



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
.....
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
.....

ปริญญา

.....
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน บริเวณพื้นที่
ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์
โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

Estimation of Soil Erosion and Chemical Content in Sediment on Maize Field at
Namchun Subdistrict, Lomsak District, Phetchabun Province by Using CREAMS
Mathematic Model

นามผู้วิจัย นางสาวรัชฎาธรณ์ จิตอรวรรณ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์วิโรจ อิ่มพิทักษ์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณศิริ กำลิ่ง, D.Agr.)

กรรมการ

(อาจารย์บุญฤทธิ์ พัฒนกก, วท.บ.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิมิตร พุกงาม, วท.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิจารณ์ วิชชุกิจ, Dr.Sc.Agr.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน
บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุน อำเภอห่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์
โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

Estimation of Soil Erosion and Chemical Content in Sediment
on Maize Field at Namchun Subdistrict, Lomsak District, Phetchabun Province
by Using CREAMS Mathematic Model

โดย

นางสาวรัชฎาธรณ์ จิตอรวรรณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชัยชนันท์ จิตอรวรรณ 2553: การประเมินปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดินบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุ่น อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์โรจ อิ่มพิทักษ์, Ph.D. 101 หน้า

การศึกษาการประเมินปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดินบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุ่น อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ในปี พ.ศ. 2547 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS เป็นการนำเอาข้อมูลสารสนเทศต่าง ๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าตัวแปรในแบบจำลองและนำผลการวิเคราะห์ของตัวแปรนั้นสร้างเป็นแผนที่แสดงค่าปัจจัยต่าง ๆ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS มีทั้งหมด 3 แบบจำลองย่อย ซึ่งได้แก่ แบบจำลองย่อยทางอุทก (Q , Qp) แบบจำลองย่อยทางการกร่อนดินและการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (Di , Dr , Tc และ Dep) และแบบจำลองย่อยทางเคมี (SED_N , SED_P และ Y) ใช้วิธีการซ้อนทับข้อมูลแผนที่ของค่าตัวแปรดังกล่าว เพื่อคำนวณปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS และจัดระดับความรุนแรงของการกร่อนดินโดยใช้เกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินและจัดช่วงชั้นของปริมาณสารเคมีในตะกอนดินด้วยวิธีภูมิสถิติ

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ระหว่างพิกัดที่ 725461 ถึง 726448 ตะวันออก และ 1855163 ถึง 1855835 เหนือ มีเนื้อที่ 189.5 ไร่ การศึกษาการประเมินปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน ได้พิจารณาเปรียบเทียบจากค่าการกร่อนดิน ที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน (Ds) ค่าสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (Tc) และค่าสมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดิน (Dep) ผลการคำนวณพบว่าปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น เท่ากับปริมาณการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน ซึ่งจัดว่าเป็นการกร่อนดินในพื้นที่ (on-site erosion) ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งปีจากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS เท่ากับ 33,319 ปอนด์ต่อตารางฟุต ซึ่งคิดเป็น 266,818 ตันต่อไร่ต่อปี พื้นที่ที่จัดว่าอยู่ในระดับรุนแรงมาก (มากกว่า 20 ตัน/ไร่) ในพื้นที่ศึกษาจะครอบคลุมเนื้อที่ร้อยละ 58.99 ของเนื้อที่ศึกษา ส่วนปริมาณสารเคมีในตะกอนดินที่ได้จากการคำนวณพบว่ามีปริมาณค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนดินที่เกิดขึ้น ผลรวมตลอดทั้งปีของปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตะกอนดิน มีค่าเท่ากับ 0.561 และ 1.121 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปริมาณสาร Atrazine ในตะกอนดินมีปริมาณเท่ากับ 0.423 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารต่อกิโลกรัมของดิน ช่วงชั้นที่จัดว่าสูงของพื้นที่ที่มีสารเคมีที่คำนวณได้ครอบคลุมเนื้อที่ร้อยละ 0.22 ของเนื้อที่ศึกษา ผลการศึกษาเห็นได้ว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งเปลี่ยนแปลงได้จากการกระทำของมนุษย์ก่อให้เกิดการกร่อนดินสูง จึงควรตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์ดินและน้ำ

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Tanyathorn Jitorawan 2010: Estimation of Soil Erosion and Chemical Content in Sediment on Maize Field at Namchun Subdistrict, Lomsak District, Phetchabun Province by Using CREAMS Mathematic Model. Master of Science (Agriculture), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Associate Professor Viroj Impitak, Ph.D. 101 pages.

The study on estimation of soil erosion and chemical content in sediment on maize field at Namchun Lomsak District, Phetchabun province by using the mathematic model of CREAMS was conducted in 2004. Geographic Information System was used to analyze the variables. The results of analyzing the variables were used to create the map showing factors of the 3 combinations of CREAMS sub model that were hydrology sub model (Q , Qp), erosion sub model (Di , Dr , Tc and Dep) and chemical sub model (SED_N , SED_P and Y_H). Analyzing the amount of soil erosion and chemical content from CREAMS model by overlaying the created map. Then classifying level of soil erosion according to Land Development Department and classifying range of chemical content by geo-statistic method (natural break).

The study area locates between coordinate 725461 to 726448 East and 1855163 to 1855835 North. It was covered 189.5 rai. The values of detachment from rain drop (Ds), sediment transport capacity (Tc) and deposition capacity (Dep) were used to determine in estimating the amount of soil erosion and chemical content in sediment. The calculated results shown the amount of sediment was equal to the value of detachment from rain drop, that was the on-site erosion. The calculated amount of sediment by using the mathematic model of CREAMS was 33,319 pound/square feet/years as equal as 266,818 ton/rai/years. The level of soil erosion in the study area which was very severe (>20 ton/rai/years), covered 58.99 percent of the study area. The calculated amount of chemical content in sediment was less than the amount of sediment. The annual of Nitrogen and Phosphorous in sediment was 0.561 and 1.121 kilogram/hectare, Atrazine was 0.423 milligram/ kilogram of Atrazine/kilogram of soil. The range of chemical content which was high (F3H4) was covered only 0.22 percent of study area. The results pointed out that land use factor which depend on manageable human activities can cause severe soil erosion and hence soil and water conservation must be recognized.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิโรจ อิ่มพิทักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณศิริ คำลั่ง และอาจารย์บุญรักษ์ พัฒนกก กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิมิตร พุกงาม กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และ รองศาสตราจารย์วิชา นิยม ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำ ตลอดจนตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณแม่คุณพ่อ ตลอดจนพี่ ๆ ของข้าพเจ้าทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจและมอบโอกาสทางการศึกษาที่ดีเยี่ยมแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ในชีวิตของข้าพเจ้าทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจน อบรม สั่งสอน ให้ข้าพเจ้ามีทุกวันนี้ และขอขอบคุณสำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้กรุณาให้ ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณรวมพร มูลจันทร์ ที่กรุณาสอนการใช้โปรแกรมตลอดจนถ่ายทอดความรู้และแบบอย่างที่ดีเยี่ยมตลอดมา

ขอบคุณเพื่อน ๆ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรและสาขาวิชาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม คณะวนศาสตร์ สำหรับกำลังใจที่เสมอมา

ธัญชนก จิตอรวรรณ

เมษายน 2553

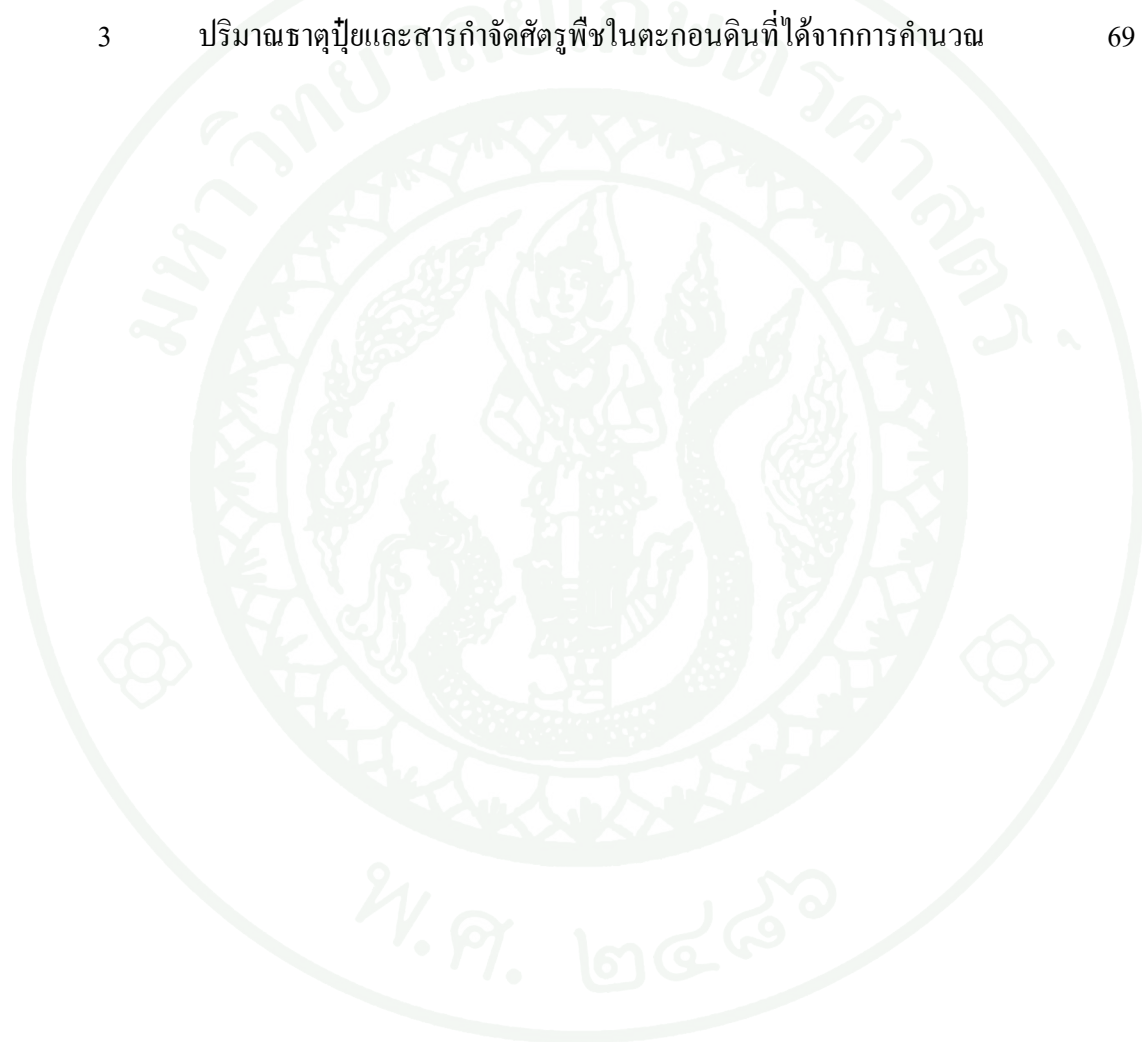
สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	55
สรุปและข้อเสนอแนะ	78
สรุป	78
ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	80
ภาคผนวก	86
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	101

