ็นต์เรือนยอดปกคลุมในระดับต่าง ๆ กัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งธรรม, เกษม จันทรแก้ว และ สุรเชษฐ อังกุลภักดีกุล. 2515. **น้ำไหลบ่าหน้าดิน และตะกอนจากป่าธรรมชาติและไร่ร้างบริเวณลุ่มน้ำบางปะกง**. บันทึกวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ฉบับที่ 10. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 6 น.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2527. **การควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 618 น.

นิวัติ เรืองพานิช. 2517. **การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ**. : อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

พิชัย วิชัยดิษฐ์ และ ไพฑูรย์ ประมอญย์. 2535. **การสำรวจศึกษาและวางแผนที่แสดงภาพการชะล้างพังทลายของดินในจังหวัดขอนแก่น**, น. 175-211. ใน การสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การวิจัยและพัฒนาการเกษตรของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ขอนแก่น.

ไพฑูรย์ ประมอญย์. 2526. **ไร่เลื่อนลอยและผลกระทบต่อดิน**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 54. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 53 น.

ไพฑูรย์ ปิยะกรณ์. 2524. **การวิเคราะห์เชิงปริมาณการพังทลายของดินในจังหวัดบุรีรัมย์โดยอาศัยสมการการสูญเสียดินสากล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒน์ ประสานมิตร, กรุงเทพฯ. ๓.

มนัส วัฒนาศักดิ์. 2526. **การประยุกต์ภาพถ่ายจากดาวเทียมและแผนที่ภูมิประเทศในการประเมินสถานภาพภัยการของดินบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย**, น. 25-31. ใน วารสารพัฒนาที่ดิน 20 (220) : 25-31.

มนู ศรีจักร, อรรถ สมสร้าง, ไพฑูรย์ ประมอญ, สุทธิพงษ์ ประทับวิทย์, ไชยสิทธิ์

เอนกสัมพันธ์ และ ปทุมพร พึ่งเพ็ง. 2527. การใช้สมการสูญเสียดินสากล
สำหรับประเทศไทย, น. 63-87. ใน รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2527.
กองอนุรักษ์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

มนู ศรีจักร. 2529. การชะล้างพังทลายของดินและแนวทางอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนา
ที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 163 น.

เรือง จันทรมหเสถียร. 2529. การสูญเสียดินและน้ำจากการปลูกป่าน้ำในดินบริเวณคอย
อ่างช้าง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพ ฯ.

วารินทร์ จิระสุขทวีกุล. 2526. รายงานการสำรวจและวิเคราะห์ดินน้ำ สถานีวิจัยเพื่อ
รักษาต้นน้ำน่าน อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน. กองอนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 106 น.

วาสุเทพ กาญจนกุล, พิศรา เทพา, ไพวัลย์ วัฒนานุกิจ และ สวัสดิ์ บุญสี. 2530 ก. การถูก
ชะล้างพังทลายของดินบางชนิดและการศึกษาการสูญเสียดินที่เกิดจากการปลูกพืช
ระบบต่าง ๆ กันในจังหวัดลำปาง, น. 467-472. ใน รายงานวิชาการกองอนุรักษ์
ดินและน้ำ ประจำปี 2528-2530. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2530 ข. การถูกชะล้างของดินบางชนิดและการศึกษาการสูญเสีย
ดินที่เกิดจากการปลูกพืชระบบต่าง ๆ กันในจังหวัดเชียงใหม่, น. 460-467
ในรายงานวิชาการกองอนุรักษ์ดินและน้ำ ประจำปี 2528-2530. กองอนุรักษ์ดิน
และน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วันชัย วิจารณ์ท์. 2524. การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การควบคุมการพังทลายของดินที่ใช้ใน
สมการการสูญเสียดินสากลของป่าดิบเขาตอนุยุ เชียงใหม่. ปริญญานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์. 2529. การประเมินค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกระงับพังทลายของ
ดินยโสธร และปัจจัยการจัดการพืชสำหรับป้องกันภัยดินไหว ในสมการการสูญเสีย
ดินสากลที่อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์ และ ประหยัด ไร่ระจี. 2526. การศึกษาการถูกระงับของดินบางชนิด
น. 35-43. ใน รายงานวิชาการประจำปี 2526 กองบริหารที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์ และ สุดา สวัสดิ์ธนาคุณ. 2526. การศึกษาการถูกระงับของดิน
บางชนิด. น. 35-43. ใน รายงานวิชาการปี 2526. กองบริหารที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วีระชาติ เทพพิพิธ. 2524. การวัดแปลงขนาดเล็กหาค่าดัชนีการพังทลายและประสิทธิภาพการ
เคลื่อนย้ายตะกอนของป่าดิบเขาตอนุยุ เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัฒนชัย ดารงหาญวิทย์. 2528. การคาดคะเนปริมาณการชะล้างพังทลายของดินในจังหวัด
เชียงใหม่ โดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภรัตน์ สาราน. 2527. ดัชนีพลังงานของฝนในสมการการสูญเสียดินสากลบนพื้นที่ภูเขาภาคเหนือ
ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาย์ณห์ สิงหกละ. 2530. การศึกษาและวิจัยการชะล้างพังทลายของชุดดินต่าง ๆ จังหวัด นครสวรรค์. เอกสารทางวิชาการฉบับที่ 70 กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ ฯ. 58 น.

_____. 2530. การศึกษาและวิจัยการชะล้างพังทลายของชุดดินต่าง ๆ จังหวัด แพร่. เอกสารทางวิชาการฉบับที่ 69. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ ฯ. 38 น.

สาย์ณห์ สิงหกละ, พิชญ์ อุตตวิโรจน์, อภิชัย ชีรธร. 2531. การศึกษาและวิจัยการชะล้าง พังทลายของชุดดินต่าง ๆ จังหวัดนครสวรรค์. เอกสารทางวิชาการฉบับที่ 106. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ ฯ. 59 น.

สามภพ จันทรมณี, เตชา สัมฤทธิ์, พิพัฒน์ ไทยกล้า, จินตนา มานพพงศ์. 2532. การศึกษาวิเคราะห์ข้อกำหนดเงื่อนไขการดำเนินงานด้านอนุรักษ์ดินและน้ำเพื่อจัดทำคู่มืออนุรักษ์ดินในประเทศไทย. รายงานผลการวิจัย. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 147 น.

สุรจิตต์ ชัยศิริ, ไพวรรณ วัฒนานุกุลกิจ และ สุชัย ปลัดสงคราม. 2525. การศึกษาสมการ การสูญเสียดินสากลในประเทศไทย ตอนที่ 1 : การศึกษาสมการสูญเสียดินที่เกิด จากการปลูกพืชระบบต่าง ๆ กัน, น.50-57. ใน รายงานวิชาการประจำปี 2525. กองอนุรักษ์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุรจิตต์ ชัยศิริ, วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์ และ ชัยมงคล วิริยะสมบัติ. 2526. การศึกษาการถูด ชะล้างของดินบางชนิด, น. 35-43 ใน รายงานวิชาการประจำปี 2526. กอง บริรักษ์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สารานุกรม สมบัติพานิช, ประณีต วิเศษศรี และ จินตนา มานพพงศ์ 2526. การศึกษาการถูกชะล้างของดินบางชนิด, น. 29-34. ใน รายงานวิชาการประจำปี 2526. กองบริการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สนิท อักษรแก้ว, สำนึกศรี บุญยะวัฒน์ และ ปรีชา ธรรมานนท์. 2520. การทดแทนของสังกะสีกับปริมาณตะกอนบนพื้นที่หลังการทำการเลื่อนลอยในป่าดิบเขา คอยบุยเขียงใหม่. บันทึกวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ฉบับที่ 31. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ 29 น.

สมเจตน์ จันทวัฒน์. 2522. การอนุรักษ์ดินและน้ำ เล่มที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 203 น.

_____. 2523. การจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำเสี่ยงสำคัญที่ทุกคนหลงลืม. วารสารข่าวดินและปุ๋ย. 2(3) : 163-186.

_____. 2526. การอนุรักษ์ดินและน้ำ เล่มที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 737 น.

สมยศ กิจคำ. 2521. การอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่ภูเขา. โครงการจัดการลุ่มน้ำแม่สา กองอนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 163 น.

สมศักดิ์ เหลืองสะอาด. 2530. การทดสอบการอนุรักษ์ดินและน้ำที่มีผลต่อการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน และส่งผลกระทบต่อผลผลิตของไม้สนป่าหลังบนชุดดินมาบอนในบริเวณลุ่มน้ำกาแล อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Aina, P.O., R. Lal and G.S. Tayloz. 1977. Soil and crop management in relation to soil erosion in the rainforest of Western Nigeria, PP. 75-82. In G.E. Foster (ed.) Soil Erosion : Prediction and control. Soil conservation Society of America.

ARS-USDA and ORD-EPA. 1975. Control of Water Pollution and Cropland : Vol.I. A manual for guideline development Agricultural Res, Ser and Office of Res. and Development Environment Protection Agency. 52 p.

Arnoldus, H.M.J. 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. Annex IV in : Assessing soil degradation, FAO Soil Bulletin 34, FAO Rome.

Babu, R., S.K. Gupta and K.G. Tejawani. 1970. Correlation of soil loss with various energy intensity products. Indian Forest 96 (10) : 771-774.

Baver, L.D. 1933. Some soil factors effecting erosion. Agr. Eng. 13 (57) : 51-52.

_____. 1965. Soil physics. John Wiley and Sons, Inc., New York. 489 p.

- Bergsma, Jr. E. 1978. Indices of rain erosivity. Draft text made for the Compendium of measuring methods in rain water erosion. International Institute for Areal Survey and Earth Sciences.
- Browning, G.W., C.L. Parish and J.A. Glass. 1947. A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. Soil Sci., Soc. of Amer. Proc. 23 : 246-249.
- Cook, H.L. 1936. The nature and controlling variables of the water erosion process. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1:487-494.
- Cook, H.L. and J.A. Meyers. 1985. Cassava : Research, Production and Utilization. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 741 p.
- Cook, R.U. and J.C. Doornkamp. 1934. Geomorphology in environmental management : an introduction. Oxford Clarendon Press, London. 413 p.
- Dangler, E.W. and S.A. El-Swaify. 1976. Erosion of Selected Hawaii soil by simulated rainfall. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40: 769-773.
- Das, D.C. and R. Babu. 1979. Computation and estimation of rainfall energy and erosion indices in metric units. The Indian Forester, 105 (3) : 217-222.

Dunne, T. 1977. Studying patterns of soil erosion in Kenya. In Soil conservation and management in developing countries FAO Soil Bull. 33:109-122.

Dissmeyer, G.E. and G.R. Foster. 1981. Estimation the Cover-management factor (C) in the universal soil loss equation for forest condition. J. of Soil and Water cons. 4 (36) : 235-240.

Evans, W.R. and G. Kalkanis. 1977. Use of the Universal soil loss equation in California, pp. 31-40. In G.R. Foster (ed.) Soil Erosion : prediction and control. Proceedings of A National Conference on soil Erosion. SCSA, Iowa.

Ferrell, D.A, W.C. Moldenhauer and W.E. Larson. 1974. Splash correction factors for soil erosion studies. Soil Sci. Soc Amer. 38 (3) : 510-514.

Food and Agricultural Organization. 1965. Contour Farming, pp. 89-90. In Soil Erosion by Water. FAO, Rome.

Foster, G.R. and L.D. Meyer. 1972. A closed form Soil erosion Equation for Upland area. p 12.1-12.19 In H.A. Einstein (ed). Sedimentation. Symposium to Honor Professor H.A. Einstein, Colorado State University, Fort Collins.

- Foster, G.R, L.D. Meyer and C. A. Onstad. 1973. Erosion equation derived from modeling principles. Paper 73-2550 Presented at 1973 Winter Meetings ASAE, Chicago.
- Foster, G.R. and W.H. Wischmeier. 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Trans. of the ASAE. 17 (2) : 305-309.
- Frevert, R.K., G.O. Schwab, T.W. Edminster and K.K. Barner. 1955. Soil and Water Conservation Engineering. John Willey and Sons, Inc., New York. 633 p.
- Hayward, J.A. 1967. Plots for evaluating the catchment characteristics affecting soil loss. J. of Hydrology (New Zeland) 6:120-137.
- Hudson, N.W. 1971. Soil conservation. B.T. Batssford Ltd., London.
- Jantawat, S. 1977. Erodibility of some Michigan soils. Ph.D. thesis. Michigan State University, Michigan.
- Kent, K. M. 1968. A method for estimating volume and rate of runoff in small watershed. USDA-Soil Conservation Service, SCS-TP-149. 19 p.
- Kinnell, P.I.A. 1974. Splash erosion - some observations on the splash-cup technique. Soil Sci. Soc. Amer Proc. 38 (4): 657-660.

- Kirkby, M.J. and R.P.C. Morgan. 1980. **Soil erosion**. John Wiley and Sons, Inc. New York. 312 p.
- Lal, R. 1976. **Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. III: Effect of rainfall characteristics**. *Geoderma* 16: 389-401.
- Lillard, J.H., H.T. Rogers, and J. Elson. 1941. **Effect of slope character of soil, rainfall, and cropping treatments on erosion losses from Dunmore silt loam**. Virginia Agri. Exp. State. Tech. Bull. 72, 32 pp.
- Maddy, J. 1976. **Selling conservation**. *Soil Conservation*. 41: 16-17.
- McIntyre, D.S. 1958. **Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact**. *Soil Sci.* 85 : 261-266.
- Meyer, L.D. and W.H. Wischmeier. 1969. **Mathematical simulation of the process of soil erosion by water**. *Trans of ASAE* 12: 754-762.
- Middleton, H.E., C.S. Stater, and H.G. Byers. 1932-1934. **Physical and chemical characteristic of the soils from the erosion experiment station: USDA. Tech. Bull. No. 316 and 430**.
- Morgan, R.P.C. 1981. **The role of the plant cover in controlling soil erosion**, pp. 255-264. In **Proceeding of the South-East Asian Regional Symposium on Problems of soil Erosion and Sedimentation**, Asian Institute of Technology, Bangkok.

Musgrave, G.W. 1947. The quantitative evaluation of factors
J. of Soil and Water Conservation. 2(3): 133-138.

O' Neal, A.M. 1952. A key for evaluating soil permeability by means
of certain field Clues. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 16 : 312-315.

Onstad and Foster. 1975. Erosion modeling on Watershed Trons.
of the ASAE 19 (2) : 288 - 292.

Osborn, B. 1955. How rainfall and runoff erode soil, In USDA.
The Yearbook of Agriculture. The United States Government
Printing office. Washington, D.C.

Osborn, H.B., J.R. Simanton and K.G. Renard. 1977. Use of the
universal soil loss equation in the semiarid southwest, pp.
41-49. In G.B Foster (ed). soil Erosion:prediction and
control. Proceedings of A National Conference on soil
Erosion. SCSA, Iowa.

Peele, T.C., E.E. Latham and O.W. Beals. 1945. Relation of
the physical properties of different soil types to
erodibility. South. Carolina Agri. Exp. Stat. Bull. No 357.

Rapp. A. 1977. Soil erosion and reservoir sedimentation case studies
in Tanzania. In Soil conservation and management in developing
countries. Fao Soil Bull. 33:123-131.

- Renfor, G.W. 1975. Use of erosion equation and sediment delivery ratio for predicting sediment yield. Proceedings of Sediment Yield Workshop Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Source. ARS-S-40, USDA Washington, D.C. 12 p.
- Roose, E.J. 1977. Application of the Universal soil loss equation of Wischmeier and Smith in West Africa. pp. 177-188. In D.J. Greenland and R. Lal (ed.). Soil Conservation and management in humid tropics. John Wiley and Sons, New York.
- Satterlund, D.R. 1972. Wildland Watershed Management. The Ronald Press Company, New York.
- Schulz, E.F. 1981. Sediment yield estimated in planning land-use changes. pp. 117-128. In South-East Asian Regional Symposium on Problems of soil Erosion and Sedimentation. Bangkok, Thailand.
- Schwab, G.O., R.K. Frevert, T.W. Edminister and K.K Barnes. 1966. Soil and water conservation engineering. John-Wiley and Sons, Inc., New York.
- Singh, G., R. Babu and S. chandra. 1981. Research work done on K-factor in soil loss praction research in India. Bulletin No. T-12 /D-9 ICAR, Dehre Dun-248195 India. p. 23-29

Singh, G.B. Ram and C. Subhash. 1981. **Soil loss prediction research in India. Central Soil and Water Conservation Research and Raining Institute Bull. No. T-12/D-9 Dehra - Dun 248195. India. 70 p.**

Smith, D.D. 1941. **Interpretation of soil conservation data for fiels use. Agr. Eng. 22:173-175.**

Smith, D.D. and D.M. Whitt. 1947. **Estimating soil losses form field areas and claypan soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12: 485-490.**

Smith, D.D. and W.H. Wischmeier. 1957. **Factor effecting sheet and rill erosion. Trans. Amer. Geophy. Union. 38: 889-896.**

Smith, D.D. and W.H. Wischmeier. 1962. **Rainfall erosion. Advanced in Agronomy. 14:109-148.**

Tangtham, N. 1990. **GIS Application for watershed resourse management: A case study of soil erosion and sèdimentation mitigation planning in The North Thailand. Fac. of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. 27 p.**

Tangtham, N., P. Dhammanondha and C. Nimpee. 1986. **The USLE soil erodibility (K) factor of Mae Klong Watershed. F. of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, 52 p.**

Toebe, C. and V. Ouryvaev. 1970. Measurement of bedload.

pp. 172-174. In Representative and Experimental Basins: an International Guide for Research and Practice. UNESCO, Henkes, Honolulu, Harlam.