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาปี พ.ศ. 2547	52
2	ปริมาณการใช้สารกำจัดวัชพืชเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2547	53
3	ปริมาณธาตุปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดินที่ได้จากการคำนวณ	69



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การแตกกระจายของเม็ดดินเมื่อฝนตกกระทบกับผิวหน้าดิน	6
2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกร่อนดินโดยน้ำ	9
3 ประเภทของแบบจำลอง ตามการจำแนกของ Baker and Serban	12
4 ความสัมพันธ์และขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS	17
5 พื้นที่ศึกษา ตำบลน้ำซุน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์	26
6 ลักษณะภูมิประเทศบางส่วนของพื้นที่ศึกษา	27
7 ปริมาณน้ำฝนรายปีของพื้นที่ศึกษา	28
8 การกระจายตัวของฝนในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา	29
9 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงสภาพการใช้ที่ดินและลักษณะทางปฐพีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	30
10 ค่า curved number for moisture condition II (CN) ของพื้นที่ศึกษา	34
11 ปริมาณน้ำในดินบริเวณเขตรากพืช (SW) ของพื้นที่ศึกษา	35
12 ปริมาณน้ำสูงสุดที่มีได้ในดิน (UL) ของพื้นที่ศึกษา	36
13 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยและขั้นตอนการคำนวณค่าทางอุทกวิทยา (Q และ Qp) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS	37
14 ค่า sin ของความลาดชันของพื้นที่ศึกษา	40
15 ความยาวความลาดเท (x) ของพื้นที่ศึกษา	41
16 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยและขั้นตอนการคำนวณค่าของแบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน (D_i และ D_r) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS	42
17 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยและขั้นตอนการคำนวณค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (T_c) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS	46
18 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยและขั้นตอนการคำนวณค่าสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน (Dep) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS	48
19 ความสัมพันธ์และขั้นตอนการประเมินการกร่อนดินเป็นค่าปริมาณตะกอน (SED) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยต่าง ๆ และขั้นตอนในการคำนวณค่าในแบบจำลอง ย่อยทางเคมี (Y_N, Y_P, SED_{RH} และ SED_{IF}) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS	54
21	ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวันในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา	55
22	ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Q) ด้วยค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break	56
23	อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด (Qp) ในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา	57
24	อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด (Qp) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break	58
25	การกร่อนดินระหว่างร่องรื้รายวัน (Di) ในรอบปีของพื้นที่ศึกษา	59
26	การกร่อนดินระหว่างร่องรื้ (Di) จากค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break	60
27	การกร่อนดินในร่องรื้รายวัน (Dr) ในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา	61
28	การกร่อนดินในร่องรื้ (Dr) จากค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break	62
29	สมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินรายวัน (Tc) ในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา	63
30	สมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินรายวัน (Tc) จากค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break	64
31	สมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดินรายวัน (Dep) ในรอบปี ของพื้นที่ ศึกษา	65
32	สมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดินรายวัน (Dep) จากค่าผลรวมรายปีด้วย วิธี natural break	66
33	การเปรียบเทียบค่าการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝนกับสมรรถนะ ในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา	67
34	ปริมาณการกร่อนดินในพื้นที่ (on-site erosion) ในรอบปีของพื้นที่ศึกษา	67
35	ธาตุปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชที่คำนวณได้ในตะกอนดินและปริมาณตะกอนดินที่ เกิดขึ้นในรอบปีของพื้นที่ศึกษา	69
36	ค่าปริมาณไนโตรเจนในตะกอนดิน (SED_N) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	ค่าปริมาณไนโตรเจนในตะกอนดิน (SED_p) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break	71
38	ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดิน ($Y_{Atrazine}$) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break	72
39	ระดับความรุนแรงของการกร่อนดินและชั้นความลาดชันของพื้นที่ศึกษา	75
40	ระดับของสารเคมีในตะกอนดินและความลาดชันของพื้นที่ศึกษา	76

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Q	คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (นิ้ว)
Q_p	คือ อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดรายวัน (ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางไมล์)
P	คือ ปริมาณฝนรายวัน (นิ้ว)
s	คือ retention parameter
UL	คือ ปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินเก็บไว้ได้ในบริเวณเขตรากพืช (นิ้ว)
SW	คือ ปริมาณน้ำในดินบริเวณเขตรากพืช (นิ้ว)
s_{mx}	คือ ค่าสูงสุดของ retention parameter
CN	คือ curve number for moisture condition II
DA	คือ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตารางไมล์)
CS	คือ ความชันเฉลี่ยของลำธารสายหลักของพื้นที่ (องศา)
LW	คือ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของพื้นที่ลุ่มน้ำ
Di	คือ ปริมาณการกร่อนดินระหว่างร่องริ้ว (ปอนด์ต่อตารางฟุต)
Dr	คือ ปริมาณการกร่อนดินในร่องริ้ว (ปอนด์ต่อตารางฟุต)
EI	คือ พลังงานจลน์ของฝน (ฟุต-ตันต่อเอเคอร์)
$\sin$	คือ sin ของมุมลาดเท
K	คือ ปัจจัยสภาพการกร่อนได้ของดิน
C	คือ ปัจจัยการจัดการพืช
σ_p	คือ อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดรายวัน (ฟุตต่อวินาที)
Vu	คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางฟุต)
m	คือ ค่ายกกำลังความยาวความลาดเท
x	คือ ความยาวความลาดเท (ฟุต)
Tc	คือ สมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที)
Y	คือ แรงยกตะกอน (นิวตันต่อลูกบาศก์ฟุต)
Y_{cr}	คือ แรงยกตะกอนวิกฤต (นิวตันต่อลูกบาศก์ฟุต)
S_g	คือ ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคเนื้อดินบน (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)
V_*	คือ แรงเหนือนบนผิวหน้าดิน (ตารางฟุตต่อวินาที)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

g	คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (ฟุตต่อวินาที ²)
d	คือ ขนาดอนุภาคตะกอน (นิ้ว)
R	คือ รัศมีชลศาสตร์ (นิ้วต่อตารางฟุต ⁻¹)
s	คือ ความลาดชันของพื้นที่ (องศา)
η	คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่
D^*	คือ dimensionless particle diameter
Dep	คือ สมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน (ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที)
α	คือ สัมประสิทธิ์การตกทับถมของตะกอน
Ds	คือ ปริมาณการเกิดการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน (ปอนด์ต่อตารางฟุต)
SED_x	คือ ปริมาณสารเคมีจากปุ๋ยในตะกอนดิน (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)
$SOIL_x$	คือ ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)
SED	คือ ปริมาณตะกอนที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองของการกร่อนดิน และการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)
A_x	คือ enrichment coefficient
B_x	คือ enrichment exponent
Y	คือ ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสารต่อกิโลกรัมของดิน)
Ap	คือ available chemical in sediment
Ap_H	คือ available herbicide in sediment
Ap_{IF}	คือ available insecticide/fungicide in sediment
R	คือ ปริมาณการใช้สารกำจัดศัตรูพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสารต่อกิโลกรัมของดิน)
BD	คือ ความหนาแน่นของเนื้อดินบน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

**การประเมินปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน
บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุน อำเภอหล่มสัก
จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS**

**Estimation of Soil Erosion and Chemical Content in Sediment
on Maize Field at Namchun Subdistrict, Lomsak District,
Phetchabun Province by Using CREAMS Mathematic Model**

คำนำ

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการใด ๆ จะทำให้เกิดความเข้าใจกระบวนการนั้น ๆ โดยการใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจากการกำหนดสาเหตุและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนั้น จะช่วยประเมินผลของคำตอบที่ต้องการทราบได้ การบูรณาการข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่เข้ากับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะทำให้การจำลองกระบวนการที่เกิดขึ้นมีประโยชน์ในการจัดการทรัพยากรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในพื้นที่มากขึ้น

สมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการกร่อนดิน ได้พัฒนาจากสมการกระบวนการต่อเนื่องของการเคลื่อนย้ายตะกอน (นิพนธ์, 2545) ปัจจัยพื้นฐาน ที่มีผลต่อกระบวนการกร่อนดินโดยน้ำ ประกอบด้วย ลมฟ้าอากาศ สภาพภูมิประเทศ ดิน พืชพรรณ และ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ของมนุษย์ ปัจจัยเหล่านี้ได้ถูกกำหนดในกระบวนการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การบูรณาการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการกร่อนดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการกร่อนดิน สำหรับ เป็นแนวทางในการจัดการทรัพยากรในพื้นที่เพื่อลดความเสี่ยงซึ่งอาจเกิดขึ้นจากความเสียหายใน การกร่อนดินในพื้นที่หนึ่ง ๆ ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์ CREAMS (Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems) เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาบนพื้นฐานทางฟิสิกส์ของกระบวนการกร่อนดิน (Knisel, 1980) เพื่อประเมินผล กระทบของมลพิษจากการใช้สารเคมี ในการจัดการดินและพืชในการเพิ่มผลผลิต การศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ร่วมกับแบบจำลองดังกล่าว เพื่อประเมินปริมาณการกร่อนดินและสารเคมีในตะกอนดิน

บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปัจจัยเสี่ยง ต่อการเกิดความเสียหาย จากการกร่อนดิน ดังจะเห็นได้จาก บริเวณนี้มีปริมาณฝนตก

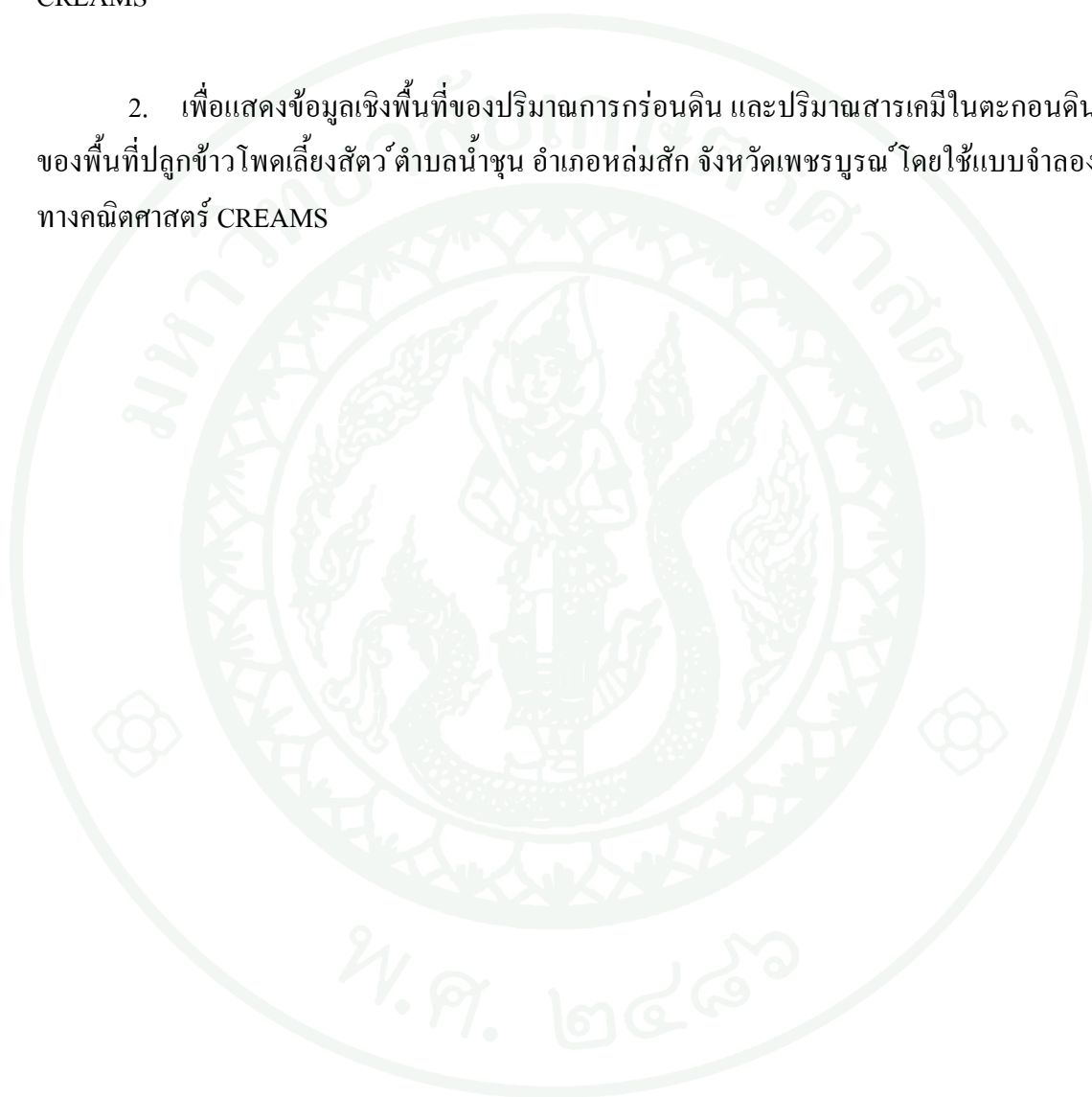
หนักในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง อันเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดแผ่นดินถล่มและการกร่อนดิน ประกอบกับพื้นที่ มีลักษณะตอนบนเป็นภูเขาสูง ต่อเนื่องกับเชิงเขาสูง ส่วนด้านล่างเป็นบริเวณพื้นที่ตะกอนน้ำพารูปพัด (alluvial fan) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) และพื้นที่นี้เคยได้รับความเสียหาย จากอุทกภัยแบบฉับพลันจากพายุอุซางิ ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2544 สาเหตุหลักของภัยธรรมชาตินี้ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพที่ดิน โดยการบุกรุกสภาพป่าไม้เชิงเขา เพื่อใช้พื้นที่ในการทำ การเกษตรเพื่อการยังชีพ การกระทำดังกล่าวจึงก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรง

ดังนั้นการศึกษานี้ เพื่อเป็นการประเมินการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน จากข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับเป็นแนวทางในการจัดการ การใช้ทรัพยากร ในพื้นที่และลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการกร่อนดินอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินปริมาณการกร่อนดิน และปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

2. เพื่อแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณการกร่อนดิน และปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS



การตรวจเอกสาร

1. การชะล้างพังทลายของดิน

1.1 นิยามและความหมาย

Satterlund (1972) และ Hudson (1971) กล่าวว่า การกร่อนดินเป็น กระบวนการทำลาย และเคลื่อนย้ายวัตถุที่เป็นดิน กรวด หิน และทรายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งด้วยการกระทำของน้ำ ลม และแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งทำให้วัตถุธาตุหรือสสารแตกแยกออกจากกันแล้วเคลื่อนย้าย อนุภาคของดินหรือวัตถุธาตุดังกล่าวไปตะกอนทับถมยังอีกที่หนึ่ง

สมเจตน์ (2526) กล่าวว่า การกร่อนดินเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายวัตถุที่เป็นดินและหิน ด้วยแรงกระทำของพลังงานต่าง ๆ เช่นน้ำ ลม แรงดึงดูดของโลก สิ่งมีชีวิตเป็นต้น หรือตัวการอื่น ๆ ทางธรณีวิทยา เช่น แผ่นดินไหว รอยเลื่อน รอยโค้งงอของหิน ภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น และผลของการชะล้างพังทลายนี้จะมีการเคลื่อนย้ายวัตถุที่เป็นดินหรือหินไปทับถมยังพื้นที่ที่ต่ำกว่า เช่น การตกตะกอนของดินปากแม่น้ำ เป็นต้น แต่ก็อาจมีการตกตะกอนทับถมในพื้นที่ที่สูงกว่าก็ได้เช่น การพัดพาทรายในที่ราบไปทับถมในพื้นที่ที่อยู่สูงกว่าด้วยแรงของลมและคลื่น

เกษม (2526) กล่าวว่า การกร่อนดินหมายถึงการขุดทำลายพื้นผิวดินและเคลื่อนย้าย ดิน กรวด หิน และทรายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งด้วยน้ำ ลม และแรงดึงดูดของโลก สำหรับ ประเทศแถบอบอุ่น และแถบหนาวนั้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดการพังทลายนอกเหนือไปจากน้ำ ลมแล้ว ยังอาจเกิดจากธารน้ำแข็งอีกด้วย การกร่อนดินนั้นสามารถแบ่งตามสาเหตุการเกิดเป็น 2 ประเภท ใหญ่ๆ คือ normal erosion หรือ geologic erosion เป็นการกร่อนดินโดยธรรมชาติเช่น น้ำ ลม แรงดึงดูดของโลก เป็นต้น อีกประเภทหนึ่งคือ accelerated erosion เป็นการกร่อนดินอันเนื่องมาจาก กิจกรรมของมนุษย์เช่น การก่อสร้างถนน การระเบิดภูเขา เป็นต้น