Trowattana K. 1988. Determination of Sediment Delivery Ratio for Watershed in Northern Thailand. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok.

Van Doren, C.A. and L.J. Bartelli. 1956. A method of forecasting soil loss. Agr. Engr. 37:355-341.

Watanasak, M. 1978. A preliminary study of the evaluation of soil erosion status using universal soil loss equation and landsat imagery techniques in Chonburi and Rayong Province. M.S. Thesis Mahidol University, Bangkok.

Wischmeier, W.H. 1966. Relation of field plot runoff to management and physical factor. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30(2):272-277.

_____. 1975. Estimation the soil loss equation cover and management factor for undisturbed area. pp. 118-124. In ARS-S-40 US. Dept. of Agric. Sediment Yield Workshop Proc., Washington D.C. 118-124.

Wischmeier, W.H., C.B. Johnson and B.V. Cross. 1971. A Soil

erodibility nomograph for farmland and construction sites.

J. of Soil and Water Conservation 26: 189-193.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1958. Rainfall Energy and relationship to soil loss. Trans. of the Amer. Geophy. Union. 39(2) : 285-291.

_____. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain : guide for selection of practices for soil and water conservation. Agr. Handbook No. 282. USDA, Washington, D.C. 47 p.

_____. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agr. Handbook No. 537. USDA, Washington, D.C. 49 p.

Wooldridge, D.D. 1964. Effects of parent material and vegetation on properties related to soil erosion in Central Washington. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28 : 430-432.

Yong, K.K. 1976. Erosion potential of soils, pp. 1.1 - 1.10. In Proceeding of the third Federal Inter - Agency Sedimentation conference. Sedimentation committee Water Resource Council, Denver Colorado.

Zingg, A.W. 1940. Degree and length of land slope as it effects soil loss in runoff. Agr. Eng. 22(2): 59-64.



ภาคผนวกที่ 1 ก. พลังงานเจลของฝนที่เกิดตามธรรมชาติ (เมตร-ตัน ต่อเฮกตาร์) จากสมการ $KE = 210.3 + 89 \log 1$

ความหนักเบาของฝน มม./ชม.	ความหนักเบาของฝน (มม./ชม.)									
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0	32.3	59.1	74.7	85.9	94.6	101.6	107.5	112.7	117.2
0.1	121.3	125.0	128.4	131.4	134.4	137.0	139.5	141.8	144.0	146.2
0.2	148.1	150.0	151.8	153.6	155.2	156.2	158.3	159.7	161.2	162.5
0.3	163.8	165.1	166.3	167.5	168.7	169.7	170.9	171.9	173.0	173.9
0.4	174.9	175.9	176.7	177.8	178.7	179.5	180.4	181.2	182.0	182.2
0.5	183.6	184.3	185.1	185.8	186.5	187.2	188.0	188.7	189.3	190.0
0.6	190.6	191.3	191.9	192.5	193.1	193.7	194.3	191.9	195.5	196.0
0.7	196.6	197.2	197.7	198.2	198.8	199.2	199.7	200.3	200.7	201.3
0.8	201.7	202.2	202.7	203.1	203.7	204.1	204.6	205.0	205.5	206.9
0.9	206.3	206.7	207.2	207.6	208.0	208.4	208.8	209.2	209.6	210.0

ภาคผนวกที่ 1 ก. (ต่อ)

ความถี่เก็บของฝน ชม./ชม.	ความถี่เก็บของฝน (ชม./ชม.)										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
1	210.3	214.0	217.4	220.5	223.4	226.1	228.6	230.9	233.1	235.2	
2	237.2	239.0	240.9	242.6	244.2	245.8	247.3	248.8	250.2	251.5	
3	252.9	254.1	255.4	256.5	257.7	258.8	259.9	261.0	262.0	263.0	
4	263.9	264.9	265.8	266.8	267.7	268.5	269.4	270.2	270.6	271.8	
5	272.6	273.4	274.1	274.8	275.5	276.3	277.0	277.7	278.3	279.0	
6	279.7	280.3	280.9	281.5	282.2	282.8	283.4	283.9	284.5	285.1	
7	285.6	286.2	286.7	287.2	287.8	288.3	288.8	289.3	289.8	299.3	
8	290.8	291.3	291.7	292.2	292.7	293.1	293.6	294.0	294.5	294.9	
9	295.4	295.7	296.2	296.6	297.0	297.4	297.8	298.2	298.6	299.0	
10	299.4	299.8	300.2	300.6	300.9	301.3	301.7	302.1	302.4	302.8	
11	303.1	303.4	303.8	304.1	304.5	304.8	305.2	305.5	305.8	306.2	
12	306.4	306.6	306.8	307.1	307.4	307.8	308.3	308.7	308.9	309.3	
13	309.6	309.8	310.2	310.5	310.7	311.0	311.3	311.6	311.9	312.2	

ภาคผนวกที่ 1 ก. (ต่อ)

ความหนักเบาของฝน จม./จม.	ความหนักเบาของฝน (จม./จม.)										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
14	312.4	312.7	313.0	313.2	313.5	313.8	314.0	314.3	314.6	314.8	
15	315.1	315.4	315.6	315.8	316.1	316.4	316.6	316.9	317.1	317.3	
16	317.6	317.9	318.1	318.3	318.6	318.8	319.0	319.2	319.5	319.7	
17	319.9	320.2	320.4	320.6	320.8	321.1	321.3	321.5	321.7	321.9	
18	322.2	322.4	322.6	322.8	323.0	323.2	323.4	323.6	323.9	324.0	
19	324.2	324.5	324.7	324.8	325.0	325.2	325.4	325.6	325.8	326.0	
20	326.2	326.4	326.6	326.8	327.0	327.1	327.3	327.5	327.7	328.0	
21	328.1	328.3	328.5	328.7	328.9	329.0	329.2	329.4	329.6	329.7	
22	329.9	330.1	330.3	330.5	330.6	330.7	330.9	331.1	331.3	331.4	
23	331.6	331.8	332.0	332.2	332.3	332.4	332.6	332.7	332.8	332.9	
24	333.2	333.4	333.6	333.8	333.9	334.0	334.2	334.4	334.6	334.7	
25	334.8	335.0	335.2	335.3	335.5	335.6	335.7	335.9	336.1	336.2	

ที่มา คัดลอกจาก Table I ของ Das and Babu (1979)

ภาคผนวกที่ 2 ก. ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (K) ในชุดดินต่าง ๆ
ที่ประเมินโดยใช้แผนภาพรันโกรมกราฟ ของ Wischmeier et al (1971)

Soil series		K-factor
Bg	: Ban Chong	0.14
Ch	: Chiang Khan	0.22
Bg/ch	: Ban Chong/Chiang Khan association	0.18
Ci	: Chokchai	0.18
Cr	: Chiang Rai	0.64
Dp	: Doi Pui	0.29
Hc	: Hang Chat	0.40
Hd	: Hang Dong	0.18
Hc/Hd	: Hang Chat/Hang Dong association	0.29
Hc/Mr	: Hang Chat/Mae Rim association	0.37
Ks	: Khampaeng Saen	0.22
Kt	: Korat	0.30
Kt/Ng	: Korat/Nam Phong association	0.28
Kt/Rn	: Korat/Renu	0.36
Le	: Lap Lae	0.34
Lp	: Lampang	0.62
Ly	: Lat Ya	0.27
Ly/Ty	: Lat Ya/Tha Yang association	0.33
Mr	: Mae Rim	0.33

ภาคผนวกที่ 2 ก. (ต่อ)

Soil series		K-factor
Ml	: Muak Lek	0.54
Ms	: Mae Sai	0.52
Mt	: Mae Taeng	0.27
Ng	: Nam Phong	0.25
Nm	: Nong Mot	0.25
Pc	: Pak Chong	0.25
Ph	: Phan	0.42
Pm	: Phimai	0.17
Pp	: Phon Phisai	0.24
Ps	: Phu Sand	0.21
Ps/Hd	: Phu Sana/Hang Dong association	0.20
Rn	: Renu	0.42
Rn/Suk	: Renu/Satuk association	0.38
Sa	: Sanphaya	0.35
Sai	: San Sai	0.30
So	: Sob Phrab	0.20
So/Ci	: Sob Phrab/Chok Chai association	0.19
Sp	: San Pa Thong	0.37
Suk	: Satuk	0.34
Suk/Hc	: Satuk/Hang Chat association	0.37

ภาคผนวกที่ 2 ก. (ต่อ)

Soil series	K-factor
Tk : Tha Kli	0.17
Tm : Tha Muang	0.22
Tm/Sa : Tha Muang/Sanphaya association	0.29
Ty : Tha Yang	0.39
Ty/Ly : Tha Yang/Lat Ya association	0.33
ML/Li/Bg : Muak Lek/Li/Ban Chong association	0.31
Ty/Ly/ML : Tha Yang/Lat Ya/Muak Lek association	0.40
Ly/Ty/ML : Lat Ya/Tha Yang/Muak Lek association	0.40
Ly/Ty/Bg : Lat Ya/Tha Yang/Ban Chong association	0.27

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2526)

ภาคผนวกที่ 3 ก. ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (K) โดยพิจารณาจากเนื้อดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุ

Texture class	Organic matter content (%)		
	0.5	2	4
sand	0.05	0.03	0.02
fine sand	0.16	0.14	0.10
very fine sand	0.42	0.36	0.28
loamy sand	0.12	0.10	0.08
loamy fine sand	0.24	0.20	0.16
loamy very fine sand	0.44	0.38	0.30
sandy loam	0.27	0.24	0.19
fine sand loam	0.35	0.30	0.24
very fine sand loam	0.47	0.41	0.33
loam	0.38	0.34	0.29
silt loam	0.48	0.42	0.33
silt	0.60	0.52	0.42
sandy clay loam	0.27	0.25	0.21
clay loam	0.28	0.25	0.21
silty clay loam	0.37	0.32	0.26
sandy clay	0.14	0.13	0.12
silty clay	0.25	0.23	0.19
clay		0.13-0.29	

ที่มา : จาก Table 2 ใน ARS-USDA and ORD-EPA (1975)

ภาคผนวกที่ 4 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืชของชนิดป่าต่าง ๆ ในประเทศไทย

ชนิดป่า	ค่า C-factor
ป่าดิบชื้นที่อุดมสมบูรณ์ และป่าดิบชื้นเขตร้อน	0.001
ป่าดิบเขา	0.003
ป่าผสมระหว่างไม้ผลัดใบกับไม้สีก	0.014
ป่ามรสุม และป่าในเขตชาวันนา	0.017
ป่าดิบแล้ง	0.019
ป่าผสมไม้ผลัดใบ	0.043
ป่าเบญจพรรณแล้ง	0.064
ลานป่าสัก	0.088
ป่าเบญจพรรณในเขตชาวันนา	0.090
ป่าดิบเขาที่ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นการปลูกป่า พวงสนในระยะเริ่มแรก	0.400

ที่มา : คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2524)

ภาคผนวกที่ 5 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช สำหรับใช้ในสมการการสูญเสียดินสากลของป่า
ดงดิบธรรมชาติที่ยังไม่ถูกรบกวน **

% พื้นที่ดินที่ปกคลุมด้วยเรือนยอด ต้นไม้ และ พืชชั้นล่าง	% พื้นที่ดินที่ปกคลุมด้วย ซากพืช ลึกอย่างน้อย 2 นิ้ว	C-factor
20-40	40-70	0.009-0.003
45-70	75-85	0.004-0.002
75-100	90-100	0.001-0.0001

หมายเหตุ * จาก Table II ของ Wischmeier and Smith (1978)

** ในกรณีที่ไม่ได้เริ่มต้นการปกคลุมเรือนยอดน้อยกว่า 20 % และเศษซากพืช
ปกคลุมน้อยกว่า 40 % ให้พิจารณาจากตารางอื่น

*** ค่าของ C-Factor จะเป็นเท่าไร ในแต่ละช่วงของคอลัมน์นี้ ขึ้นอยู่กับ
การปกคลุมเรือนยอด และเศษซากพืช และความสูงของชั้นเรือนยอด
ของป่าด้วย

ภาคผนวกที่ 6 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช และ ปัจจัยปฏิบัติการควบคุมการพังทลาย
ของดิน ในประเทศไทย

Land use type	C-factor	P-factor
Fruit	0.30 ***	1.0
Upland	0.45 **	1.0
Paddy field	0.28 **	0.1
Hill evergreen forest and First class forest	0.0001 **	0.7
Pine forest	0.003 *	0.7
Mixed deciduous forest	0.003 *	0.7
Dry dipterocarp forest	0.003 *	0.7
Disturbed forest	0.005 *	0.8
Old shifting areas or Abandoned areas	0.004 *	0.6
Shifting areas	0.45 **	1.0
Village	1.00 *	0.8

ที่มา : * Tangtham (1983)

** Land Development Department (1983)

*** Watanasak (1978)

ภาคผนวกที่ 7 ก. * ค่าปัจจัยการจัดการพืช ของป่าดิบเขาที่มีเรือนยอดปกคลุมดินในระดับต่างๆ
ที่ประเมินได้จากแปลงทดลอง ณ สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า เชียงใหม่

% พื้นที่ดินที่ปกคลุมด้วยเรือนยอด ต้นไม้ และ พืชชั้นล่าง	% พื้นที่ดินที่ปกคลุมด้วย ซากพืช	C-factor
20-30	เศษซากพืชหนา	0.00145
40-50	2-5 ซม. และ % การ	0.00108
50-60	ปกคลุมมากกว่า 80 %	0.00101
60-70		0.00064
70-80		0.00060
80-90		0.00066

หมายเหตุ * ดัดแปลงจาก วันชัย วิจารณ์ท์ (2524)

ภาคผนวกที่ 8 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช สำหรับพื้นที่ป่าไม้ในสภาพต่าง ๆ

สภาพป่า	% การปกคลุม เรือนยอด *	% การปกคลุมดิน และเศษซากพืช **	ลักษณะไม้ชั้นล่าง ***	C-factor
ป่าที่มีไม้สมบูรณ์ มาก	75-100	90-100	ได้รับการจัดการดี ไม่ได้รับการดูแล	**** 0.001 0.001-0.003
ป่าที่มีไม้สมบูรณ์ ปานกลาง	40-75	75-90	ได้รับการจัดการดี ไม่ได้รับการดูแล	0.004-0.002 0.004-0.01
ป่าที่มีสภาพทรุด โทรม	20-40	40-70	ได้รับการจัดการดี ไม่ได้รับการดูแล	0.009-0.003 0.09-0.02 *****

หมายเหตุ

- * ในกรณีที่เปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดต้นไม้มีปกคลุมต่ำกว่า 20 ให้ถือว่าพื้นที่นั้น
มีสภาพเหมือนกับทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์
- ** ปริมาณเศษซากพืชที่จะประเมินลักษณะการคลุมดินนั้นจะต้องหาพอสมควร
- *** ได้แก่ ไม้พุ่ม หญ้า และ ไม้เถาต่าง ๆ ที่ขึ้นอยู่ในบริเวณที่ไม่มีเศษซากพืชปกคลุม
หนาแน่น ส่วนใหญ่จะพบได้บริเวณที่ป่าเปิดโล่ง
- **** "ได้รับการจัดการดี" หมายถึง มีการป้องกันไฟป่าเป็นอย่างดี ส่วน ที่ไม่ได้รับ
การดูแล หมายถึง บ่อยครั้งที่สัตว์เข้าไปแทะเล็มหรือปล่อยไฟไหม้อยู่เสมอ
- ***** สำหรับสภาพของป่ากรณีนี้ ถ้ามีพวกเศษซากพืชคลุมดินปกคลุมน้อยกว่า 75 % ควรประเมินค่า C-Factor โดยใช้ 0.7 คูณกับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากค่าของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์