Kirkby *et al.* (1980) สรุปว่า การกร่อนดินคือ การเคลื่อนที่ของวัตถุไปบนพื้นผิวโดย น้ำและลม

นิพนธ์ (2545) กล่าวถึง การตกทับถมของอนุภาคดิน สาร วัตถุต่าง ๆ ที่ถูกกร่อนมา ตัวสารหรือ วัตถุธาตุที่ถูกเคลื่อนย้ายมานั้นเรียกว่า ตะกอน (sediment) สารหรือวัตถุต่าง ๆ ที่ถูกเคลื่อนย้ายดังกล่าวนี้อาจเป็นอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร ที่มีอยู่ตามธรรมชาติซึ่งมีขนาดตั้งแต่เป็น คอลลอยด์จนถึงหินขนาดใหญ่ก็ได้

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) กล่าวว่า กระบวนการแตกกระจาย (detachment) และการพัดพาไป (transportation) ของดินโดยตัวการกัดกร่อน (erosive agents) ซึ่งได้แก่น้ำ และ ลม ถ้าหากน้ำเป็นตัวการก็เรียกว่าการกร่อนดินโดยน้ำ (water erosion) ซึ่งเป็นชนิดที่สำคัญในประเทศไทย และโดยลม (wind erosion) เมื่อมีลมเป็นตัวการ

Willrich and Smith (1970) แยกความหมายของตะกอนและการกร่อนของดินว่าไม่ใช่สิ่งเดียวกัน แต่มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก และใช้แทนกันได้ตามโอกาสเป็นครั้งคราวทั้งนี้เพราะ ตะกอนหมายถึงปริมาณวัตถุของดินที่ถูกพัดพาไปสู่ลำน้ำ แต่การชะล้างพังทลายของดินหมายถึง การกัดเซาะและพัดพาดินจากจุดใดจุดหนึ่ง แต่ไม่รวมถึงลงไปสู่ลำน้ำ ดังนั้นการชะล้างพังทลายของ ดินคือสาเหตุเบื้องต้น ที่ทำให้เกิดผลของการพัดพาตะกอน และการเกิดตะกอน

1.2 กระบวนการเกิดกร่อนดินโดยน้ำ

เกษม (2516) และคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) ได้สรุปถึงกระบวนการเกิดการ กร่อนดินแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ ดังนี้

1.2.1 กระบวนการแตกกระจายของเม็ดดิน (detachment)

เป็นกระบวนการแรกที่ทำให้เกิดการกร่อนดินขึ้น โดยเกิดจากแหล่งพลังงาน ตามธรรมชาติและพลังงานที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต พลังงานเหล่านี้จะกระทำต่อดินทำให้หน้าดินมีการ เปลี่ยนแปลงคือ อนุภาคของดินที่เกาะกันจะเกิดการแตกกระจาย ทำให้หน้าดินง่ายต่อการกร่อน ดัง แสดงการแตกกระจายของเม็ดดินในภาพที่ 1 เมื่อเม็ดฝนตกกระทบเม็ดดินบนพื้นที่ลาดชัน เม็ดดิน จะแตกกระจายและกระเด็นลงตามพื้นที่ลาดชันมากกว่ากระเด็นขึ้น จึงเกิดการเคลื่อนย้ายเม็ดดินลง มาตามพื้นที่ลาดชันได้

1.2.2 กระบวนการพัดพาหิน (transportation)

กระบวนการนี้เกิดขึ้นต่อมา จากกระบวนการแตกกระจายของหิน ซึ่งอาจเกิดต่อเนื่องกันเลยหรือเกิดหลังจากมีกระบวนการแตกกระจายนานแล้วก็ได้ปัจจัยตามธรรมชาติที่ทำให้เกิดกระบวนการพัดพาหินที่สำคัญคือ น้ำไหลบ่าหน้าดิน (surface runoff) หรือน้ำในลำธาร (streamflow) โดยน้ำเป็นตัวพัดพาเอาตะกอนไหลลงสู่พื้นที่ที่ต่ำกว่าจะมากน้อยเพียงไรขึ้นกับความรุนแรงของการไหลของน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับความลาดชัน ความยาวความลาดชัน และอัตราการไหลของน้ำ รวมทั้งขนาดของตะกอนเองด้วย โดยตะกอนที่มีขนาดเล็กจะถูกพัดพาไปได้ไกลกว่าตะกอนที่มีขนาดใหญ่

1.2.3 กระบวนการตกตะกอนทับถม (deposition)

กระบวนการนี้เป็นขั้นสุดท้ายของ กระบวนการกร่อนดิน กระบวนการตกตะกอนทับถมนี้เกิดจากตัวการในการพัดพาไม่มีพลังงานพอที่จะพัดพาประกอบกับแรงดึงดูดของโลก ทำให้เกิดการตกตะกอนลงสู่เบื้องล่าง เช่น บริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ เป็นต้น



ภาพที่ 1 การแตกกระจายของเม็ดดินเมื่อฝนตกกระทบกับผิวหน้าดิน

ที่มา: Faculty of Geology Siera College (2005)

1.3 การกร่อนดิน และกระบวนการตตะคอนบนพื้นที่ลุ่มน้ำ

Willrich and Smith (1970) ได้แยกความหมายของตะคอนและการกร่อนดิน ว่าไม่ใช่สิ่งเดียวกันแต่มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะตะคอนหมายถึง สารหรือวัตถุต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นอินทรีย์สาร อนินทรีย์สารที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่ถูกพัดพาลงสู่ลำน้ำ (นิพนธ์, 2545) ส่วนการกร่อนดินนั้นเป็นการกัดเซาะและพัดพาดินจากจุดหนึ่งแต่ไม่รวมไปถึงลงสู่ลำน้ำ ดังนั้นการกร่อนดินคือสาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดตะคอนในลำน้ำ (วัฒนชัย, 2528)

หลังจากเกิดการกร่อนดินแล้ว ตะคอนจะถูกพัดพาจากแหล่งกำเนิดบนที่สูงลงมาสู่แม่น้ำลำคลอง และในที่สุดจะถูกพัดพาลงทะเล หรือมหาสมุทร แต่ไม่ได้หมายถึงตะคอนทั้งหมดที่เกิดขึ้น เพราะตะคอนบางส่วนจะมีการตตะคอนในอ่างเก็บน้ำ หรือในลำน้ำตามระยะทางที่ถูกพัดพามาซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า การตตะคอน (American Society of Civil Engineers, 1975) ตะคอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ตะคอนแขวนลอย (suspended sediment) ซึ่งเป็นตะคอนขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยถูกพยุงด้วยความปั่นป่วนของน้ำ และตกสู่ท้องลำธารได้ยาก แม้ว่ากระแสน้ำไหลช้าก็ตามตะคอนท้องน้ำ (bed load) เป็นตะคอนที่เคลื่อนที่ด้วยการกลิ้งและเลื่อนไหลไปตามท้องลำธาร

1.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการกร่อนดินโดยน้ำ

ปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อการกร่อนดินโดยน้ำสามารถสรุปตาม Baver (1967) เป็นลักษณะของฟังก์ชัน ดังนี้

$$\text{Erosion} = f(C, T, V, S, H)$$

เมื่อ	C	คือ ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ
	T	คือ ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศ
	V	คือ ปัจจัยเกี่ยวกับพืชพรรณ
	S	คือ ปัจจัยเกี่ยวกับดิน
	H	คือ ปัจจัยอันเกิดจากมนุษย์

1.4.1 ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ

นิพนธ์ (2545) กล่าวว่าฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกร่อนดิน เพราะแรงตกกระทบของเม็ดฝนนับเป็นพลังงานอันแรกที่ทำให้ดิน เกิดการแตกแยกออกจากกันและแรงของฝนยังเป็นตัวการต่อเนื่อง ที่ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินและการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินอีกด้วย Wischmeier and Smith (1965) พบว่า ปัจจัยของลักษณะฝนที่เกี่ยวข้องกับดินมากที่สุดคือ ค่าผลคูณของพลังงานของฝนที่ตกกับอัตราความหนักเบา 30 นาทีสูงสุดของฝนที่ตกในครั้งนั้น ๆ เรียกว่า rainfall erosion index (EI₃₀) นอกจากนี้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนมีผลต่อการปรับตัวของโครงสร้างดินทำให้การจับตัวกันของอนุภาคดินมีแรงยึดน้อยลงด้วย

1.4.2 ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศ

Meyer and Monk (1975) พบว่า ความลาดเทของพื้นที่เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในกระบวนการกร่อนดิน อย่างไรก็ตามความลาดเท มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อย เมื่อฝนตกแผ้วเบาจนกระทั่งน้ำไหลบ่าหน้าดินมีอัตราคงที่แต่จะมีอิทธิพลมากถ้าฝนตกช่วงสั้น ๆ แต่รุนแรง ส่วนอิทธิพลของความยาวความลาดเทพบว่าเมื่อความยาวความลาดเทมากขึ้น ปริมาณของดินที่ถูกกร่อนก็มากขึ้นและเห็นการกร่อนดินอย่างชัดเจน ตรงจุดที่น้ำไหลบ่าหน้าดิน เริ่มมีพลังงานกัดเซาะสูงกว่าแรงต้านทานของ อนุภาคดิน รูปร่างความลาดเทโค้งขึ้น (convex) นั้นอัตราความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน จะเพิ่มได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งรูปร่างความลาดเทแบบนี้ทำให้เกิดการกร่อนดินมากกว่าแบบอื่น