ที่มา : Table 2 ของ Wischmeier (1975)

ภาคผนวกที่ 9 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืช สำหรับทุ่งปศุสัตว์ถาวร ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และพื้นที่รกร้างว่างเปล่าซึ่งมีวัสดุคลุมดินกระจายหนาพอสมควร

ชนิดและความสูง ของพืชพรรณ *	% การปกคลุม เรือนยอด**	ชนิดพืชผิว ดิน***	% การปกคลุมผิวดินของพืชหน้าดิน					
			0	20	40	60	80	95-100
ไม่มีเลย	0	หญ้า	.45	.20	.10	.042	.012	.003
		วัชพืช	.45	.24	.15	.091	.043	.011
	25	หญ้า	.36	.17	.09	.038	.013	.003
		วัชพืช	.36	.20	.13	.083	.041	.011
	50	หญ้า	.26	.13	.07	.035	.012	.003
		วัชพืช	.26	.16	.11	.076	.039	.011
	75	หญ้า	.17	.10	.06	.032	.011	.003
		วัชพืช	.17	.12	.09	.008	.038	.011
ไม้พุ่ม หรือ พุ่มไม้ (สูง 2 เมตร)	25	หญ้า	.40	.18	.09	.040	.013	.003
		วัชพืช	.40	.22	.14	.087	.042	.011
	50	หญ้า	.34	.16	.08	.038	.012	.033
		วัชพืช	.34	.19	.13	.082	.041	.011
	75	หญ้า	.28	.14	.08	.036	.012	.003
		วัชพืช	.28	.17	.12	.078	.040	.011
	25	หญ้า	.42	.19	.10	.041	.013	.003
		วัชพืช	.42	.23	.14	.087	.042	.011
ไม้ใหญ่ ไม่มีพุ่มเลย (สูง 4 เมตร)	50	หญ้า	.39	.18	.09	.040	.013	.033
		วัชพืช	.39	.21	.14	.087	.042	.011
	75	หญ้า	.36	.17	.09	.036	.013	.003
		วัชพืช	.36	.20	.13	.084	.041	.011

ภาคผนวกที่ 9 ก. (ต่อ)

- หมายเหตุ * ความสูงเฉลี่ยของน้ำที่หยดจากเรือนยอดต้นไม้ (เมตร)
- ** เปอร์เซ็นต์ต่อพื้นที่ทั้งหมดที่มีเรือนยอดปกคลุมอยู่
- *** "หญ้า" รวมทั้งเศษซากหญ้าซึ่งสุ่มแน่นอนอยู่หน้าผิวดินด้วย
- "วัชพืช" เป็นวัชพืชซึ่งมีเรือนรากขนานกับผิวดินหรือเศษซากของมันที่ผุสลายแล้ว

ที่มา : Table ของ Wischmeier (1975)

ภาคผนวกที่ 10 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืชของพืชพรรณชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย

ชนิดพืชพรรณ	ค่า C-factor
ทุ่งนาข้าว	0.70
ไร่มันสำปะหลัง	0.60
ไร่สับปะรด	0.50
ไร่อ้อย	0.45
สวนมะพร้าว	0.40
ไร่ฝ้าย	0.35
สวนผลไม้	0.30
ไร่ข้าวฟ่าง	0.27
ไร่ข้าวโพด	0.24
สวนยางพารา	0.20
ทุ่งข้าวสาลี	0.15
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	0.02
ป่าไม้	0.001

ที่มา : Watanasak (1978)

ภาคผนวกที่ 11 ก. ค่าปัจจัยการจัดการพืชที่แนะนำใช้ในประเทศไทย ในสมการการ
สูญเสียดินสากล

ชนิดพืชพรรณ	ค่า C-factor
ถั่วเหลือง	0.392
ถั่วเขียวดำ	0.538
ถั่วลิสง	0.406
ถั่วเหลือง	0.423
ถั่วแดง ถั่วดำ	0.386
ถั่วเขียว ถั่วแระ	0.380
ข้าวโพด	0.500
นาข้าว	0.280
ข้าวไร่	0.700
สับปะรด	0.380
สับปะรด (ไม่คายวัชพืช)	0.100

ที่มา : Singh et al (1981)

ภาคผนวกที่ 12 ก. ค่าของ LS-Factor ในสมการการสูญเสียดินสากล ที่ระดับความยาวของความลาดเทต่าง ๆ

ระดับ ความลาดเท	ความยาวของแนวความลาดเท													
	25	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000		
	เมตร	7.5	15	22.5	30	45	60	90	120	150	180	240	300	
0.5	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20		
1	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26		
2	0.13	0.16	0.19	0.20	0.23	0.25	0.28	0.31	0.33	0.34	0.38	0.40		
3	0.19	0.23	0.26	0.29	0.33	0.35	0.40	0.44	0.47	0.49	0.84	0.57		
4	0.23	0.30	0.36	0.40	0.47	0.53	0.62	0.70	0.76	0.82	0.92	1.00		
5	0.27	0.38	0.46	0.54	0.66	0.76	0.93	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7		
6	0.34	0.48	0.58	0.67	0.82	0.95	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1		
8	0.50	0.70	0.86	0.99	0.20	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.8	3.1		
10	0.69	0.97	1.2	1.4	1.70	1.9	2.4	2.7	3.1	3.4	3.9	4.3		
12	0.90	1.3	1.6	1.8	2.2	2.6	3.1	3.6	4.0	4.4	5.1	5.7		
14	1.2	1.6	2.0	2.3	2.8	3.3	4.0	4.6	5.1	5.6	6.5	7.3		
16	1.4	2.0	2.5	2.8	3.5	4.0	4.9	5.7	6.4	7.0	8.0	9.00		



ภาคผนวกที่ 12 ก. (ต่อ)

ระดับ	ความยาวของแนวความลาดเท												
	พุต	25	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
ความลาดเท	เมตร	7.5	15	22.5	30	45	60	90	120	150	180	240	300
18	%	1.7	2.4	3.0	3.4	4.2	4.9	6.0	6.9	7.7	8.4	9.7	11.0
20		2.0	2.9	3.5	4.1	5.0	5.8	7.1	8.2	9.1	10.0	12.0	23.0
25		3.0	4.2	5.1	5.9	7.2	8.3	10.0	12.0	13.0	14.0	17.0	19.0
30		4.0	5.6	6.9	8.0	9.7	11.0	14.0	16.0	18.0	22.0	23.0	25.0
40		6.3	9.0	11.0	13.0	16.0	18.0	22.0	25.0	28.0	31.0	-	-
50		8.9	13.0	15.0	18.0	22.01	25.0	31.0	-	-	-	-	-
60		12.0	16.0	20.0	23.0	28.01	-	-	-	-	-	-	-
80		26.3	37.6	46.2	53.2	-	-	-	-	-	-	-	-
100		40.4	57.8	71.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ -1/ ดัดแปลงจาก Table 3 ใน ARS-USDA and ORD-EPA (1975)

2/ ค่าที่อยู่แนวความยาวของแนวความลาดเทเกินกว่า 90 เมตร (300 ฟุต) หรือระดับความลาดเท สูงกว่า 18 เปอร์เซ็นต์

เป็นค่าที่อยู่นอกช่วงผลของการทดลอง การนำไปใช้ควรพิจารณาให้รอบคอบ

ภาคผนวกที่ 1 ข. ตัวอย่างการคิดคำนวณปริมาณตะกอน ที่เกิดจากฝนแต่ละสโตรม

Plot no.	Hight of R and S		Sediment (date of record, 9 oct 92)			
	water (cm.)	(in)	(gm/lt)	(kg/plot)	(kg/ha)	(ton/ha)
	A	B=A*5.03	C	D=B*(C/1000)	E=D*(10000/80)	F=E/1000
1	105.3	529.659	1.577	0.835	104.402	0.104
2	28.7	144.361	1.007	0.145	18.179	0.018
3	5.3	26.659	0.788	0.021	2.627	0.003
4	4.3	21.629	0.609	0.013	1.646	0.002
5	8.7	43.761	5.880	0.257	32.162	0.032
6	11	55.330	7.072	0.391	48.910	0.049
7	4.7	23.641	4.998	0.118	14.769	0.015
8	10.3	51.809	4.951	0.257	32.065	0.032
9	1.3	6.539	6.468	0.042	5.287	0.005
10	6.7	33.701	1.271	0.043	5.354	0.005
11	5	25.150	2.533	0.064	7.964	0.008
12	7.3	36.719	2.872	0.105	13.181	0.013
13	47.7	239.931	28.601	6.862	857.783	0.858
14	98.6	495.958	10.268	5.092	636.562	0.637

A = mean values of depth of runoff in tanks
C = runoff and sediment

ภาคผนวกที่ 2 ข. ตัวอย่างการคิดคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านที่ดินที่เกิดจากฝนแต่ละสตรัม

Plot no.	Hight of water (cm.)	R and S (lit)	Wet sediment per 1 ft (cc)	Runoff (date of record, 9 Oct 92)			
				(cc.)	(lit/plot)	(m ³ /ha)	(mm)
	A	B=A*5.03	C	D = 1000-C	E = (D/1000)*B	F = E*0.125	G = F/10
1	105.3	529.659	3.900	996.100	527.593	65.949	6.595
2	28.7	144.361	3.800	996.200	143.812	17.977	1.798
3	5.3	26.659	1.900	998.100	26.608	3.326	0.333
4	4.3	21.629	1.300	998.700	21.601	2.700	0.270
5	8.7	43.761	17.000	983.000	43.017	5.377	0.538
6	11	55.330	15.900	984.100	54.450	6.806	0.681
7	4.7	23.641	26.900	973.100	23.005	2.876	0.288
8	10.3	51.809	20.900	979.100	50.726	6.341	0.634
9	1.3	6.539	14.100	985.900	6.447	0.806	0.081
10	6.7	33.701	2.000	998.000	33.634	4.204	0.420
11	5	25.150	5.100	994.900	25.022	3.128	0.313
12	7.3	36.719	6.100	993.900	36.495	4.562	0.456
13	47.7	239.931	52.500	947.500	227.335	28.417	2.842
14	98.6	495.958	60.000	940.000	466.201	58.275	5.828

A = mean values of depth of surface runoff in tanks
B = runoff and sediment

ภาคผนวกที่ 3 ข. ระดับชั้นความซึมน้ำของดิน (Permeability classes) สำหรับดิน
ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเทียบจากค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ระดับชั้น	ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำ ของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ cm/hr	ความซึมน้ำได้ ของดิน $\text{cm}^2 \times 10^{-10}$
ช้ามาก (very slow)	< 0.125	< 3
ช้า (slow)	0.125–0.50	3–15
ช้าปานกลาง (moderately slow)	0.50–2.00	15–60
ปานกลาง (moderate)	2.00–6.25	60–170
เร็วปานกลาง (moderately rapid)	6.25–12.50	170–350
เร็ว (rapid)	12.50–25.00	350–700
เร็วมาก (very rapid)	> 25.00	> 700

ที่มา : O'Neal (1952)

ภาคผนวกที่ 4 ข. ตัวอย่างการคิดคำนวณค่าปัจจัยระยะล่างพังทลายของผานในแต่ละสตรัม

Break point	Military	Accu Rainfall (mm)	Rainfall increment (mm)	Time increment (min)	Intensity (mm/hr)	Intensity (cm/hr)	log I	KE (m-ton/ha-cm)	E (m-ton/ha)	KE > 1 (m-ton/ha)
B	C	D	E	F	$G=(E/F)^{0.60}$	$H=G/10$	$I=\log H$	$J=210.3+89*1$	$K=J*E/10$	L
1	16.00-17.00	1	1	60	1	0.1	-1.00	121.30	12.13	650.23
2	17.00-17.30	25	24	30	48	4.8	0.68	270.93	650.23	
3	17.30-18.00	31	6	30	12	1.2	0.08	217.35	130.41	
4	21.00-21.30	34	3	30	6	0.6	-0.22	190.56	57.17	
5	21.30-22.00	35	1	30	2	0.2	-0.70	148.09	14.81	
total		126	35	180	69	6.9	-1.16	948.22	864.75	650.23

$I_{30\max}$ (mm/hr)	$I_{30\max}$ (cm/hr)	EL_{30} (m-ton/ha)	A (mm)	A (cm)	I_m (cm/hr)	AI_m (cm ² /hr)	KE > 1 (m-ton/ha)
M	N=M/10	O=K*N/100	P	R=P/10	S	T=R*S	L/100
48	4.8	41.51	35.00	3.50	4.80	16.80	6.50

ภาคผนวกที่ 5 ข. การประเมินค่าปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท (LS-factor)

วัดความยาวความลาดเทและเปอร์เซ็นต์ความลาดเทในแต่ละแปลงทดลองแล้ว
นำไปแทนค่าในสูตร ของ **Wischmeier and Smith (1965)** ตามสมการดังนี้

$$S = (0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2)/6.617$$

$$L = (\lambda/22.1)^m$$

เมื่อ

S = ปัจจัยความลาดเท

L = ปัจจัยความยาวความลาดเท

s = percent slope (%)

λ = slope lenght (m)

m = 0.5, ในกรณีความลาดเท > 5 %

0.4, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง 3.5-4.5 %

0.3, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง 1-3 %

0.2, ในกรณีความลาดเทอยู่ระหว่าง < 5 %

ดังนั้น

$$LS = (\lambda/22.1)^m (0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2)/6.617$$

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาแปลงทดลองขนาด 4x20 เมตร มีความยาวความลาดเท 20 เมตร มีความลาดเท 17.5 เปอร์เซนต์ ดังนั้น

$$\lambda = 20 \text{ เมตร}$$

$$s = 17.5 \text{ เปอร์เซนต์}$$

จากสูตร

$$LS = (\lambda/22.1)^m (0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2)/6.617$$

$$= (20/22.1)^{0.5} [0.43 + (0.30 \times 17.5) + (0.043 \times 17.5^2)]/6.617$$

$$= (0.9419)(0.43+5.25+13.169)/6.617$$

$$= (0.9419)(18.4188)/6.61$$

$$= 2.6217$$

ฉะนั้น ปัจจัยความลาดเทและความยาวความลาดเท ในการศึกษานี้เท่ากับ 2.6217

ภาคผนวกที่ 6 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรง
ระหว่างปัจจัยชะล้างพังทลายของผิวกับการสูญเสียดิน
(ปี พ.ศ. 2533-2535)

El30 (X) and Soil loss (Y)	
$Y = 11.533 + 3.037X$ $r = 0.653$	
<u>Regression Output:</u>	
Constant	11.533
Std Err of Y Est	140.465
R Squared	0.426
No. of Observations	1204.000
Degrees of Freedom	1202.000
X Coefficient(s)	3.037
Std Err of Coef.	0.102
KE>1 (X) and Soil loss (Y)	
$Y = 12.425 + 23.408X$ $r = 0.607$	
<u>Regression Output:</u>	
Constant	12.425
Std Err of Y Est	147.440
R Squared	0.368
No. of Observations	1204
Degrees of Freedom	1202
X Coefficient(s)	23.408
Std Err of Coef.	0.885
Al_m (X) and Soil loss (Y)	
$Y = 32.589 + 5.721X$ $r = 0.470$	
<u>Regression Output:</u>	
Constant	32.589
Std Err of Y Est	163.647
R Squared	0.221
No. of Observations	1204
Degrees of Freedom	1202
X Coefficient(s)	5.721
Std Err of Coef.	0.310

ภาคผนวกที่ 7 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างปัจจัยระยะล่างพังทลายของพนังกับปริมาณน้ำฝน

ปี พ.ศ. 2533

Rainfall (X) and EI ₉₀ Index (Y)	Rainfall (X) and KE>1 Index (Y)	Rainfall (X) and AI ₉₀ Index (Y)
Y = 1.64 X - 20.93 r = 0.8496	Y = 0.18 X - 1.88 r = 0.7539	Y = 0.48 X - 4.80 r = 0.8439
Regression Output: Constant -20.927 Std Err of Y Est 21.4450 R Squared 0.72181 No. of Observations 34 Degrees of Freedom 32 X Coefficient(s) 1.6423 Std Err of Coef. 0.1802	Regression Output: Constant -1.8789 Std Err of Y Est 3.30044 R Squared 0.57757 No. of Observations 34 Degrees of Freedom 32 X Coefficient(s) 0.183476 Std Err of Coef. 0.027738	Regression Output: Constant -4.79842 Std Err of Y Est 6.384529 R Squared 0.711967 No. of Observations 34 Degrees of Freedom 32 X Coefficient(s) 0.477219 Std Err of Coef. 0.053957

ภาคผนวกที่ 8 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างปัจจัยระยะล่างพังทลายของพนังกับปริมาณน้ำฝน

ปี พ.ศ. 2534

Rainfall (X) and EI ₉₀ Index (Y)	Rainfall (X) and KE>1 Index (Y)	Rainfall (X) and AI ₉₀ Index (Y)
Y = 1.96 X - 26.31 r = 0.8466	Y = 0.19 X - 2.03 r = 0.7481	Y = 0.48 X - 4.84 r = 0.8509
Regression Output: Constant -26.310 Std Err of Y Est 20.6136 R Squared 0.71679 No. of Observations 36 Degrees of Freedom 34 X Coefficient(s) 1.9557 Std Err of Coef. 0.2108	Regression Output: Constant -2.0257 Std Err of Y Est 2.88997 R Squared 0.55982 No. of Observations 36 Degrees of Freedom 34 X Coefficient(s) 0.194282 Std Err of Coef. 0.029558	Regression Output: Constant -4.83828 Std Err of Y Est 6.010018 R Squared 0.724080 No. of Observations 36 Degrees of Freedom 34 X Coefficient(s) 0.483993 Std Err of Coef. 0.051238

ภาคผนวกที่ 9 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขั้นต้นสำหรับการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างปัจจัยระยะล่างพังทลายของผืนกับปริมาณน้ำฝน

ปี พ.ศ. 2535

Rainfall (X) and EI ₅₀ Index (Y)	Rainfall (X) and KE>1 Index (Y)	Rainfall (X) and AI ₅₀ Index (Y)
$Y = 2.06 X - 26.69$ $r = 0.8993$ Regression Output: Constant -26.69 Std Err of Y Est 18.873 R Squared 0.8087 No. of Observations 38 Degrees of Freedom 34 X Coefficient(s) 2.06349 Std Err of Coef. 0.17207	$Y = 0.25 X - 2.93$ $r = 0.8752$ Regression Output: Constant -2.9298 Std Err of Y Est 2.58780 R Squared 0.76604 No. of Observations 38 Degrees of Freedom 34 X Coefficient(s) 0.248928 Std Err of Coef. 0.023592	$Y = 0.90 X - 10.46$ $r = 0.7757$ Regression Output: Constant -10.4631 Std Err of Y Est 13.82843 R Squared 0.601895 No. of Observations 38 Degrees of Freedom 34 X Coefficient(s) 0.903444 Std Err of Coef. 0.126063

ภาคผนวกที่ 10 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขั้นต้นสำหรับการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างปัจจัยระยะล่างพังทลายของผืนกับปริมาณน้ำฝน

(ปี พ.ศ. 2533-2535)

Rainfall (X) and EI ₅₀ Index (Y)	Rainfall (X) and KE>1 Index (Y)	Rainfall (X) and AI ₅₀ Index (Y)
$Y = 1.85 X - 24.11$ $r = 0.8626$ Regression Output: Constant -24.1131 Std Err of Y Est 20.3308 R Squared 0.7441 No. of Observations 106 Degrees of Freedom 104 X Coefficient(s) 1.8552 Std Err of Coef. 0.1067	$Y = 0.21 X - 2.28$ $r = 0.7961$ Regression Output: Constant -2.2838 Std Err of Y Est 2.9384 R Squared 0.6338 No. of Observations 106 Degrees of Freedom 104 X Coefficient(s) 0.2088 Std Err of Coef. 0.0154	$Y = 0.61 X - 6.75$ $r = 0.7473$ Regression Output: Constant -6.7556 Std Err of Y Est 10.0978 R Squared 0.5585 No. of Observations 106 Degrees of Freedom 104 X Coefficient(s) 0.6077 Std Err of Coef. 0.0531

ภาคผนวกที่ 11 ข. ระดับชั้นการชะล้างพังทลายของดิน โดยพิจารณาจากค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน

Class	K-factor	Descriptive erodibility class
1	0-0.10	Very low
2	0.11-0.15	Low
3	0.16-0.17	Low
4	0.18-0.20	Low
5	0.21-0.24	Moderate
6	0.25-0.28	Moderate
7	0.29-0.32	Moderate
8	0.33-0.37	Moderately high
9	0.38-0.43	Moderately high
10	0.44-0.49	High
11	0.50-0.55	High
12	0.56-0.64	Very high

ที่มา : Dangler and El-Swaify (1976)

ภาคผนวกที่ 12 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง
กับเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งรวมกับทรายละเอียดมาก

<u>Linear regression</u>	
$Y = 0.8651 X + 24.5510$	
$r = 0.7597$	
<u>Regression Output:</u>	
Constant	24.55101
Std Err of Y Est	1.888717
R Squared	0.577217
No. of Observations	32
Degrees of Freedom	30
X Coefficient(s)	0.865127
Std Err of Coef.	0.135178

X = Silt

Y = Silt + very fine sand

ภาคผนวกที่ 13 ข. การวิเคราะห์ค่าปัจจัยการจัดการพืชของพืชพรรณชนิดต่าง ๆ

No. of Storm	Date	R-fac (m-ton/ha)	Soil loss ² (ton/ha)	C-factor					
				Mix deciduous forest			Swidden area		
				plot 1	plot 2	Avg	plot 3	plot 4	Avg
1	30/4/92	38.39	0.806	0.085	0.292	0.188	0.007	0.006	0.007
2	14/5/92	2.43	0.041	0.667	0.318	0.492	0.009	0.009	0.009
3	16/6/92	2.00	0.028	0.783	0.549	0.666	0.009	0.027	0.018
4	30/6/92	1.20	0.018	0.188	0.110	0.149	0.008	0.012	0.010
5	11/7/92	2.00	0.025	0.758	0.211	0.485	0.030	0.035	0.032
6	13/7/92	0.83	0.006	6.249	0.542	3.395	0.046	0.106	0.076
7	14/7/92	6.63	0.057	1.356	0.607	0.982	0.011	0.006	0.008
8	15/7/92	2.10	0.030	0.421	0.105	0.263	0.015	0.007	0.011
9	23/7/92	1.82	0.008	1.103	1.413	1.258	0.120	0.061	0.090
10	24/7/92	3.90	0.404	0.038	0.027	0.033	0.002	0.006	0.004
11	25/7/92	2.10	0.020	0.117	0.210	0.163	0.026	0.026	0.026
12	28/7/92	13.25	0.240	0.833	0.144	0.489	0.019	0.022	0.020
13	28/7/92	6.66	0.160	0.490	0.198	0.344	0.017	0.011	0.014
14	29/7/92	6.98	0.062	1.247	0.246	0.747	0.019	0.018	0.018
15	30/7/92	2.77	0.072	0.734	0.178	0.456	0.008	0.071	0.039
16	31/7/92	170.41	2.069	0.041	0.045	0.043	0.003	0.002	0.002
17	4/8/92	13.13	0.054	1.670	0.721	1.195	0.095	0.159	0.127
18	5/8/92	16.96	0.138	1.099	0.398	0.748	0.019	0.027	0.023
19	6/8/92	14.71	0.473	0.159	0.056	0.108	0.005	0.013	0.009
20	15/8/92	4.62	0.091	0.359	0.181	0.270	0.005	0.012	0.009
21	18/8/92	5.85	0.011	1.573	1.264	1.419	0.149	0.102	0.126
22	29/8/92	10.74	0.024	1.642	0.595	1.118	0.171	0.056	0.114
23	31/8/92	200.08	3.000	0.068	0.120	0.094	0.008	0.008	0.008
24	14/9/92	7.51	0.024	0.965	1.073	1.019	0.009	0.003	0.006
25	15/9/92	12.55	0.037	1.852	1.108	1.480	0.065	0.051	0.058
26	16/9/92	4.31	0.044	0.557	0.068	0.312	0.036	0.031	0.033
27	17/9/92	26.50	0.491	0.124	0.143	0.133	0.009	0.011	0.010
28	20/9/92	7.70	0.061	0.398	0.278	0.338	0.071	0.069	0.070
29	22/9/92	19.34	0.768	0.098	0.017	0.058	0.007	0.007	0.007
30	23/9/92	40.08	1.371	0.087	0.350	0.218	0.006	0.007	0.007
31	29/9/92	6.52	0.283	0.094	0.056	0.075	0.009	0.010	0.009
32	30/9/92	58.00	1.340	0.051	0.035	0.043	0.003	0.006	0.004
33	1/10/92	3.08	0.621	0.091	0.033	0.062	0.003	0.012	0.008
34	2/10/92	3.62	0.024	4.073	0.074	2.073	0.048	0.106	0.077
35	6/10/92	3.03	0.181	0.278	0.015	0.147	0.011	0.005	0.008
36	9/10/92	13.59	0.747	0.140	0.019	0.079	0.004	0.002	0.003
Total	-	735.39	13.823	30.489	11.796	21.143	1.083	1.120	1.102
Average				0.847	0.328	0.587	0.030	0.031	0.031

$$C\text{-factor} = \frac{\text{Soil loss from 1/}}{\text{Soil loss 2/}}$$

1/ = from runoff plots with vegetative cover

2/ = from up and down hill continuous fallow on bare soil plots.

ภาคผนวกที่ 13 ข. (ต่อ)

No. of Storm	Date	R-fac (m-ton/ha)	Soil loss ² Plot 13, 14 (ton/ha)	C-factor					
				Soybean			Upland rice		
				plot 5	plot 6	Avg.	plot 7	plot 8	Avg.
1	30/4/92	38.39	0.806	0.052	0.007	0.029	0.025	0.020	0.023
2	14/5/92	2.43	0.041	0.129	0.129	0.129	0.095	0.105	0.100
3	16/6/92	2.00	0.028	0.124	0.161	0.142	0.204	0.162	0.183
4	30/6/92	1.20	0.018	0.117	0.056	0.087	0.068	0.069	0.069
5	11/7/92	2.00	0.025	0.084	0.054	0.069	0.150	0.105	0.128
6	13/7/92	0.83	0.008	0.397	0.200	0.298	0.514	1.307	0.910
7	14/7/92	6.63	0.057	0.045	0.043	0.044	0.036	0.074	0.055
8	15/7/92	2.10	0.030	0.030	0.080	0.055	0.067	0.139	0.103
9	23/7/92	1.82	0.006	0.519	0.396	0.458	0.436	1.832	1.134
10	24/7/92	3.90	0.404	0.016	0.028	0.022	0.040	0.057	0.048
11	25/7/92	2.10	0.020	0.219	0.180	0.199	0.192	0.367	0.279
12	26/7/92	13.25	0.240	0.066	0.097	0.081	0.301	0.277	0.289
13	28/7/92	6.66	0.160	0.110	0.277	0.194	0.253	0.101	0.177
14	29/7/92	6.98	0.062	0.211	0.493	0.352	0.614	0.641	0.627
15	30/7/92	2.77	0.072	0.128	0.265	0.197	0.302	0.782	0.542
16	31/7/92	170.41	2.069	0.020	0.049	0.035	0.157	0.134	0.145
17	4/8/92	13.13	0.054	1.205	2.034	1.620	3.192	5.930	4.561
18	5/8/92	16.96	0.138	0.401	0.929	0.665	1.783	1.183	1.483
19	6/8/92	14.71	0.473	0.126	0.255	0.191	0.213	0.267	0.240
20	15/8/92	4.62	0.091	0.038	0.045	0.041	0.231	0.377	0.304
21	18/8/92	5.85	0.011	0.307	5.805	3.056	1.782	0.493	1.137
22	29/8/92	10.74	0.024	3.185	2.961	3.073	1.512	1.453	1.483
23	31/8/92	200.08	3.000	0.511	0.625	0.568	0.286	0.299	0.293
24	14/9/92	7.51	0.024	0.037	0.047	0.042	0.815	0.685	0.750
25	15/9/92	12.55	0.037	1.040	1.533	1.286	0.949	1.262	1.105
26	16/9/92	4.31	0.044	0.195	0.412	0.304	0.603	0.443	0.523
27	17/9/92	26.50	0.491	0.050	0.055	0.052	0.084	0.072	0.078
28	20/9/92	7.70	0.061	0.324	0.697	0.511	0.343	0.343	0.343
29	22/9/92	19.34	0.768	0.066	0.086	0.076	0.055	0.032	0.043
30	23/9/92	40.08	1.371	0.027	0.050	0.039	0.020	0.019	0.019
31	29/9/92	6.52	0.283	0.030	0.011	0.020	0.155	0.113	0.134
32	30/9/92	58.00	1.340	0.030	0.019	0.024	0.197	0.221	0.209
33	1/10/92	3.08	0.621	0.052	0.035	0.044	0.027	0.013	0.020
34	2/10/92	3.62	0.024	1.179	2.285	1.732	0.163	0.328	0.245
35	6/10/92	3.03	0.181	0.063	0.135	0.099	0.014	0.022	0.018
36	9/10/92	13.59	0.747	0.043	0.065	0.054	0.020	0.043	0.031
Total	-	735.39	13.823	11.177	20.599	15.888	15.896	19.766	17.831
Average				0.310	0.572	0.441	0.442	0.549	0.495

$$C\text{-factor} = \frac{\text{Soil loss from 1/}}{\text{Soil loss 2/}}$$

1/ = from runoff plots with vegetative cover

2/ = from up and down hill continuous fallow on bare soil plots.

ภาคผนวกที่ 13 ข. (ต่อ)

No. of Storm	Date	R-fac (m-ton/ha)	Soil loss ^{2/} (ton/ha)	C-factor					
				Corn			Teak 3 year		
				Plot 13, 14 (ton/ha)	plot 9	plot 10	Avg.	plot 11	plot 12
1	30/4/92	38.39	0.806	0.006	0.024	0.278	0.022	0.030	0.026
2	14/5/92	2.43	0.041	0.101	0.105	0.082	0.000	0.000	0.000
3	16/6/92	2.00	0.026	0.124	0.124	0.092	0.000	0.000	0.000
4	30/6/92	1.20	0.018	0.068	0.069	0.052	0.147	0.135	0.141
5	11/7/92	2.00	0.025	0.157	0.265	0.149	0.299	0.274	0.286
6	13/7/92	0.83	0.008	1.839	0.480	0.775	0.049	0.228	0.139
7	14/7/92	6.63	0.057	0.678	0.373	0.369	0.061	0.066	0.063
8	15/7/92	2.10	0.030	0.184	0.058	0.090	0.101	0.072	0.086
9	23/7/92	1.82	0.008	0.684	0.883	0.524	0.501	0.710	0.606
10	24/7/92	3.90	0.404	0.051	0.020	0.158	0.021	0.020	0.020
11	25/7/92	2.10	0.020	0.376	0.208	0.201	0.286	0.083	0.185
12	26/7/92	13.25	0.240	0.210	0.100	0.183	0.294	0.300	0.297
13	28/7/92	6.66	0.160	0.363	0.269	0.264	0.096	0.089	0.092
14	29/7/92	6.98	0.062	0.743	0.196	0.334	0.039	0.064	0.052
15	30/7/92	2.77	0.072	0.354	0.165	0.197	0.022	0.024	0.023
16	31/7/92	170.41	2.069	0.068	0.050	0.729	0.046	0.046	0.046
17	4/8/92	13.13	0.054	2.473	1.838	1.455	0.673	0.862	0.767
18	5/8/92	16.96	0.138	0.354	0.399	0.297	0.236	0.289	0.262
19	6/8/92	14.71	0.473	0.134	0.207	0.271	0.056	0.042	0.049
20	15/8/92	4.62	0.091	0.191	0.015	0.099	0.102	0.025	0.064
21	18/8/92	5.85	0.011	0.605	0.382	0.333	0.250	0.625	0.438
22	29/8/92	10.74	0.024	0.973	1.851	0.949	0.279	0.116	0.198
23	31/8/92	200.08	3.000	0.131	0.160	1.097	0.027	0.021	0.024
24	14/9/92	7.51	0.024	0.034	0.038	0.032	0.210	0.248	0.229
25	15/9/92	12.55	0.037	1.240	2.562	1.280	0.262	1.351	0.806
26	16/9/92	4.31	0.044	0.422	1.046	0.504	0.165	1.035	0.600
27	17/9/92	26.50	0.491	0.033	0.080	0.202	0.016	0.042	0.029
28	20/9/92	7.70	0.081	0.323	0.493	0.292	0.032	0.246	0.139
29	22/9/92	19.34	0.766	0.027	0.035	0.276	0.006	0.018	0.012
30	23/9/92	40.08	1.371	0.062	0.034	0.489	0.066	0.059	0.062
31	29/9/92	6.52	0.283	0.038	0.038	0.120	0.013	0.014	0.013
32	30/9/92	58.00	1.340	0.014	0.019	0.458	0.038	0.046	0.042
33	1/10/92	3.08	0.621	0.028	0.026	0.225	0.002	0.021	0.012
34	2/10/92	3.62	0.024	0.338	0.500	0.288	0.052	0.332	0.192
35	6/10/92	3.03	0.181	0.034	0.011	0.075	0.007	0.081	0.044
36	9/10/92	13.59	0.747	0.007	0.007	0.354	0.011	0.140	0.076
Total	-	735.39	13.823	13.466	13.130	13.473	4.486	7.753	6.119
Average	-	-	-	0.374	0.365	0.374	0.125	0.215	0.170

C-factor = $\frac{\text{Soil loss from 1/}}{\text{Soil loss 2/}}$

1/ = from runoff plots with vegetative cover

2/ = from up and down hill continuous fallow on bare soil plots.