1.4.3 ปัจจัยเกี่ยวกับดิน

ความยากง่ายของการกร่อนดิน จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคดินแต่ความยากง่ายของการเคลื่อนย้าย ซึ่งขึ้นกับชนิดอนุภาคดินคือดินเหนียวจะถูกเคลื่อนย้ายได้ง่ายกว่าดินทราย (Grissinger, 1996; Swansons and Deddrick, 1997) อัตราการซึมผ่านผิวดินของน้ำแตกต่างกันไปตามสมบัติทางกายภาพของดินดิน มีโครงสร้างจับกันแบบหลวม ๆ และรูปร่างเม็ดดินค่อนข้างกลม มักมีความ-สามารถต้านทานต่ออำนาจการกร่อนดินได้สูงและการซึมผ่านผิวดินของน้ำจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ในดินที่ค่อนข้างแข็ง และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อดินเริ่มเปื่อย (Buol *et al.*, 2003) อินทรีย์วัตถุในดินเป็นตัวเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และมักเป็นตัวเชื่อมปรับปรุงดินให้มีโครงสร้างดียิ่งขึ้น (วิโรจ, 2531; คณะกรรมาธิการศึกษาปัญหา, 2548)

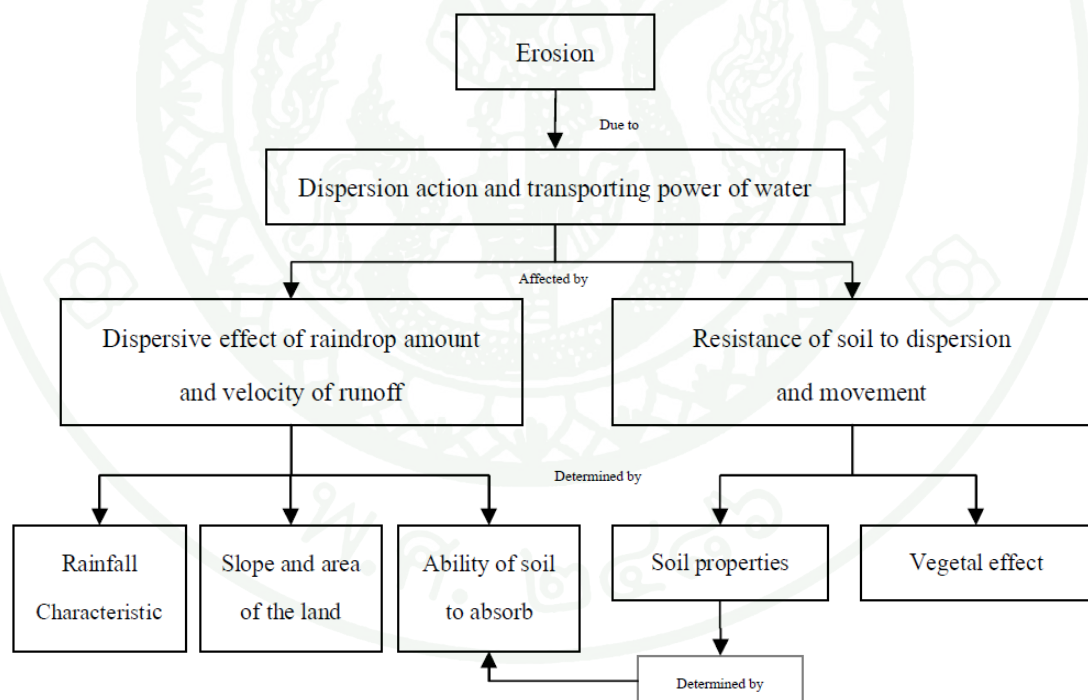
1.4.4 ปัจจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ชนิดของพืชคลุมดินและอัตราการปกคลุมผิวหน้าดิน มีผลต่อการกร่อนดิน เนื่องจากเป็นตัวป้องกันการตกกระทบของฝนและลดพลังงานตกกระทบทำให้อัตราและปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินลดลงอีกทั้งรากพืชยังเป็นตัวช่วยยึดอนุภาคดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุและส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน อีกด้วย

1.4.5 ปัจจัยอันเกิดจากมนุษย์

มนุษย์เป็นปัจจัยสำคัญซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและเร่งการเกิดปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้นได้

ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้น ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกร่อนดินโดยน้ำ

ที่มา: Baver (1967)

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.1 นิยามของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลอง (model) นั้นได้เริ่มใช้กันมาตั้งแต่ปี 1970 ในความหมายที่แทนคำว่า ทฤษฎี (theory) หรือสูตร (formula) และบอกเป็นนัยถึงความพยายามในการจำลองภาพหรือเหตุการณ์ (simulate) หรือกระบวนการธรรมชาติที่เกิดขึ้น โดยทำให้เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นง่าย ๆ ที่สามารถเข้าใจและเลียนแบบพฤติกรรมนั้นได้ปัจจุบัน กระบวนการ/พฤติกรรมธรรมชาติต่าง ๆ ได้รับการเลียนแบบ โดยใช้หลักการทางฟิสิกส์ (physical based models) เพื่อเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจธรรมชาติและปฏิสัมพันธ์ (interaction) ของกระบวนการ ด้านสิ่งแวดล้อม และการพยากรณ์ ผลที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้นภายในระบบที่กำหนดขึ้น

2.2 ชนิดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตามระบบการจำแนกของ Baker and Serban (1990) ที่อ้างโดยนิพนธ์ (2545) สามารถจำแนกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

2.2.1 แบบจำลองที่เลียนแบบเหตุการณ์ (stochastic model) เป็นแบบจำลอง ที่เกิดขึ้นบนสมมติฐานที่ว่า ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ต่าง ๆ นั้น มีความไม่แน่นอน แบบจำลองจะมีโครงสร้างเลียนแบบเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนนี้

2.2.2 แบบจำลองที่ให้คำตอบตายตัว (deterministic model) เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นบนสมมติฐานว่า เหตุการณ์ ช่วงหนึ่ง ๆ หรือชุดหนึ่ง ๆ นั้นสามารถกำหนดได้แน่นอนลงไปว่าเกิดได้อย่างไรและให้ผลออกมาแน่นอนตายตัว ซึ่งแบบจำลองที่ให้คำตอบตายตัวนี้สามารถแบ่งออกได้อีก 3 ชนิดคือ

1) แบบจำลองเอมไพริคัล (empirical model) เป็นแบบจำลอง ที่หาคำตอบ โดยไม่สนใจตายตัวว่าตัว “กำหนด (regulator)” ที่ทำให้เกิดผลนั้น มีกระบวนการทำให้เกิดผลเช่นไร จึงเป็นการหาผลลัพธ์โดยการใส่ปัจจัยเข้า (input data) เช่น ฝน แล้วเอาผลที่ตรวจวัดได้จริง (observed output) ไปเป็นตัวหาค่าคงที่ (empirical constant) ว่ามีค่าเท่าไร ค่าคงที่ที่ได้จึงเป็นการหาค่า จากการทดลองจริง โดยยังไม่ทราบว่าปัจจัยหรือกลไกอะไรบ้างที่เกิดขึ้นในกระบวนการธรรมชาติเหล่านั้น (Morgan, 1986)

2) แบบจำลองมโนทัศน์ (conceptual model) เป็นแบบจำลองที่มีแนวความคิด ในการพัฒนาโดยอาศัยความเป็นไปในทุกขั้นตอนของกลไกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการย่อย ๆ และพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย ๆ นั้นไปพร้อม ๆ กันอย่างเป็นระเบียบในการ เชื่อมโยงแบบจำลองย่อย ให้มีลำดับขั้นตอนการคำนวณเลียนแบบธรรมชาติให้มากที่สุด เท่าที่แต่ละคนจะมีมโนทัศน์ในองค์รวมของระบบธรรมชาตินั้น ๆ

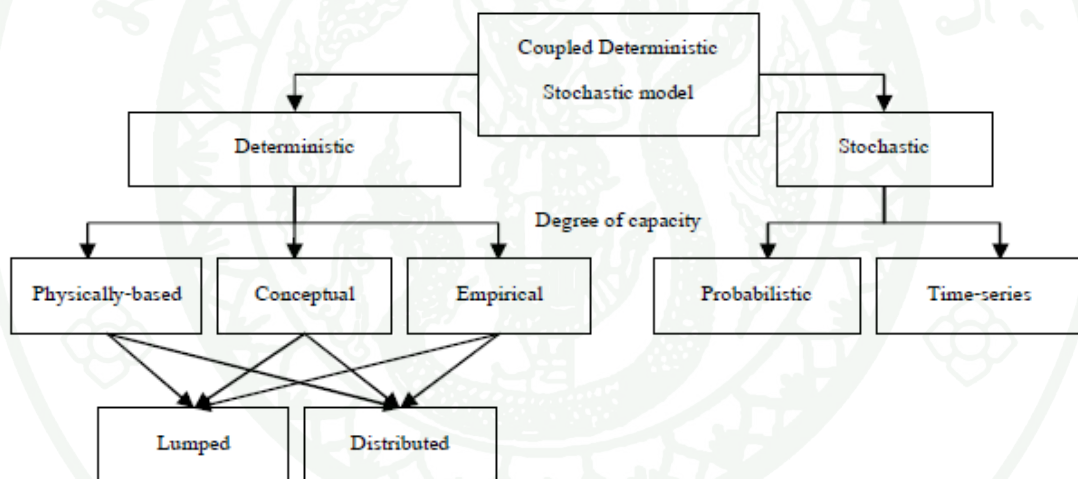
3) แบบจำลองบนฐานฟิสิกส์ (physical-based model) เป็นแบบจำลองที่พัฒนา บนพื้นฐานของกฎทางฟิสิกส์โดยพยายามใช้กฎเลียนแบบกลไก (mechanic) ของกระบวนการ (process) ย่อย ๆ ให้ละเอียดมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ผลออกมาได้ต้องติดค่าคงที่ (empirical constant) ไว้ในแบบจำลองบนฐานฟิสิกส์อยู่มาก (Morgan, 1986) แบบจำลองที่ให้คำตอบตายตัวยังสามารถแบ่งแยกออกได้อีกตามรายละเอียด การใช้พื้นที่ดังนี้