ภาคผนวกที่ 14 ข. ปริมาณการสูญเสียดินเป็นรายสัปดาห์ตามแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2533

No. of storm	date	Rainfall (mm)	3. SA	4. SA	5. SB	6. SB	7. UR
1	12/3/90	17.0	0.0822	0.0454	0.0304	0.0397	0.0656
2	5/4/90	25.5	0.1613	0.0932	0.0609	0.0825	0.1424
3	16/5/90	12.5	0.0404	0.0200	0.0143	0.0171	0.0249
4	17/5/90	17.0	0.0822	0.0454	0.0304	0.0397	0.0656
5	21/5/90	32.0	0.2217	0.1298	0.0842	0.1152	0.2012
6	22/5/90	23.0	0.1380	0.0791	0.0519	0.0699	0.1198
7	25/5/90	93.5	0.7937	0.4761	0.3046	0.4246	0.7571
8	28/5/90	19.0	0.1008	0.0566	0.0376	0.0498	0.0837
9	30/5/90	39.0	0.2868	0.1692	0.1093	0.1504	0.2645
10	9/6/90	54.0	0.4283	0.2537	0.1630	0.2259	0.4000
11	22/6/90	13.0	0.0450	0.0228	0.0161	0.0196	0.0294
12	5/7/90	19.0	0.1008	0.0566	0.0376	0.0498	0.0837
13	23/7/90	13.0	0.0450	0.0228	0.0161	0.0196	0.0294
14	24/7/90	92.0	0.7345	0.2449	0.1704	0.4363	0.5778
15	29/7/90	26.0	0.0251	0.0289	0.0232	0.0081	0.0163
16	30/7/90	14.0	0.0069	0.0062	0.0137	0.0207	0.0062
17	18/8/90	33.0	0.2330	0.1753	0.3011	0.1067	0.5770
18	29/8/90	39.0	0.0541	0.0307	0.0632	0.1165	0.0410
19	30/8/90	33.0	0.0251	0.0458	0.0351	0.0339	0.0561
20	3/9/90	14.0	0.0546	0.0277	0.0189	0.0223	0.0165
21	5/9/90	64.0	0.2696	0.6289	0.3878	0.4528	0.9918
22	7/9/90	13.0	0.0379	0.0236	0.0075	0.0071	0.0190
23	8/9/90	17.0	0.0295	0.0229	0.0081	0.0092	0.0200
24	9/9/90	24.0	0.1671	0.0559	0.0282	0.0169	0.0286
25	12/9/90	10.0	0.0219	0.0150	0.0010	0.0010	0.0043
26	14/9/90	25.0	0.2001	0.2116	0.0145	0.0144	0.5778
27	16/9/90	21.0	0.0344	0.0643	0.0194	0.0170	0.0237
28	29/9/90	17.0	0.1914	0.0995	0.0401	0.1106	0.2787
29	30/9/90	17.0	0.1330	0.0645	0.0214	0.0783	0.0373
30	6/10/90	13.5	0.1785	0.0216	0.0860	0.3983	0.0250
31	21/10/90	17.0	0.0012	0.0003	0.0033	0.0033	0.0034
32	25/10/90	15.0	0.0037	0.0072	0.0033	0.0016	0.0182
33	26/10/90	50.0	0.5657	0.4240	0.1762	0.1030	0.0794
34	9/11/90	29.5	0.0697	0.0302	0.0307	0.0185	0.0313
Total		961.5	5.561	3.700	2.409	3.281	5.697
(ton/ha/year)							

ภาคผนวกที่ 14 ข. (ต่อ)

No. of storm	Date	Rainfall (mm)	Soil loss (ton/ha/year)				
			8. UR	9. C'	10. C	11. T	12. T
1	12/3/90	17.0	0.1007	0.0401	0.0289	0.0301	0.0400
2	5/4/90	25.5	0.1601	0.1321	0.1026	0.0917	0.0634
3	16/5/90	12.5	0.0692	0.0000	0.0000	0.0000	0.0277
4	17/5/90	17.0	0.1007	0.0401	0.0289	0.0301	0.0400
5	21/5/90	32.0	0.2056	0.2024	0.1589	0.1387	0.0813
6	22/5/90	23.0	0.1427	0.1050	0.0809	0.0735	0.0565
7	25/5/90	93.5	0.6357	0.8678	0.6918	0.5841	0.2503
8	28/5/90	19.0	0.1147	0.0617	0.0462	0.0446	0.0455
9	30/5/90	39.0	0.2546	0.2781	0.2195	0.1894	0.1005
10	9/6/90	54.0	0.3595	0.4404	0.3495	0.2980	0.1417
11	22/6/90	13.0	0.0727	0.0000	0.0000	0.0011	0.0290
12	5/7/90	19.0	0.1147	0.0617	0.0462	0.0446	0.0455
13	23/7/90	13.0	0.0727	0.0000	0.0000	0.0011	0.0290
14	24/7/90	92.0	0.2948	0.5765	0.3551	0.5212	0.1567
15	29/7/90	26.0	0.0202	0.0331	0.0197	0.0301	0.0294
16	30/7/90	14.0	0.0071	0.0284	0.0115	0.0130	0.0112
17	18/8/90	33.0	0.6293	0.1956	0.2133	0.0411	0.0256
18	29/8/90	39.0	0.0755	0.2641	0.3697	0.2171	0.0613
19	30/8/90	33.0	0.0333	0.0316	0.0300	0.0234	0.0160
20	3/9/90	14.0	0.2448	0.0261	0.0147	0.0101	0.0904
21	5/9/90	64.0	1.1218	1.2498	1.1915	0.6491	0.3718
22	7/9/90	13.0	0.0373	0.0076	0.0181	0.0489	0.0261
23	8/9/90	17.0	0.1054	0.0091	0.0067	0.0313	0.0418
24	9/9/90	24.0	0.1863	0.4558	0.1080	0.3283	0.3177
25	12/9/90	10.0	0.0043	0.0284	0.0693	0.0107	0.0191
26	14/9/90	25.0	0.0517	0.0192	0.0166	0.0703	0.0313
27	16/9/90	21.0	0.0430	0.0229	0.0282	0.0340	0.0208
28	29/9/90	17.0	0.3300	0.0228	0.0183	0.0469	0.0140
29	30/9/90	17.0	0.1984	0.0581	0.0197	0.0536	0.0374
30	6/10/90	13.5	0.0201	0.0114	0.0134	0.0097	0.0032
31	21/10/90	17.0	0.0036	0.0038	0.0035	0.0013	0.0014
32	25/10/90	15.0	0.0016	0.0260	0.0040	0.0135	0.0141
33	26/10/90	50.0	0.0427	0.1916	0.0302	0.1092	0.0961
34	9/11/90	29.5	0.0172	0.0363	0.0322	0.0128	0.0795
Total		961.5	5.872	5.528	4.327	3.883	2.415
(ton/ha/year)							

ภาคผนวกที่ 15 ข. การวิเคราะห์ค่า Analysis of variance ของการสูญเสียดิน
จากแปลงทดลอง ในปี พ.ศ. 2533

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	4	12.470	3.117	4.088	5.19	11.39
Ex.Error	5	3.813	0.763			
Total	9	16.283	1.809			

GRAND MEAN = 4.2591
CV = 20.50 %
LSD .05 = 2.245067
LSD .01 = 3.520851

*
* DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST *
* PROBLEM IDENTIFICATION = A:SOIL90 *
* NUMBER OF MEANS = 5 *
* ERROR DEGREE OF FREEDOM = 5 *
* ERROR MEAN SQUARE = 0.76252532 *
* STANDARD ERROR OF MEAN = 0.61746472 *
*

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
UR		5.7845	A
C		4.9275	A
SA		4.63	A
T		3.109	A
SB		2.8445	A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
UR		5.7845	A
C		4.9275	AB
SA		4.63	AB
T		3.109	B
SB		2.8445	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ภาคผนวกที่ 16 ข. ปริมาณการสูญเสียดินเป็นรายสัปดาห์ตามแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2534

No. of storm	Date	Rainfall (mm)	Soil loss (ton/ha)					
			1. MDF	2. MDF	3. SA	4. SA	5. SB	6. SB
1	19/4/91	29.5	0.0234	0.0108	0.0009	0.0011	0.0176	0.0109
2	21/4/91	31.0	0.0548	0.0282	0.0429	0.0241	0.5110	0.3960
3	27/4/91	80.0	0.5311	0.3493	0.0785	0.0780	0.5668	0.5368
4	4/5/91	47.5	0.1481	0.0753	0.0030	0.0258	0.1326	0.2316
5	6/5/91	15.5	0.0189	0.0039	0.0059	0.0068	0.0736	0.0273
6	8/5/91	42.0	0.2411	0.0841	0.0343	0.0470	0.8293	0.8050
7	9/5/91	14.5	0.0038	0.0063	0.0034	0.0068	0.1857	0.2883
8	14/5/91	64.0	0.5551	0.9608	0.0096	0.0627	0.4632	0.9693
9	21/5/91	19.0	0.0102	0.0112	0.0015	0.0011	0.0276	0.0575
10	26/5/91	27.0	0.0224	0.0704	0.0205	0.0118	0.0171	0.0576
11	30/5/91	8.0	0.0244	0.0136	0.0101	0.0028	0.0126	0.0113
12	5/6/91	25.5	0.1396	0.3902	0.0123	0.0301	0.0923	0.0354
13	7/6/91	10.0	0.0025	0.0066	0.0025	0.0023	0.0150	0.0041
14	8/6/91	16.0	0.0333	0.0185	0.0041	0.0030	0.0349	0.1110
15	23/6/91	45.0	0.1776	0.0947	0.0025	0.0203	0.0087	0.0495
16	19/7/91	34.5	0.2895	0.3248	0.0145	0.0253	0.0844	0.2719
17	23/7/91	43.0	0.3581	0.6995	0.0222	0.0274	0.1333	0.5133
18	24/7/91	29.5	0.0821	0.0863	0.0008	0.0056	0.0844	0.0495
19	26/7/91	8.0	0.0136	0.0026	0.0003	0.0004	0.0045	0.0061
20	1/8/91	9.5	0.0206	0.0056	0.0025	0.0026	0.0081	0.0088
21	4/8/91	19.5	0.0511	0.0290	0.0006	0.0029	0.0393	0.0119
22	10/8/91	21.0	0.0190	0.0062	0.0022	0.0086	0.0164	0.0224
23	15/8/91	46.5	0.7365	0.4389	0.0195	0.0260	0.2124	0.0598
24	18/8/91	27.0	0.0334	0.0340	0.0005	0.0008	0.0126	0.0099
25	21/8/91	18.0	0.0481	0.0434	0.0002	0.0011	0.0121	0.0029
26	22/8/91	9.0	0.0021	0.0110	0.0006	0.0002	0.0057	0.0015
27	26/8/91	18.0	0.0061	0.0010	0.0011	0.0014	0.0010	0.0012
28	28/8/91	12.5	0.0185	0.0032	0.0003	0.0003	0.0041	0.0011
29	29/8/91	15.5	0.0235	0.0014	0.0003	0.0007	0.0022	0.0008
30	8/9/91	38.0	0.0530	0.0103	0.0107	0.0114	0.0435	0.0073
31	9/9/91	27.0	0.0209	0.0103	0.0010	0.0011	0.0215	0.0006
32	17/9/91	20.0	0.0114	0.0005	0.0009	0.0005	0.0006	0.0006
33	21/9/91	35.0	0.0430	0.0087	0.0121	0.0119	0.0402	0.0162
34	26/9/91	12.0	0.0349	0.0090	0.0030	0.0009	0.0012	0.0007
35	5/10/91	41.0	0.0640	0.0136	0.0038	0.0073	0.0169	0.0109
36	6/10/91	9.0	0.0017	0.0030	0.0010	0.0010	0.0004	0.0023
Total		568.0	3.9172	3.6083	0.3300	0.4609	3.7927	4.3616
(ton/ha/year)								

ภาคผนวกที่ 16 ข. (ต่อ)

No. of storm	Date	Rainfall (mm)	Soil loss (ton/ha)					
			7. UR	8. UR	9. C	10. C	11. T	12. T
1	19/4/91	29.5	0.0101	0.0169	0.0175	0.0360	0.0216	0.0220
2	21/4/91	31.0	0.2664	0.2977	0.0142	0.2355	0.2739	0.2339
3	27/4/91	80.0	1.0393	1.6292	0.1950	0.7378	0.3808	0.5656
4	4/5/91	47.5	0.4566	0.2426	0.0356	0.0931	0.0834	0.1207
5	6/5/91	15.5	0.4255	0.1977	0.0693	0.0163	0.0231	0.0935
6	8/5/91	42.0	0.4326	0.2877	0.1538	0.3923	0.4942	0.2911
7	9/5/91	14.5	0.0096	0.0274	0.0625	0.0122	0.0966	0.0058
8	14/5/91	64.0	0.7027	0.3395	0.4450	0.3275	1.5641	1.8589
9	21/5/91	19.0	0.1213	0.1217	0.0625	0.0378	0.1189	0.0752
10	26/5/91	27.0	0.0237	0.5357	0.1231	0.0342	0.2153	0.2741
11	30/5/91	8.0	0.0220	0.0238	0.0143	0.0300	0.0102	0.0287
12	5/6/91	25.5	0.0471	0.0415	0.0071	0.0235	0.0986	0.1055
13	7/6/91	10.0	0.0085	0.0081	0.0049	0.0060	0.0209	0.0237
14	8/6/91	16.0	0.1318	0.1641	0.0110	0.0130	0.0203	0.0502
15	23/6/91	45.0	0.0804	0.0705	0.0308	0.0358	0.0403	0.0749
16	19/7/91	34.5	0.2433	0.2597	0.0044	0.0531	0.0638	0.0707
17	23/7/91	43.0	0.5145	0.3561	0.1047	0.0275	0.1202	0.1245
18	24/7/91	29.5	0.1040	0.1197	0.0772	0.0470	0.0380	0.0346
19	26/7/91	8.0	0.0088	0.0121	0.0012	0.0031	0.0001	0.0036
20	1/8/91	9.5	0.0141	0.0561	0.0025	0.0026	0.0033	0.0037
21	4/8/91	19.5	0.3539	0.1182	0.0123	0.0031	0.0055	0.0057
22	10/8/91	21.0	0.1652	0.1514	0.0528	0.0040	0.0073	0.0066
23	15/8/91	46.5	0.1292	0.1056	0.1050	0.0038	0.0082	0.0932
24	18/8/91	27.0	0.0241	0.0165	0.0169	0.0022	0.0038	0.0034
25	21/8/91	18.0	0.0946	0.0110	0.0032	0.0013	0.0056	0.0017
26	22/8/91	9.0	0.0062	0.0080	0.0012	0.0012	0.0013	0.0014
27	26/8/91	18.0	0.0098	0.0014	0.0021	0.0046	0.0026	0.0037
28	28/8/91	12.5	0.0077	0.0043	0.0033	0.0052	0.0025	0.0018
29	29/8/91	15.5	0.0089	0.0016	0.0046	0.0043	0.0015	0.0018
30	8/9/91	38.0	0.0050	0.0014	0.0143	0.0107	0.0011	0.0009
31	9/9/91	27.0	0.0073	0.0016	0.0053	0.0015	0.0007	0.0013
32	17/9/91	20.0	0.0013	0.0003	0.0010	0.0002	0.0005	0.0009
33	21/9/91	35.0	0.0409	0.0565	0.0435	0.0141	0.0024	0.0013
34	26/9/91	12.0	0.0099	0.0043	0.0050	0.0008	0.0116	0.0116
35	5/10/91	41.0	0.0233	0.0367	0.0259	0.0316	0.0137	0.0111
36	6/10/91	9.0	0.0033	0.0092	0.0001	0.0025	0.0001	0.0001
Total		948.0	5.5578	5.3339	1.7332	2.2532	3.7561	4.2073
(ton/ha/year)								