(1) Lumped model เป็นการเหมาเอาพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งลุ่ม (หรือพื้นที่ขนาดใหญ่) เป็นหน่วยพารามิเตอร์ในการจำลองแบบ

(2) Distribute model เป็นการแบ่งพื้นที่ออกเป็นหน่วยย่อยหลาย ๆ หน่วย พื้นที่เพื่อให้แต่ละพื้นที่มีลักษณะเดียวกัน (homogeneity) โดยให้แต่ละหน่วยมีอัตราหรือ พฤติกรรมของแต่ละกระบวนการแตกต่างกัน ไปตามลักษณะชีวภาพและกายภาพของแต่ละหน่วย พื้นที่แล้วเชื่อมโยงผลที่ได้จากแต่ละหน่วยเข้าหากันอย่างมีระบบซึ่งถือได้ว่าเป็นการเลียนแบบ ธรรมชาติที่ค่อนข้างถูกต้องมากขึ้น ดีกว่าแบบแรก เพราะสามารถทราบหรือกำหนดได้ว่า แต่ละพื้นที่นั้นใช้ทำ อะไรและมีลักษณะทาง ชีวภาพอย่างไรและผลที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่เป็นอย่างไร

ด้วยเหตุที่แบบจำลองมอนโธสนั้น สร้างให้สมบูรณ์ได้ยากจึงหันมาสนใจ ใน การพัฒนาแบบจำลอง บนฐานฟิสิกส์กันมากขึ้น ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่า จะเป็นประโยชน์มากกว่า การใช้สูตรเอ็มไพริคอล ขณะเดียวกันยังสามารถเข้าใจเจาะลึก เข้าไปในกระบวนการการเกิด และ ค่าใช้ตัวเลข (ที่เป็นค่าคงที่) บนพื้นฐานสมบัติทางกายภาพใน โครงสร้างของระบบที่ตรวจวัดได้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของดินและ พยากรณ์ ผลผลิตตะกอนที่ให้แนวคิดเชิง stochastic นั้นมีน้อยมาก แม้ว่าทุกฝ่ายยอมรับว่าเป็นความคิดที่ดี ด้วยเหตุที่ว่าแม้จะพยายามใส่ปัจจัยต่าง ๆ เข้าไปในแบบจำลองให้เลียนแบบ กระบวนการทาง ธรรมชาติของการเกิดกระบวนการการกร่อนดินและการพัดพาตะกอนอย่างดีที่สุด ก็ยังต้องติดขัด อยู่ที่การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การตกของฝนนั้น หากความถูกต้องได้ยาก ด้วยเหตุนี้เอง นักพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จึงหันมาใช้แบบจำลอง deterministic กันมากขึ้น ซึ่ง ชนิดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ประเภทของแบบจำลอง ตามการจำแนกของ Baker and Serban

ที่มา: นิพนธ์ (2545)

2.3 แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินการกร่อนดิน

พัฒนาการในด้านการสร้างแบบจำลอง เพื่อพยากรณ์ปริมาณและอัตราการกร่อนดิน เฉพาะพื้นที่และทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว และครอบคลุมหลายลักษณะยิ่งขึ้น ทั้งการ คาดหมายปริมาณรายปีและรายครั้งที่มิฝนตก มีทั้งแบบจำลองที่ได้ถูกพัฒนาแล้ว เกิดขึ้นมากมาย แต่ละแบบจำลอง ก็มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการใช้แตกต่างกันไปทั้งยัง ขึ้นกับสภาพภูมิ ประเทศของพื้นที่นั้น ๆ ด้วย ดังจะนำเสนอจุดเด่นของแต่ละแบบจำลองตามนิพนธ์ (2545) ดังนี้

2.3.1 Universal Soil Loss Equation (USLE)

เป็นสมการ empirical plot scale ที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้ทั่วโลก และเป็นแบบจำลองพื้นฐานของ แบบจำลองอื่น ๆ อีกหลายแบบจำลอง ได้รับการพัฒนาโดย Wischmeier and Smith (1965) การนำแบบจำลองนี้ไปใช้คาดคะเนการกร่อนดิน เพื่อเป็นแนวทาง ในการกำหนดมาตรการการอนุรักษ์ดิน โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาดังนี้ดัชนีความสามารถของ ฝนที่ทำให้เกิดการกัดชะ (R) ดัชนีความคงทนของดินต่อการถูกกัดชะด้วยพลังงานของฝน (K) ความยาวความลาดเท (L) ความชัน (S) การจัดการพืช (C) การอนุรักษ์ดิน (P)

แบบจำลองนี้สามารถประเมินได้ดีในลักษณะการกร่อนดินแบบร่องริ้ว และเป็นสมการที่พิจารณากระบวนการ เคลื่อนย้ายของตะกอน โดยไม่พิจารณาในส่วนกระบวนการ ตกทับถมของตะกอน (ธวัช, 2529) ความถูกต้องของการคำนวณการสูญเสียดินเฉลี่ยบนพื้นที่ขนาด ใหญ่ยังขึ้นกับการเลือกค่าของปัจจัยต้องมีสภาพทางกายภาพและการจัดการว่าถูกต้องมากน้อย เพียงใด บนดินที่มีการประเมินค่าปัจจัยต่าง ๆ สำหรับบริเวณนั้น (สมเจตน์, 2526)

ถึงแม้ว่าแบบจำลองนี้จะเป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับไปทั่วโลก แต่ยังมี ข้อจำกัดบางประการคือ (1) ผลของการเกิดการกร่อนดินขึ้นกับปัจจัยที่นำมาใช้ (2) ปริมาณการ กร่อนดินไม่มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณน้ำฝน (3) จำกัดความลาดชันตั้งแต่ 0 – 7 องศาและดินมี ปริมาณแร่ดินเหนียวประเภท montmorillonite ต่ำ

2.3.2 Calibrated Simulation of Transported Erosion (CALSITE)

เป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Overseas Development Unit (ODU) ซึ่งเป็นหน่วยงานของสถาบันวิจัย HR Wallingford Ltd. ในประเทศอังกฤษ โดย Bradbury และคณะ ในปี 1993 แบบจำลอง CALSITE เป็นแบบจำลองประเภท distributed-conceptual-deterministic model ซึ่งหมายความว่า เป็นแบบจำลองที่ให้คำตอบตายตัว มีการกำหนดให้เป็นไปตามขั้นตอน ของกระบวนการและเขียนออกมาในรูปของแบบจำลองคณิตศาสตร์ในลักษณะแบบจำลองมโนทัศน์ ซึ่งภายในมีกระบวนการย่อย ๆ จะมีการเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน แบบจำลองนี้ใช้ประเมิน ปริมาณการกร่อนดินบนพื้นที่ (onsite sediment) และประเมินตะกอนที่เคลื่อนตัวลงสู่ลำน้ำ หรือผลผลิตตะกอน (sediment yield) ของลุ่มน้ำหนึ่ง ๆ รวมทั้งแสดงข้อมูล การแจกกระจายของแหล่งที่มาตะกอนที่ตรวจวัดได้ การพัฒนาให้แบบจำลองนี้สามารถประเมินอัตราการกร่อนดิน และผลผลิตตะกอนในภูมิภาคเขตร้อน เช่น การนำมาทดลองในประเทศมาเลเซีย และประเทศไทย

2.3.3 Morgan-Morgan and Finney (MMF)

แบบจำลองนี้ใช้แนวความคิดว่าการกร่อนดินเป็นผลมาจากพลังกัดชะของน้ำฝนและ น้ำ ไหลบ่าหน้าดิน และไม่นำเอากระบวนการเคลื่อนย้ายตะกอนด้วยน้ำฝน และกระบวนการกัดชะ ด้วยน้ำไหลบ่าหน้าดินเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นการหาค่าอัตราที่ดินที่ถูกกร่อน จึงประกอบไปด้วย สองแบบจำลองใหญ่ๆ คือ แบบจำลองในส่วนค่าอัตราการชะโดยฝนและแบบจำลองในส่วนที่กำหนดพลังเคลื่อนย้ายตะกอนเท่านั้น (Morgan *et al.*, 1984)

Teklehamanot (2003) กล่าวว่าแบบจำลอง MMF ได้ถูกพัฒนาเพื่อทำนายปริมาณ การกร่อนดินรายปีจากพื้นที่ภูเขา ตัวแบบจำลองได้พยายามที่จะรวบรวมปัจจัย ที่ก่อให้เกิดกระบวนการกร่อนดิน โดยยังคงใช้แบบจำลอง USLE เป็นฐานในการพัฒนา โดยนำเอาผลการศึกษาของนักสัณฐานธรณีวิทยา (geomorphologies) มารวมกับวิธีการของวิศวกรเกษตร โดยแบ่งแบบจำลอง แสดงกระบวนการด้านอุทกวิทยาส่วนหนึ่ง และกระบวนการการเกิดการเคลื่อนย้ายตะกอนอีกส่วนหนึ่งเพื่อให้ได้ค่าประเมินการกร่อนดิน ที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

แบบจำลองนี้มีข้อจำกัดเช่นเดียวกับ USLE คือใช้หาอัตราการสูญเสียดินรายปีเท่านั้น และยังมีข้อยุ่งยากในการหาข้อมูลต่าง ๆ ใส่เป็นพารามิเตอร์ในแบบจำลองอยู่พอสมควร

2.3.4 แบบจำลอง Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System หรือ CREAMS model

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาบนพื้นฐานหลักการทางฟิสิกส์ (physically-based model) ของกระบวนการกร่อนดิน โดยสำนักบริหารการอนุรักษ์ดินและน้ำ กระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา (USDA) (Knisel, 1980) แบบจำลองนี้พัฒนาขึ้นมาเสริมรายละเอียด ของกระบวนการเกิดการกร่อนดิน ที่ได้เคยพัฒนาจาก MUSLE และ RUSLE

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลอง ที่ออกแบบในลักษณะของแนวคิด ให้เลียนแบบกระบวนการ ธรรมชาติและความต้องการในการจัดการพื้นที่เพื่อประเมินผลกระทบของมลพิษที่ไม่ทราบแหล่งที่มาอันเนื่องมาจาก การใช้เทคโนโลยีเพิ่มผลผลิต ทั้งในด้านการใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และวิธีการจัดการดิน จัดการพืชในลักษณะต่าง ๆ อย่างครบถ้วน

นิพนธ์ (2545) กล่าวว่า การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS สามารถใช้ได้โดยไม่จำเป็นต้องปรับแก้ จะให้ค่าที่ถูกต้องในระดับหนึ่งพอสมควร เมื่อใช้ประเมินผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ให้เป็นไปตามสมบัติทางกายภาพ และชีวภาพแต่ละท้องที่เพื่อจะทำได้ค่าที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น แบบจำลองนี้สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ประเมินค่าการกร่อนดินและปริมาณตะกอนดินเป็นรายวัน หากจะประเมินเป็นรายเดือน และรายปีต้องใช้ผลรวมจากค่ารายวัน แบบจำลองนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้ในหลายประเทศ ทั้งยุโรป สหรัฐอเมริกา อังกฤษ เชคโกสโลวาเกีย ลิทัวเนีย และสหภาพโซเวียต

3. แบบจำลอง Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System หรือ CREAMS model

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS ประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อยคือ

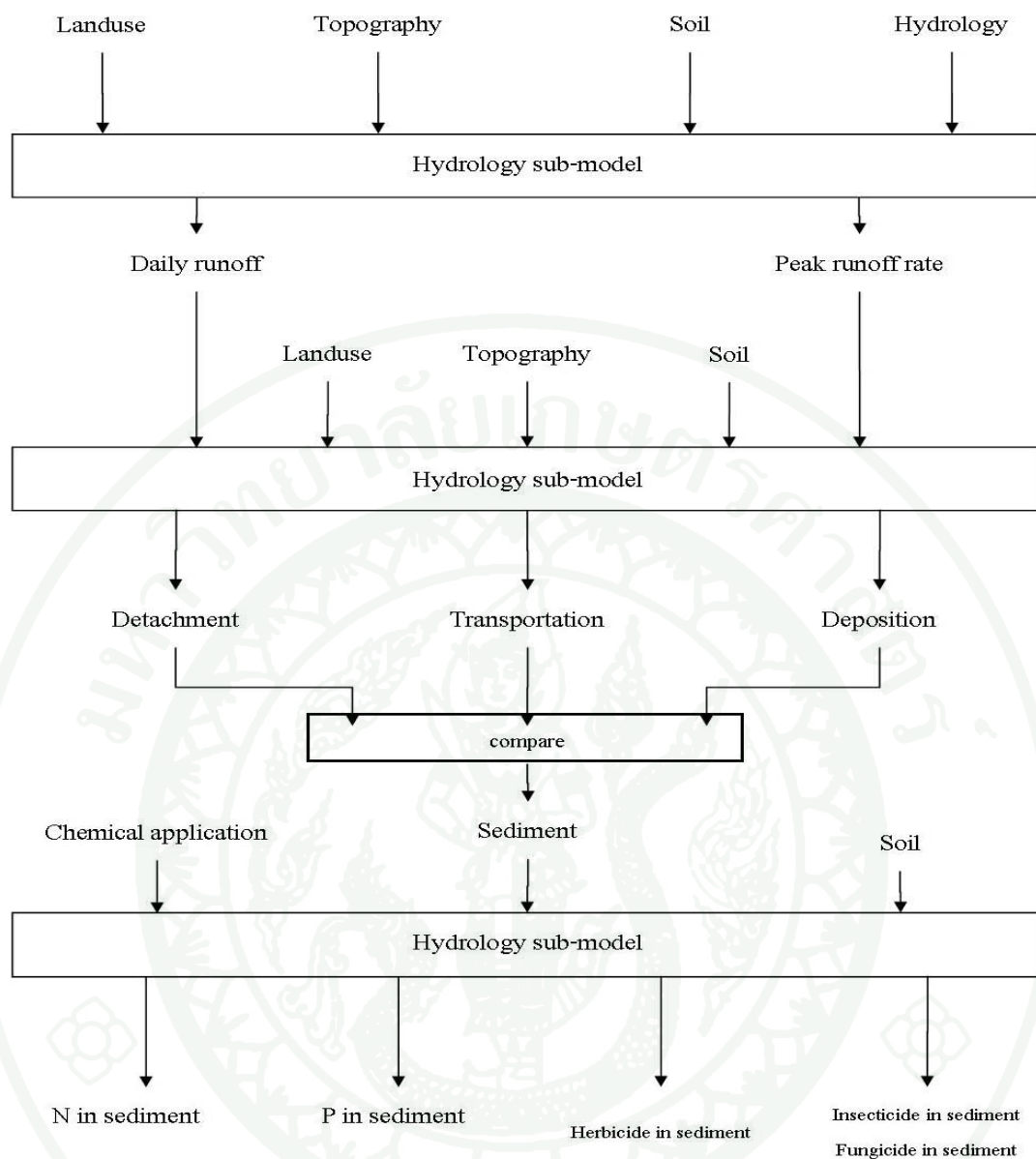
3.1.1 แบบจำลองย่อยทางอุทกวิทยา เป็นแบบจำลองที่มีองค์ประกอบ ของการหาปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ปริมาณฝนรายวัน และอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด

3.1.2 แบบจำลองย่อยของการกร่อนดินเป็นการพิจารณา ทั้งปริมาณการกร่อนดินระหว่างร่องรื้อและในร่องรื้อ และความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน

3.1.3 แบบจำลองย่อยทางเคมีเป็นการหาปริมาณธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ และสารกำจัดวัชพืช ที่อยู่ในตะกอนดิน

3.2 การทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

เนื่องจากทั้งสามแบบจำลองย่อยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS มีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง ผู้ใช้แบบจำลองนี้ต้องกำหนดขอบเขต ของการใช้ข้อมูลให้ชัดเจน เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลไปใช้ในขั้นตอนต่อ ๆ ไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์และขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

ที่มา: ดัดแปลงจาก Knisel (1980)

3.3 สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าในแบบจำลอง

3.3.1 การคำนวณค่าทางอุทกวิทยา

แบบจำลองนี้ใช้ curved number (CN) เป็นค่าที่ใช้แทนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งถูกพัฒนาโดย Soil Conservation Service เมื่อปี 1972 (Williams *et al*, 1978) ใช้สำหรับประเมินค่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน จากปริมาณฝนรายวัน เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้เนื่องจาก เป็นสมการที่ได้รับการยอมรับและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกา ค่าที่ได้จากการคำนวณมีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงใน สนาม ค่าปัจจัยในการใช้คำนวณไม่ซับซ้อน และค่าของน้ำไหลบ่าหน้าดินมีความสัมพันธ์กับชนิด ดิน สภาพการใช้ที่ดินและการจัดการพื้นที่โดยใช้ปัจจัยสภาพการใช้ที่ดินร่วมกับ hydrological condition ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = \frac{(P - 0.2s)^2}{P + 0.8s} \quad (1)$$

$$s = s_{mx} \frac{(UL - SW)}{UL} \quad (2)$$

$$s_{mx} = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3)$$

$$Qp = 200 * DA^{0.7} * CS^{0.159} * Q^{(0.917 * DA^{0.0116})} * LW^{-0.187} \quad (4)$$