ภาคผนวกที่ 17 ข. การวิเคราะห์ค่า Analysis of variance ของการสูญเสียดิน
จากแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2534

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	5	32.598	6.520	61.102	4.39	8.75
Ex.Error	6	0.640	0.107			
Total	11	33.239	3.022			

GRAND MEAN = 3.31175
CV = 9.86 %
LSD .05 = .7993164
LSD .01 = 1.210897

*
* DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST *
* PROBLEM IDENTIFICATION = A:SOIL91 *
* NUMBER OF MEANS = 6 *
* ERROR DEGREE OF FREEDOM = 6 *
* ERROR MEAN SQUARE = 0.10670126 *
* STANDARD ERROR OF MEAN = 0.23097755 *
*

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
UR		5.4445	A
SB		4.1625	B
T		3.9815	B
MDF		3.8925	B
C		1.994	C
SA		.3955	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
UR		5.4445	A
SB		4.1625	B
T		3.9815	B
MDF		3.8925	B
C		1.994	C
SA		.3955	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ภาคผนวกที่ 18 ข. ปริมาณการสูญเสียดินเป็นรายสัปดาห์ตามแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2535

No. of storm	Date	Rainfall (mm)	Soil loss (ton/ha)						
			1. MDF	2. MDF	3. SA	4. SA	5. SB	6. SB	7. UR
1	30/4/92	31.0	0.0682	0.2350	0.0059	0.0046	0.0415	0.0056	0.0205
2	14/5/92	10.5	0.0271	0.0129	0.0004	0.0004	0.0052	0.0052	0.0038
3	16/6/92	6.5	0.0205	0.0144	0.0002	0.0007	0.0033	0.0042	0.0053
4	30/6/92	5.5	0.0034	0.0020	0.0002	0.0002	0.0021	0.0010	0.0012
5	11/7/92	9.0	0.0191	0.0053	0.0008	0.0009	0.0021	0.0014	0.0038
6	13/7/92	6.0	0.0383	0.0033	0.0003	0.0007	0.0024	0.0012	0.0031
7	14/7/92	30.0	0.0773	0.0346	0.0006	0.0004	0.0026	0.0025	0.0020
8	15/7/92	11.0	0.0127	0.0032	0.0004	0.0002	0.0009	0.0024	0.0020
9	23/7/92	8.0	0.0066	0.0085	0.0007	0.0004	0.0031	0.0024	0.0026
10	24/7/92	16.0	0.0155	0.0111	0.0008	0.0024	0.0066	0.0113	0.0162
11	25/7/92	9.0	0.0023	0.0041	0.0005	0.0005	0.0043	0.0036	0.0038
12	26/7/92	34.0	0.1996	0.0346	0.0045	0.0052	0.0157	0.0232	0.0721
13	28/7/92	22.0	0.0786	0.0318	0.0027	0.0017	0.0176	0.0444	0.0405
14	29/7/92	22.5	0.0773	0.0153	0.0012	0.0011	0.0131	0.0305	0.0380
15	30/7/92	14.0	0.0525	0.0127	0.0006	0.0050	0.0091	0.0190	0.0216
16	31/7/92	70.0	0.0854	0.0935	0.0060	0.0041	0.0418	0.1019	0.3241
17	4/8/92	36.0	0.0905	0.0390	0.0051	0.0086	0.0653	0.1102	0.1729
18	5/8/92	24.0	0.1512	0.0548	0.0026	0.0037	0.0552	0.1278	0.2453
19	6/8/92	20.0	0.0752	0.0265	0.0022	0.0061	0.0597	0.1206	0.1008
20	15/8/92	21.3	0.0325	0.0164	0.0005	0.0011	0.0034	0.0041	0.0209
21	18/8/92	18.3	0.0172	0.0138	0.0016	0.0011	0.0033	0.0633	0.0194
22	29/8/92	18.0	0.0399	0.0145	0.0042	0.0014	0.0774	0.0720	0.0368
23	31/8/92	98.0	0.2035	0.3589	0.0254	0.0243	1.5347	1.8739	0.8580
24	14/9/92	16.0	0.0231	0.0257	0.0002	0.0001	0.0009	0.0011	0.0196
25	15/9/92	20.0	0.0677	0.0405	0.0024	0.0019	0.0380	0.0561	0.0347
26	16/9/92	11.0	0.0244	0.0030	0.0016	0.0014	0.0086	0.0180	0.0264
27	17/9/92	48.0	0.0609	0.0701	0.0044	0.0052	0.0244	0.0269	0.0414
28	20/9/92	29.0	0.0243	0.0170	0.0044	0.0042	0.0198	0.0426	0.0210
29	22/9/92	18.0	0.0751	0.0130	0.0053	0.0057	0.0509	0.0659	0.0420
30	23/9/92	39.0	0.1196	0.4797	0.0080	0.0099	0.0370	0.0689	0.0272
31	29/9/92	22.0	0.0264	0.0157	0.0026	0.0027	0.0084	0.0030	0.0438
32	30/9/92	31.0	0.0683	0.0471	0.0043	0.0075	0.0404	0.0252	0.2639
33	1/10/92	8.0	0.0568	0.0202	0.0016	0.0077	0.0325	0.0217	0.0167
34	2/10/92	8.5	0.0998	0.0018	0.0012	0.0026	0.0289	0.0560	0.0040
35	6/10/92	10.0	0.0503	0.0027	0.0021	0.0010	0.0113	0.0244	0.0026
36	9/10/92	21.0	0.1044	0.0141	0.0026	0.0016	0.0322	0.0489	0.0148
Total (ton/ha/year)		822.1	2.195	1.797	0.108	0.126	2.304	1.690	2.573

ภาคผนวกที่ 18 ข. (ต่อ)

No. of storm	Date	Rainfall (mm)	Soil loss (ton/ha)						
			8. UR	9. C	10. C	11. T	12. T	13. BS	14. BS
1	30/4/92	31.0	0.0161	0.0046	0.0194	0.0174	0.0245	0.7557	0.8556
2	14/5/92	10.5	0.0043	0.0041	0.0043	0.0000	0.0000	0.0379	0.0435
3	16/6/92	6.5	0.0043	0.0033	0.0033	0.0000	0.0000	0.0254	0.0270
4	30/6/92	5.5	0.0013	0.0012	0.0013	0.0027	0.0025	0.0188	0.0175
5	11/7/92	9.0	0.0026	0.0039	0.0067	0.0075	0.0069	0.0275	0.0228
6	13/7/92	6.0	0.0080	0.0113	0.0029	0.0003	0.0014	0.0047	0.0076
7	14/7/92	30.0	0.0042	0.0386	0.0213	0.0035	0.0037	0.0680	0.0460
8	15/7/92	11.0	0.0042	0.0055	0.0017	0.0031	0.0022	0.0254	0.0349
9	23/7/92	8.0	0.0110	0.0041	0.0053	0.0030	0.0043	0.0072	0.0048
10	24/7/92	16.0	0.0229	0.0205	0.0082	0.0086	0.0079	0.3044	0.5040
11	25/7/92	9.0	0.0072	0.0074	0.0041	0.0056	0.0016	0.0197	0.0198
12	26/7/92	34.0	0.0663	0.0504	0.0239	0.0705	0.0720	0.2030	0.2762
13	28/7/92	22.0	0.0162	0.0581	0.0431	0.0153	0.0142	0.1603	0.1603
14	29/7/92	22.5	0.0397	0.0461	0.0122	0.0024	0.0040	0.0504	0.0735
15	30/7/92	14.0	0.0559	0.0253	0.0118	0.0016	0.0017	0.0782	0.0648
16	31/7/92	70.0	0.2771	0.1404	0.1035	0.0944	0.0959	2.4507	1.1688
17	4/8/92	36.0	0.3212	0.1340	0.0996	0.0364	0.0467	0.0290	0.0794
18	5/8/92	24.0	0.1628	0.0487	0.0549	0.0324	0.0398	0.1196	0.1556
19	6/8/92	20.0	0.1264	0.0632	0.0979	0.0266	0.0199	0.2874	0.0659
20	15/8/92	21.3	0.0341	0.0173	0.0014	0.0093	0.0023	0.0854	0.0957
21	18/8/92	18.3	0.0054	0.0066	0.0042	0.0027	0.0068	0.0106	0.0113
22	29/8/92	18.0	0.0353	0.0236	0.0450	0.0068	0.0028	0.0275	0.0211
23	31/8/92	98.0	0.8975	0.3940	0.4801	0.0816	0.0622	3.2462	2.7549
24	14/9/92	16.0	0.0164	0.0008	0.0009	0.0050	0.0060	0.0167	0.0313
25	15/9/92	20.0	0.0462	0.0454	0.0937	0.0096	0.0494	0.0337	0.0394
26	16/9/92	11.0	0.0194	0.0185	0.0458	0.0072	0.0453	0.0317	0.0558
27	17/9/92	48.0	0.0353	0.0163	0.0394	0.0076	0.0207	0.4882	0.4942
28	20/9/92	29.0	0.0210	0.0198	0.0301	0.0019	0.0150	0.0558	0.0665
29	22/9/92	18.0	0.0244	0.0205	0.0265	0.0046	0.0139	1.0298	0.0502
30	23/9/92	39.0	0.0256	0.0845	0.0463	0.0901	0.0803	1.5263	1.2163
31	29/9/92	22.0	0.0320	0.0109	0.0107	0.0037	0.0039	0.2557	0.3094
32	30/9/92	31.0	0.2964	0.0194	0.0257	0.0508	0.0610	1.2172	1.4629
33	1/10/92	8.0	0.0079	0.0172	0.0161	0.0015	0.0130	0.2557	0.9857
34	2/10/92	8.5	0.0080	0.0083	0.0122	0.0013	0.0081	0.0217	0.0273
35	6/10/92	10.0	0.0040	0.0061	0.0021	0.0013	0.0146	0.1654	0.1962
36	9/10/92	21.0	0.0321	0.0053	0.0054	0.0080	0.1050	0.8580	0.6366
Total (ton/ha/year)		822.1	2.492	1.385	1.411	0.424	0.859	13.999	13.647

ภาคผนวกที่ 19 ข. การวิเคราะห์ค่า Analysis of variance ของการสูญเสียดิน
จากแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2535

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	6	267.029	44.505	642.456	3.87	7.19
Ex.Error	7	0.485	0.069			
Total	13	267.514	20.578			

GRAND MEAN = 3.3435
CV = 7.87 %
LSD .05 = .6224617
LSD .01 = .9209276

*
* DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST *
* PROBLEM IDENTIFICATION = A:SOIL92 *
* NUMBER OF MEANS = 7 *
* ERROR DEGREE OF FREEDOM = 7 *
* ERROR MEAN SQUARE = 0.06927285 *
* STANDARD ERROR OF MEAN = 0.18610863 *
*

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01
BS		13.8225	A
SB		2.697	B
UR		2.6325	B
MDF		1.996	BC
C		1.398	CD
T		.7415	DE
SA		.117	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05
BS		13.8225	A
SB		2.697	B
UR		2.6325	B
MDF		1.996	C
C		1.398	C
T		.7415	D
SA		.117	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ภาคผนวกที่ 20 ข. การจัดแบ่งระดับชั้นการชะล้างพังทลายของดิน

ระดับชั้น	ดินที่สูญเสีย	
	ตัน/ไร่/ปี	ตัน/เฮกเตอร์/ปี
น้อยมาก (very slight)	0.01-1.00	0.06- 6.25
น้อย (slight)	1.01-5.00	6.31-31.25
ปานกลาง (moderate)	5.01- 20.00	31.31-125.00
รุนแรง (severe)	20.01-100.0	125-625
รุนแรงมาก (very severe)	100.01-966.65	625.6-6042.0

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2526)

ภาคผนวกที่ 21 ข. ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นรายสัปดาห์มาแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2533

No. of storm	Date	Rainfall (mm)	Runoff (mm.)				
			3. SA	4. SA	5. SB	6.SB	7. UR
1	12/3/90	17.0	3.8838	3.7990	3.7626	3.3716	3.0820
2	5/4/90	25.5	3.9110	4.1917	4.0822	3.6819	3.2614
3	16/5/90	12.5	0.3869	0.3591	0.3593	0.3217	0.2987
4	17/5/90	17.0	1.8838	1.7990	1.7626	1.3716	1.0820
5	21/5/90	32.0	3.9318	4.4920	4.3266	3.9191	3.3985
6	22/5/90	23.0	3.9030	4.0762	3.9882	3.5906	3.2086
7	25/5/90	93.5	4.1286	7.3333	6.6390	6.1639	4.6962
8	28/5/90	19.0	1.8902	2.8912	2.8378	2.4446	2.1242
9	30/5/90	39.0	3.9542	4.8154	4.5898	4.1746	3.5462
10	9/6/90	54.0	4.0022	5.5084	5.1538	4.7221	3.8627
11	22/6/90	13.0	0.3871	0.3614	0.3612	0.3336	0.2998
12	5/7/90	19.0	3.8902	3.8914	3.8378	3.4446	3.1242
13	23/7/90	13.0	0.3871	0.3614	0.3612	0.3256	0.2998
14	24/7/90	92.0	1.8877	2.8838	1.2831	1.3865	0.9591
15	29/7/90	26.0	3.8967	3.9829	3.9523	3.8059	1.6922
16	30/7/90	14.0	0.5816	1.0858	0.2547	0.3280	0.2747
17	18/8/90	33.0	6.8892	7.2070	9.4575	8.0898	4.5093
18	29/8/90	39.0	10.8238	7.9872	9.7136	9.0045	6.0873
19	30/8/90	33.0	2.1381	1.4891	0.7309	0.9812	0.7546
20	3/9/90	14.0	2.9901	1.8276	1.3796	1.3502	1.5912
21	5/9/90	64.0	11.4591	11.2875	11.1178	10.7723	8.8702
22	7/9/90	13.0	5.0642	3.7015	3.9242	3.9112	3.6186
23	8/9/90	17.0	4.5089	4.5242	4.4839	4.3709	4.4973
24	9/9/90	24.0	11.2152	11.0690	11.2509	8.8602	9.1137
25	12/9/90	10.0	1.0986	0.8771	0.2254	0.2871	0.3256
26	14/9/90	25.0	10.5439	7.2596	7.4983	6.0658	6.8243
27	16/9/90	21.0	8.4021	9.0198	8.8422	7.8256	8.0021
28	29/9/90	17.0	5.1431	2.7855	2.5942	2.5993	2.1275
29	30/9/90	17.0	3.2404	4.5422	4.4387	3.9538	4.0162
30	6/10/90	13.5	3.8124	2.5798	2.2783	2.5497	1.8215
31	21/10/90	17.0	0.2564	0.3757	0.2156	0.2125	0.1687
32	25/10/90	15.0	0.4022	1.0000	0.3778	0.3044	0.3611
33	26/10/90	50.0	1.7277	2.6483	1.2682	0.8111	1.3016
34	9/11/90	29.5	3.9642	2.1607	2.2482	1.6215	2.5805
Total (mm./year)		961.5	136.586	134.174	129.597	116.957	101.781

ภาคผนวกที่ 21 ข. (ต่อ)

No. of storm	Date	Rainfall (mm)	Runoff (mm.)				
			8. UR	9. C	10. C	11. T	12. T
1	12/3/90	17.0	3.5002	3.6309	2.1224	2.9857	2.4617
2	5/4/90	25.5	3.7195	3.9582	2.1292	3.3028	2.6768
3	16/5/90	12.5	0.3384	0.3458	0.2118	0.2818	0.2347
4	17/5/90	17.0	1.5002	1.6309	1.1224	1.9857	1.4617
5	21/5/90	32.0	3.8872	4.2084	2.1344	3.5452	2.8412
6	22/5/90	23.0	3.6550	3.8619	2.1272	3.2095	2.6135
7	25/5/90	93.5	5.4739	6.5762	4.0836	5.8392	4.3972
8	28/5/90	19.0	2.5518	2.7079	1.8240	2.0603	1.5123
9	30/5/90	39.0	4.0678	4.4779	2.1400	3.8063	3.0183
10	9/6/90	54.0	4.4548	5.0554	2.1520	4.3658	3.3978
11	22/6/90	13.0	0.3397	0.3477	0.3192	0.2837	0.2361
12	5/7/90	19.0	3.5518	3.7079	2.1240	3.0603	2.5123
13	23/7/90	13.0	0.3397	0.3477	0.3119	0.2837	0.2361
14	24/7/90	92.0	0.7619	1.8712	1.5404	2.5838	1.4078
15	29/7/90	26.0	1.3490	4.2882	1.5562	2.6746	1.9905
16	30/7/90	14.0	0.1741	1.0550	1.6969	0.7571	0.5456
17	18/8/90	33.0	5.1451	7.6650	3.6627	6.2680	3.6885
18	29/8/90	39.0	7.0245	8.3703	6.2761	7.2005	6.0318
19	30/8/90	33.0	0.7926	1.3202	0.5458	1.1138	1.2924
20	3/9/90	14.0	1.1539	1.8952	0.6675	1.1733	1.3650
21	5/9/90	64.0	10.5356	11.5510	0.9323	8.5383	7.5187
22	7/9/90	13.0	3.5721	3.7524	1.8724	2.8884	2.7603
23	8/9/90	17.0	4.6436	4.7607	3.0218	4.5300	4.1523
24	9/9/90	24.0	11.2196	11.4922	6.7000	8.3335	6.9929
25	12/9/90	10.0	0.2580	0.7674	0.1427	0.4592	0.7050
26	14/9/90	25.0	8.0112	6.2323	3.1374	5.9003	4.3792
27	16/9/90	21.0	9.0535	8.7300	6.3494	6.6698	3.9695
28	29/9/90	17.0	2.7847	2.3532	0.9977	1.9028	1.8933
29	30/9/90	17.0	4.6064	4.4275	2.5365	4.6785	3.7487
30	6/10/90	13.5	2.1734	1.8963	1.0107	1.9858	1.8198
31	21/10/90	17.0	0.1256	0.1247	0.1985	0.1562	0.1381
32	25/10/90	15.0	0.1564	0.3658	0.3964	0.2677	0.2801
33	26/10/90	50.0	1.2150	0.9764	0.7179	1.3002	1.3018
34	9/11/90	29.5	4.6065	1.1128	0.7718	1.7819	1.4685
Total (mm./year)		961.5	116.743	125.864	67.533	106.173	85.049

ภาคผนวกที่ 22 ข. ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นรายสัปดาห์ตามแปลงทดลอง ปี พ.ศ. 2534

No. of storm	Date	Rainfall (mm)	Runoff (mm)					
			1. MDP	2. MDP	3. SA	4. SA	5. SB	6. SB
1	19/4/91	29.5	3.2126	1.7226	0.5308	0.8478	2.0820	1.7268
2	21/4/91	31.0	5.8869	5.8089	1.8827	2.4548	4.5125	5.4429
3	27/4/91	80.0	11.1258	2.5162	7.5608	6.1920	9.4550	11.7969
4	4/5/91	47.5	8.5468	0.8123	0.7602	1.4647	1.0603	1.5265
5	8/5/91	15.5	2.9813	0.1034	0.2398	0.5030	0.8460	1.1961
6	8/5/91	42.0	11.6472	11.6522	2.3197	2.6490	6.5252	10.1345
7	8/5/91	14.5	3.6764	3.8552	0.3388	0.6327	2.4489	4.3254
8	14/5/91	64.0	3.7159	9.3220	7.9950	8.4854	11.4337	11.5582
9	21/5/91	19.0	3.0821	3.0838	0.4396	0.8693	2.5578	1.4629
10	28/5/91	27.0	0.3566	7.9864	0.4487	0.3995	3.2210	3.5854
11	30/5/91	8.0	1.3856	1.2296	0.1310	0.1845	0.4272	0.2807
12	6/6/91	25.5	4.3892	4.3698	0.1548	1.0788	2.8164	1.1963
13	7/6/91	10.0	0.8341	0.8814	0.1568	0.1566	0.5309	0.1937
14	8/6/91	16.0	2.5854	2.7975	0.1537	0.2923	1.1795	1.2674
15	23/6/91	45.0	1.1744	0.3527	0.1284	0.2104	0.1325	0.1311
16	19/7/91	34.5	0.3409	1.7414	2.2247	0.4798	0.1548	0.3890
17	23/7/91	43.0	4.3746	5.6468	0.2385	0.7852	2.6990	3.1093
18	24/7/91	29.5	3.8944	1.5952	0.0251	0.3762	1.5373	1.7003
19	26/7/91	8.0	0.2919	0.0939	0.0215	0.0258	0.1751	0.2428
20	1/8/91	9.5	0.4180	0.1438	0.0548	0.0685	0.1258	0.2215
21	4/8/91	19.5	8.2553	4.2494	0.2577	0.4208	2.6985	2.4950
22	10/8/91	21.0	1.2487	2.5361	0.3654	0.2190	1.9179	1.0776
23	16/8/91	46.5	4.4578	5.2725	0.2183	0.4649	4.4085	1.9358
24	18/8/91	27.0	0.1039	4.0546	0.1446	0.3457	2.8440	1.7885
25	21/8/91	18.0	4.4507	2.0525	0.1445	0.1567	1.4731	0.5840
26	22/8/91	9.0	0.8659	0.8472	0.0758	0.0942	0.5147	0.1757
27	26/8/91	18.0	0.7590	0.1255	0.1578	0.0439	0.1693	0.1255
28	28/8/91	12.5	1.9829	0.5842	0.0687	0.0691	0.2633	0.1381
29	29/8/91	15.5	1.7618	0.5276	0.0314	0.0942	0.2764	0.1005
30	8/9/91	38.0	3.6045	0.6460	0.2137	0.1572	0.1065	0.1820
31	8/9/91	27.0	7.5440	2.6355	0.2011	0.3781	0.3518	0.1886
32	17/9/91	20.0	1.9703	0.2011	0.1381	0.0628	0.0753	0.0942
33	21/9/91	35.0	6.9282	3.1971	0.2638	0.3645	0.5218	0.2200
34	28/9/91	12.0	2.0062	0.5767	0.1059	0.0374	0.8006	0.1663
35	6/10/91	41.0	8.2182	0.3253	0.3758	0.7151	0.6200	0.4009
36	6/10/91	9.0	0.2383	0.0000	0.1234	0.0825	0.0753	0.0750
Total (mm/year)		968.0	128.516	93.547	28.491	31.862	71.038	71.235

ภาคผนวกที่ 22 ข. (ต่อ)

No. of storm	Date	Rainfall (mm.)	Runoff (mm.)					
			7. UR	8. UR	9. C	10. C	11. T	12. T
1	18/4/91	29.5	2.4845	1.3819	1.9153	1.7705	1.6900	2.3367
2	21/4/91	31.0	5.8802	4.6267	0.2929	4.7317	4.6829	4.3407
3	27/4/91	80.0	11.9755	12.0391	12.0797	11.7124	11.2671	11.9559
4	4/5/91	47.5	2.9799	1.2413	3.0258	2.7198	3.3424	3.0764
5	6/5/91	15.5	2.2054	0.6107	1.3396	1.9591	1.8984	1.6698
6	8/5/91	42.0	11.8731	6.6972	3.4831	9.0129	11.3454	11.7202
7	9/5/91	14.5	4.1136	1.6555	3.4471	3.5265	4.1984	4.5048
8	14/5/91	64.0	11.9442	11.3655	12.0834	11.5533	11.4059	7.2304
9	21/5/91	19.0	2.1930	1.6038	0.8574	0.8477	4.4707	2.9338
10	28/5/91	27.0	4.1820	5.6059	1.6387	1.7117	8.3876	6.9798
11	30/5/91	8.0	0.3976	0.3945	0.1125	0.1717	1.2027	1.1954
12	6/6/91	25.5	1.9181	2.2680	0.0758	0.3789	3.8342	4.2552
13	7/6/91	10.0	0.2619	0.2897	0.1521	0.1682	0.8161	0.8810
14	8/6/91	16.0	1.3859	1.4915	0.1876	0.3063	2.3526	2.4251
15	23/6/91	45.0	0.1669	0.1658	0.1587	0.1948	0.1970	0.1542
16	19/7/91	34.5	2.4088	2.8395	0.1307	0.2801	1.0966	1.0982
17	23/7/91	43.0	8.2617	10.7830	1.6931	0.8562	2.4100	3.2174
18	24/7/91	29.5	3.4769	7.8550	0.8704	0.8525	1.1856	1.9539
19	28/7/91	8.0	0.2811	0.5483	0.0456	0.0497	0.0436	0.0934
20	1/8/91	9.5	0.1617	0.1598	0.0987	0.0754	0.0578	0.0897
21	4/8/91	19.5	4.5472	5.0612	1.8966	0.4012	1.1997	2.2318
22	10/8/91	21.0	2.6146	4.4248	0.7765	0.1566	0.2505	0.2127
23	15/8/91	46.5	5.2416	7.1029	1.4375	0.3260	0.6402	0.7344
24	18/8/91	27.0	3.9312	4.2481	1.1088	0.2320	0.6913	0.9737
25	21/8/91	18.0	2.5328	2.3977	0.6343	0.1065	0.3194	0.2194
26	22/8/91	9.0	1.0521	0.8337	0.1380	1.0140	0.0958	0.0854
27	28/8/91	18.0	0.4334	0.1318	0.1127	0.1255	0.1586	0.2012
28	28/8/91	12.5	0.9466	0.3195	0.1256	0.1258	0.1439	0.0750
29	29/8/91	15.5	1.0164	0.2324	0.2051	0.2361	0.1318	0.0877
30	8/9/91	38.0	0.5836	0.1755	0.2054	0.1130	0.1758	0.1757
31	9/9/91	27.0	1.8099	0.3454	0.1307	0.1883	0.2955	0.1947
32	17/9/91	20.0	0.3765	0.0691	0.1003	0.0502	0.1130	0.0939
33	21/9/91	35.0	2.5100	1.3947	0.7342	0.1822	0.7858	0.5276
34	28/9/91	12.0	1.1437	0.3665	0.3239	0.1912	0.2176	0.1729
35	5/10/91	41.0	2.7361	0.6560	0.8206	0.4362	0.7279	0.5898
36	6/10/91	9.0	0.1002	0.0799	0.0503	0.0749	0.0824	0.0817
Total (mm./year)		968.0	110.128	101.462	52.489	56.839	81.914	78.770

ภาคผนวกที่ 23 ข. (ต่อ)

No. of station	Date	Rainfall (mm)	Runoff (mm)						
			8. UR	9. C	10. C	11. T	12. T	13. BS	14. BS
1	30/4/92	31.0	0.4692	0.2259	0.5187	0.9645	0.9312	4.0251	4.5213
2	14/5/92	10.5	0.0451	0.2256	0.5142	0.0000	0.0000	0.5126	0.5147
3	16/6/92	6.5	0.1018	0.0245	0.0126	0.0000	0.0000	0.3654	0.3698
4	30/8/92	5.5	0.0981	0.0641	0.0148	0.0558	0.0568	0.0987	0.0984
5	11/7/92	9.0	0.0614	0.0674	0.0668	0.1491	0.1367	0.0487	0.0802
6	13/7/92	6.0	0.2795	0.3093	0.2428	0.2567	0.3827	0.2179	0.2738
7	14/7/92	30.0	0.1494	0.1738	0.1608	0.1310	0.1940	0.7340	0.1966
8	16/7/92	11.0	0.0993	0.1430	0.0874	0.0931	0.0938	0.1054	0.1057
9	23/7/92	8.0	0.1989	0.2253	0.1685	0.1499	0.2125	0.1166	0.1548
10	24/7/92	16.0	0.5166	0.5110	0.3750	0.2740	0.7523	0.2538	0.2361
11	25/7/92	9.0	0.2499	0.0736	0.1813	0.0984	0.1882	0.0812	0.0685
12	26/7/92	34.0	1.0082	1.0718	0.6715	0.4527	0.7965	4.2040	4.6798
13	28/7/92	22.0	1.4291	1.5094	0.9027	0.5918	0.5145	0.4860	0.3611
14	29/7/92	22.5	1.0094	1.0978	0.5250	0.2508	0.7029	0.2062	0.2677
15	30/7/92	14.0	1.3709	0.9376	0.6457	0.2071	0.3326	0.2622	0.3309
16	31/7/92	70.0	5.7432	2.6690	2.7939	1.5001	5.7855	5.6480	4.9050
17	4/8/92	36.0	10.7868	7.7005	5.0702	2.3917	9.3682	1.1890	1.2480
18	6/8/92	24.0	5.1694	3.1052	2.2547	0.4314	1.5064	4.1186	2.2334
19	6/8/92	20.0	6.9739	3.6911	1.7568	0.7608	2.5853	5.0401	2.7993
20	16/8/92	21.3	0.0735	0.0927	0.0433	0.1871	0.2948	0.3654	1.0930
21	18/8/92	18.3	0.4954	0.0909	0.1984	0.2953	0.6898	0.1536	0.2778
22	29/8/92	18.0	0.4516	0.0937	0.1114	0.1998	0.2505	0.1879	0.1901
23	31/8/92	98.0	11.9035	11.9947	11.7023	2.8127	9.8328	12.4401	15.3864
24	14/9/92	16.0	0.0619	0.0187	0.0624	0.0627	0.0427	0.0436	0.0804
25	16/9/92	20.0	3.0877	0.4960	1.5558	0.3438	0.6647	3.2947	5.3700
26	16/9/92	11.0	0.6068	0.4235	0.4322	0.1241	0.1999	1.0678	1.3846
27	17/9/92	48.0	2.6159	1.5060	1.6470	0.5020	0.7813	3.3846	2.4904
28	20/9/92	29.0	1.7566	1.3792	1.3777	0.3015	0.7327	2.1571	3.2775
29	22/9/92	18.0	1.2725	1.3791	1.1712	0.2507	0.3148	0.4732	0.4055
30	23/9/92	39.0	6.3698	5.7718	6.6953	0.7969	8.2680	8.8182	6.9460
31	29/9/92	22.0	0.5646	0.8799	0.5467	0.1441	0.3949	5.1692	4.9978
32	30/9/92	31.0	2.3398	3.3975	3.3260	0.4824	4.8220	11.3847	11.1172
33	1/10/92	8.0	0.8470	1.0399	1.5245	0.1568	1.5877	5.1690	5.1171
34	2/10/92	8.5	0.4634	0.5262	0.4375	0.0939	0.5761	1.1385	0.2220
35	8/10/92	10.0	0.2504	0.5015	0.2258	0.1443	0.1982	0.3331	0.6830
36	9/10/92	21.0	0.6341	0.0806	0.4204	0.3128	0.4562	2.8420	5.8280
Total (mm./year)		822.1	69.555	53.498	48.441	15.969	54.647	86.136	88.253

ภาคผนวกที่ 24 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากการสุมการสูญเสียดินสากล (USLE) ทำห้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพรันกรมกราฟ ปี พ.ศ. 2533

Plot no.	Landuse	R-factor (m-ton/ha)	LS-fac.	K-fac.	C-fac.	P-fac.	Soil loss (ton/ha/year)
1	1990 Mix deciduous forest	867.5	2.6217	0.37	0.587	1	493.961
2	Mix deciduous forest	867.5	2.6217	0.36	0.587	1	480.610
3	Swidden area	867.5	2.6217	0.38	0.200	1	172.849
4	Swidden area	867.5	2.6217	0.33	0.200	1	150.105
5	Soybean	867.5	2.6217	0.36	0.441	1	361.072
6	Soybean	867.5	2.6217	0.37	0.441	1	371.102
7	Upland rice	867.5	2.6217	0.42	0.495	1	472.832
8	Upland rice	867.5	2.6217	0.38	0.495	1	427.800
9	Corn	867.5	2.6217	0.38	0.369	1	318.906
10	Corn	867.5	2.6217	0.32	0.369	1	268.552
11	Teak 1 year	867.5	2.6217	0.38	0.170	1	146.921
12	Teak 1 year	867.5	2.6217	0.37	0.170	1	143.055

Remarks : Using K-factor from soil erodibility nomograph
C-factor from runoff plots with vegetative cover
R-factor = EI₃₀

ภาคผนวกที่ 25 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากการสลายตัวของดิน (USLE) ที่ทำวิจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพภูมิอากาศ ปี พ.ศ. 2534

Plot no.	Landuse	R-factor (m-ton/ha)	LS-fac.	K-fac.	C-fac.	P-fac.	Soil loss (ton/ha/year)
1	1991 Mix deciduous forest	946	2.6217	0.37	0.587	1	538.659
2	Mix deciduous forest	946	2.6217	0.36	0.587	1	524.101
3	Swidden area	946	2.6217	0.38	0.031	1	29.216
4	Swidden area	946	2.6217	0.33	0.031	1	25.372
5	Soybean	946	2.6217	0.36	0.441	1	393.745
6	Soybean	946	2.6217	0.37	0.441	1	404.683
7	Upland rice	946	2.6217	0.42	0.495	1	515.619
8	Upland rice	946	2.6217	0.38	0.495	1	466.512
9	Corn	946	2.6217	0.38	0.369	1	347.764
10	Corn	946	2.6217	0.32	0.369	1	292.854
11	Teak 2 year	946	2.6217	0.38	0.170	1	160.216
12	Teak 2 year	946	2.6217	0.37	0.170	1	156.000

Remarks : Using K-factor from soil erodibility nomograph
C-factor from runoff plots with vegetative cover
R-factor = EI_{30}

ภาคผนวกที่ 26 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากการสูญเสียดินสากล (USLE) ที่ขั้วปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรโมกราฟ ปี พ.ศ. 2535

Plot no.	Landuse	R-factor (mm-hr/h)	LS-fac.	K-fac.	C-fac.	P-fac.	Soil loss (ton/ha/year)
	1992						
1	Mix deciduous forest	735.4	2.6217	0.37	0.587	1	418.742
2	Mix deciduous forest	735.4	2.6217	0.36	0.587	1	407.425
3	Swidden area	735.4	2.6217	0.38	0.031	1	22.712
4	Swidden area	735.4	2.6217	0.33	0.031	1	19.723
5	Soybean	735.4	2.6217	0.36	0.441	1	306.089
6	Soybean	735.4	2.6217	0.37	0.441	1	314.591
7	Upland rice	735.4	2.6217	0.42	0.495	1	400.831
8	Upland rice	735.4	2.6217	0.38	0.495	1	362.656
9	Corn	735.4	2.6217	0.38	0.369	1	270.344
10	Corn	735.4	2.6217	0.32	0.369	1	227.658
11	Teak 3 year	735.4	2.6217	0.38	0.170	1	124.549
12	Teak 3 year	735.4	2.6217	0.37	0.170	1	121.271
13	Bare soil	735.4	2.6217	0.35	1.000	1	674.799
14	Bare soil	735.4	2.6217	0.37	1.000	1	713.359

Remarks : Using K-factor from soil erodibility nomograph
C-factor from runoff plots with vegetative cover
R-factor = EL_{30}

ภาคผนวกที่ 27 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากการสูญเสียดินสากล (USLE) ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงไถพรวน ปี พ.ศ. 2533

Plot no.	Land use	R-factor (m-ton/ha)	LS-fac.	K-fac.	C-fac.	P-fac.	Soil loss (ton/ha/year)
1	1990 Mix deciduous forest	867.5	2.6217	0.01	0.587	1	13.350
2	Mix deciduous forest	867.5	2.6217	0.01	0.587	1	13.350
3	Swidden area	867.5	2.6217	0.01	0.200	1	4.549
4	Swidden area	867.5	2.6217	0.01	0.200	1	4.549
5	Soybean	867.5	2.6217	0.01	0.441	1	10.030
6	Soybean	867.5	2.6217	0.01	0.441	1	10.030
7	Upland rice	867.5	2.6217	0.01	0.495	1	11.258
8	Upland rice	867.5	2.6217	0.01	0.495	1	11.258
9	Corn	867.5	2.6217	0.01	0.369	1	8.392
10	Corn	867.5	2.6217	0.01	0.369	1	8.392
11	Teak 3 year	867.5	2.6217	0.01	0.170	1	3.866
12	Teak 3 year	867.5	2.6217	0.01	0.170	1	3.866

Remarks : Using K-factor from up and down hill continuous fallow onbare soil plots
C-factor from runoff plots with vegetative cover
R-factor = EL₃₀

ภาคผนวกที่ 28 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากการสูญเสียดินสากล (USLE) ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงไถพรวน ปี พ.ศ. 2534

Plot no.	Landuse	R-factor (m-ton/ha)	LS-fac.	K-fac.	C-fac.	P-fac.	Soil loss (ton/ha/year)
1	1991 Mix deciduous forest	946	2.6217	0.01	0.587	1	14.558
2	Mix deciduous forest	946	2.6217	0.01	0.587	1	14.558
3	Swidden area	946	2.6217	0.01	0.031	1	0.769
4	Swidden area	946	2.6217	0.01	0.031	1	0.769
5	Soybean	946	2.6217	0.01	0.441	1	10.937
6	Soybean	946	2.6217	0.01	0.441	1	10.937
7	Upland rice	946	2.6217	0.01	0.495	1	12.277
8	Upland rice	946	2.6217	0.01	0.495	1	12.277
9	Corn	946	2.6217	0.01	0.369	1	9.152
10	Corn	946	2.6217	0.01	0.369	1	9.152
11	Teak 3 year	946	2.6217	0.01	0.170	1	4.216
12	Teak 3 year	946	2.6217	0.01	0.170	1	4.216

Remarks: Using K-factor from up and down hill continuous fallow onbare soil plots
C-factor from runoff plots with vegetative cover
R-factor = EI₃₀

ภาคผนวกที่ 29 ข. การประเมินค่าการสูญเสียดินจากการใช้สมการการสูญเสียดินสากล (USLE) ที่วิจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินจากแปลงไผ่พรวน ปี พ.ศ 2535

Plot no.	Landuse	R-factor (mm-hr/ha)	LS-fac.	K-fac.	C-fac.	P-fac.	Soil loss (ton/ha/year)
1	1992 Mix deciduous forest	735.4	2.6217	0.01	0.587	1	11.317
2	Mix deciduous forest	735.4	2.6217	0.01	0.587	1	11.317
3	Swidden area	735.4	2.6217	0.01	0.031	1	0.598
4	Swidden area	735.4	2.6217	0.01	0.031	1	0.598
5	Soybean	735.4	2.6217	0.01	0.441	1	8.502
6	Soybean	735.4	2.6217	0.01	0.441	1	8.502
7	Upland rice	735.4	2.6217	0.01	0.495	1	9.543
8	Upland rice	735.4	2.6217	0.01	0.495	1	9.543
9	Corn	735.4	2.6217	0.01	0.369	1	7.114
10	Corn	735.4	2.6217	0.01	0.369	1	7.114
11	Teak 3 year	735.4	2.6217	0.01	0.170	1	3.278
12	Teak 3 year	735.4	2.6217	0.01	0.170	1	3.278
13	Bare soil	735.4	2.6217	0.01	1.000	1	19.280
14	Bare soil	735.4	2.6217	0.01	1.000	1	19.280

Remarks : Using K-factor from up and down hill continuous fallow onbare soil plots
C-factor from runoff plots with vegetative cover
R-factor = EL_{30}

ภาคผนวกที่ 30 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างการสูญเสียดินที่ประเมินจาก
แปลงทดลอง กับสมการการสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูก
ชะล้างพังทลายของดินจากแผนภาพโรมกราฟ

$Y = 0.0.12 X - 0.206 , r = 0.722$

REGRESSION ANALYSIS

INDEX	NAME	MEAN	STD. DEV.
1	USEL (x)	307.553	177.967
DEP. VAR.:	runoff plots (y)	3.587	3.039

VAR.	REGRESSION COFFICIENT	STD. ERROR	T(DF=34)	PROB.
USLE	.012	2.0261E-03	6.086	.00000
CONSTANT	-.206			

STD. ERROR OF EST. = 2.133

r SQUARED = .521

r = .722

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	168.572	1	168.572	37.044	6.654E-07
RESIDUAL	154.720	34	4.551		
TOTAL	323.291	35			

ภาคผนวกที่ 31 ข. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างการสูญเสียดินที่ประเมินจาก
แปลงทดลอง กับสมการการสูญเสียดินสากล ที่ใช้ปัจจัยความคงทนต่อการถูก
ชะล้างพังทลายของดินจากแปลงปล่อยดินทิ้งไว้และไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา

$$Y = 0.465 X - 0.275, r = 0.730$$

REGRESSION ANALYSIS

<u>INDEX</u>	<u>NAME</u>	<u>MEAN</u>	<u>STD. DEV.</u>
1	USLE (x)	8.313	4.773
DEP.VAR.:	runoff plots (y)	3.587	3.039

<u>VAR.</u>	<u>REGRESSION COEFFICIENT</u>	<u>STD. ERROR</u>	<u>T (DF=34)</u>	<u>PROB.</u>
USLE	.465	.075	6.223	.00000
CONSTANT	-.275			

STD. ERROR OF EST. = 2.108

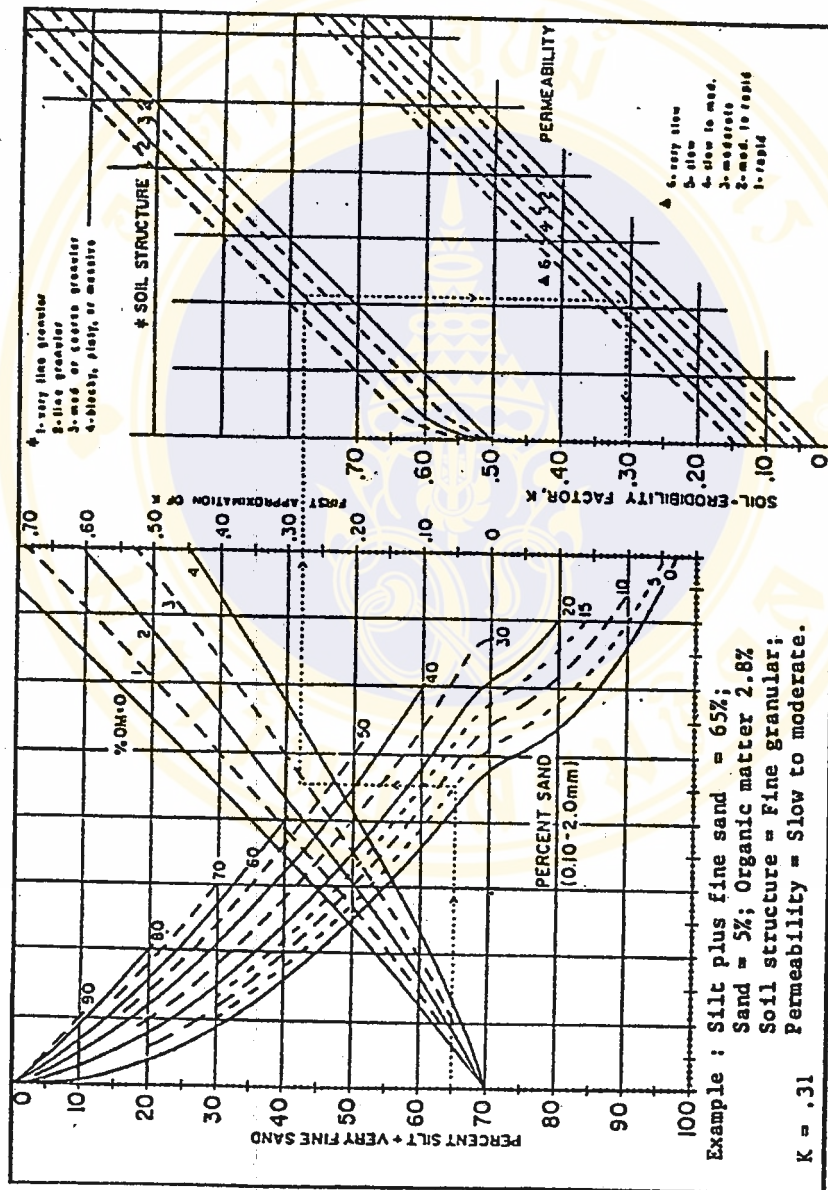
r SQUARED = .533

r = .730

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

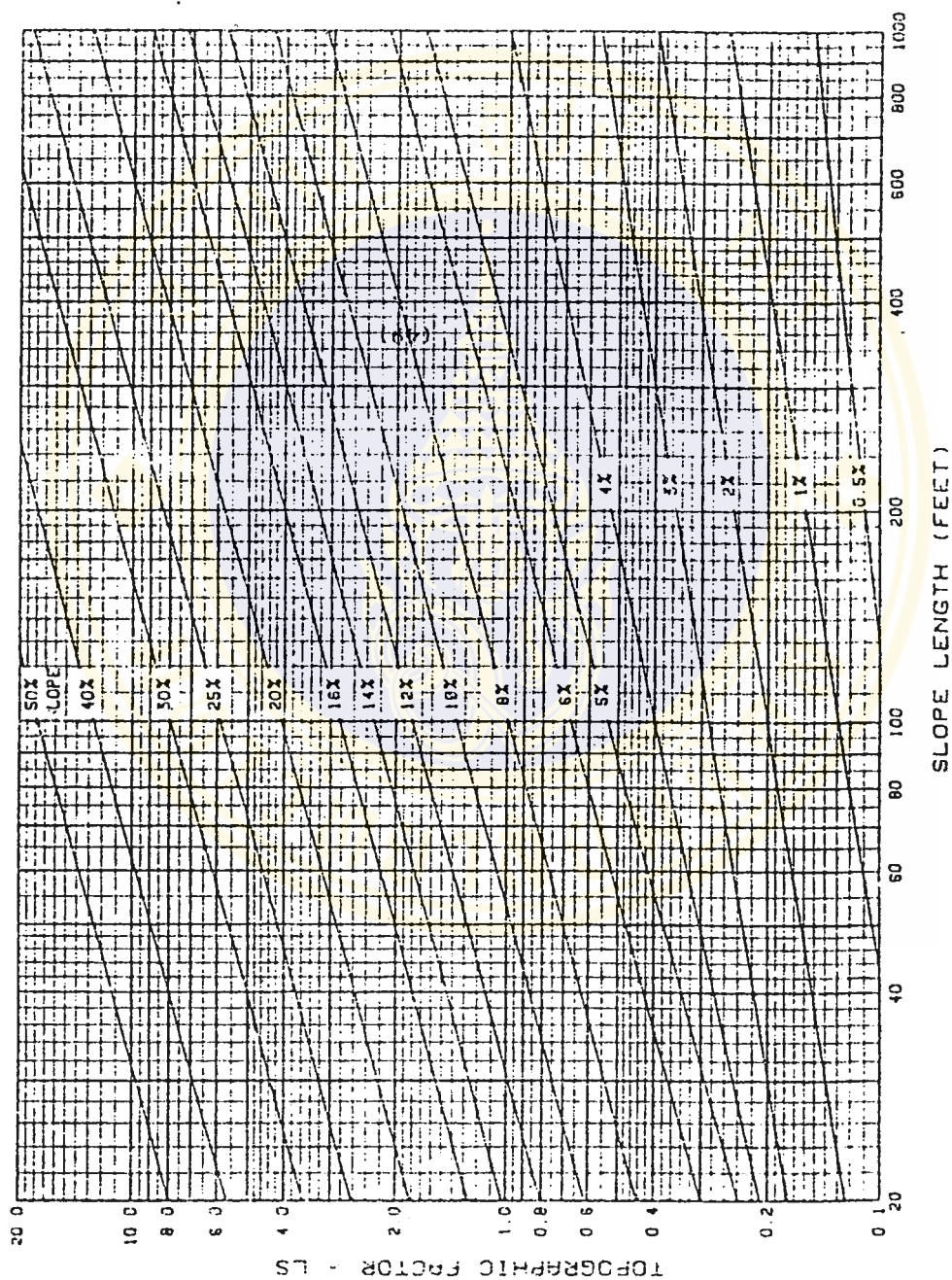
SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F RATIO	PROB.
REGRESSION	172.154	1	172.154	38.728	4.426E-07
RESIDUAL	151.137	34	4.445		
TOTAL	323.291	35			





ภาคผนวกที่ 1 ค. แผนภาพประเมินกราฟ สำหรับหาค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน

ในสมการการสูญเสียดินสากล ของ Wischmeier et al (1971)



ภาคผนวกที่ 2 ค. แผนภาพประเมินค่าปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท

ในการสมการการสูญเสียดิน

27823