โดย Q	คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (นิ้ว)
Qp	คือ อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด (ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางไมล์)
P	คือ ปริมาณฝนรายวัน (นิ้ว)
s	คือ retention parameter
UL	คือ ปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินเก็บไว้ได้ในบริเวณเขตรากพืช (นิ้ว)
SW	คือ ปริมาณน้ำในดิน บริเวณเขตรากพืช (นิ้ว)
s _{mx}	คือ ค่าสูงสุดของ retention parameter
CN	คือ curve number for moisture condition II
DA	คือ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตารางไมล์)

CS คือ ความชันเฉลี่ยของลำธารสายหลักของพื้นที่ (องศา)
 LW คือ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของพื้นที่ลุ่มน้ำ

3.3.2 การคำนวณค่าปัจจัยแบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน

1) แบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาในแบบจำลองย่อยนี้ได้แก่การกร่อนดินแบบร่องริ้ว (interill erosion) และการกร่อนดินระหว่างร่องริ้ว (rill erosion) ซึ่งใช้แบบจำลอง modified USLE (Foster *et al.*, 1977)

การกร่อนดินระหว่างร่องริ้วเกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดินรวมกันเป็นทางเล็ก ๆ แล้วกัดเซาะลงไปในเนื้อดิน แต่เนื่องจากความคงทนของดินแตกต่างกันไป ประกอบกับแผ่นน้ำไหลบ่าหน้าดินยังไม่หนามากนัก การกัดกร่อนจึงเป็นไปในลักษณะร่องน้ำตื้น ๆ เล็ก ๆ กระจายทั่วผิวน้ำดิน เมื่อน้ำไหลบ่าหน้าดินมีความหนาไม่มากนัก จะไม่มีความสามารถในการกร่อนดินแบบนี้เลย เพราะแรงเฉือนของน้ำเพียงบาง ๆ มีน้อยมาก Meyer and Monk, (1975) กล่าวว่า น้ำไหลบ่าบนพื้นที่ร่องริ้ว มีสมรรถนะในการกัดเซาะหน้าดินน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพลังของเม็ดฝนที่ตกกระทบ

ซึ่งการกร่อนดินระหว่างร่องริ้วและการกร่อนดินในร่องริ้วมีการคำนวณดังนี้

$$Di = 0.21 * EI * (\sin + 0.014) * K * C * \frac{\sigma p}{Vu} \quad (5)$$

$$EI = 0.8 * P^{1.51} \quad (6)$$

$$Dr = 37983 * m * Vu * \sigma p^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{x}{72.6}\right)^{m-1} * \sin^2 * K * C * \left(\frac{\sigma p}{Vu}\right) \quad (7)$$

$$x = \sqrt{\frac{3.28}{1 - \sin \theta}} \quad (8)$$

$$m = 1.0 + \frac{5.011}{\ln x}; \quad x \geq 150 \text{ ft.} \quad (9)$$

$$x \leq 150 \text{ ft.}; m = 2$$

เมื่อ Di คือ ปริมาณการกร่อนดินระหว่างร่องร้ว (ปอนด์ต่อตารางฟุต)

Dr คือ ปริมาณการกร่อนดินในร่องร้ว (ปอนด์ต่อตารางฟุต)

EI คือ พลังงานจลน์ของฝน (ฟุต-ตันต่อเอเคอร์)(นิ้วต่อชั่วโมง)

$\sin$ คือ ค่า $\sin$ ของมุมความลาดเท

K คือ ปัจจัยสภาพกร่อนได้ของดิน

C คือ ปัจจัยการจัดการพืช

σ_p คือ อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดรายวัน (ฟุตต่อวินาที)

Vu คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางฟุต)

m คือ ค่ายกกำลังความยาวความลาดเท

x คือ ค่าความยาวความลาดเท (ฟุต)

2) แบบจำลองย่อยทางสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS ใช้สมการของ Yalin (1963) ในการคำนวณค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน เนื่องจากเป็นสมการให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและในพื้นที่จริง โดย Davis (1978) และ Foster (1979) สมการของ Yalin ถูกปรับปรุงให้สามารถใช้กับพื้นที่ที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนดินหลายชนิด โดย Foster and Meyer (1972), Davis (1978) และ Khaleel *et al.* (1980)

การที่จะรู้ว่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนมีมากน้อยเพียงใดจำเป็นต้องรู้ถึงขนาดหรือปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขนาดและปริมาณของการไหลนี้ได้แก่รัศมีชลศาสตร์ ความลาดชันของพื้นที่อัตราความเร็วของน้ำที่ไหลบ่า ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลบ่า ความหยาบ ตะกอนของผิวหน้าดิน และขนาดของอนุภาคดินที่ถูกเคลื่อนย้าย

ค่าแรงเฉือนของอนุภาคตะกอนเป็นค่าที่อธิบายถึงแรงที่ตะกอนกระทำต่อดิน (Graf, 1971) การที่ดินมีสิ่งปกคลุมหรือพืชพรรณจะช่วยลดค่าแรงเฉือนของอนุภาคตะกอนด้วย

ซึ่งสมการที่ใช้คำนวณค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอน มีดังนี้

$$Tc - 0.635 * \delta * [1 - (\frac{1}{\sigma} \ln(1 + \sigma))] \quad (10)$$

$$\sigma = A * \delta \quad (11)$$

$$\delta = \frac{Y}{Y_{cr}} - 1$$

; $Y > Y_{cr}$
; $Y \leq Y_{cr} : \delta = 0$ (12)

$$A = 2.45 * Sg^{-0.4} * Y_{cr}^{0.5} \quad (13)$$

$$Y = \frac{V_*^2}{(Sg - 1) * g * d} \quad (14)$$

$$V_* = (g * R * s)^{0.5} \quad (15)$$

$$R = \sqrt[3]{\left(\frac{Vu}{s}\right) \eta} \quad (16)$$

$$Y_{cr} \text{ เป็นค่าที่ถูกกำหนดด้วยค่า dimensionless particle diameter} \quad (17)$$

$$D_* = \sqrt[3]{d \left[\frac{(Sg - 1) * g}{(0.894 * 10^{-7})^2} \right]} \quad (18)$$

$$D_* < 4 \quad ; Y_{cr} = 0.24 * D_*^{-1} \quad (19)$$

$$4 < D_* \leq 10 \quad ; Y_{cr} = 0.14 * D_*^{-0.54} \quad (20)$$

$$10 \leq D_* \leq 20 \quad ; Y_{cr} = 0.04 * D_*^{-1} \quad (21)$$

$$20 \leq D_* \leq 150 \quad ; Y_{cr} = 0.013 * D_*^{-0.29} \quad (22)$$

$$D_* \geq 150 \quad ; Y_{cr} = 0.055 \quad (23)$$

- เมื่อ T_c คือ สมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที)
 Y คือ แรงยกตะกอน (นิวตันต่อลูกบาศก์ฟุต)
 Y_{cr} คือ แรงยกตะกอนวิกฤต (นิวตันต่อลูกบาศก์ฟุต) ตามวิธีการของ Mantz (1977)
 S_g คือ ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคดินบน (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)
 V_* คือ แรงเฉือนบนผิวหน้าดิน (ตารางฟุตต่อวินาที)
 g คือ ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก (ฟุตต่อวินาที²)
 d คือ ขนาดอนุภาคตะกอน (นิ้ว)
 R คือ รัศมีชลศาสตร์ (นิ้วต่อตารางฟุต⁻¹) ตามวิธีการของ Cowan (1956)
 s คือ ความลาดชันของพื้นที่ (องศา)
 V_u คือ น้ำไหลพาหน้าดิน (ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางฟุต)
 η คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ (Manning Coefficient)
 D_* คือ dimensionless particle diameter

3) แบบจำลองย่อยของสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน

ผลผลิตตะกอนจะเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นกับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากการตกกระทบของเม็ดฝนและความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนเหล่านั้นออกจากพื้นที่ซึ่งมีสมการในการคำนวณค่า ดังนี้

$$Dep = \alpha(Tc - Ds) \quad (24)$$

$$\alpha = 0.5 \frac{Sg}{Vu} \quad (25)$$

เมื่อ Dep คือ สมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน (ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตกทับถมของตะกอน

Tc คือ ค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอน (ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที)

Ds คือ ปริมาณการเกิดการกร่อนดินจากการตกกระทบของเม็ดฝน (ปอนด์ต่อตารางฟุต)

Sg คือ ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคดินบน (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

Vu คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางฟุต)

3.3.3 แบบจำลองย่อยทางเคมี

แบบจำลองย่อยทางเคมีเป็นแบบจำลองที่พิจารณาใน ส่วนของสารเคมีในตะกอนดินที่เกิดขึ้น เมื่อมีการกร่อนดินรายวัน ทั้งสารเคมีที่มาจากปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูพืช กำหนดการคำนวณค่าโดยการ พิจารณาการใส่สารเคมีลงในดิน ที่ความลึก 0 – 15 เซนติเมตร 1 วัน ก่อนวันที่มีตะกอนดินเกิดขึ้น และมีการใส่ปุ๋ยเคมีหรือสารกำจัดศัตรูพืชลงในดินเท่านั้น (Smith *et al.*, 1978)

1) Frere *et al.* (1978) ได้เสนอสมการสำหรับการคำนวณปริมาณปุ๋ยเคมีในตะกอนดินไว้ดังนี้

$$SED_x = (Soil_x * SED * A_x)^{B_x} \quad (26)$$

เมื่อ SED_x คือ ปริมาณสารเคมีจากปุ๋ยในตะกอนดิน (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)

$Soil_x$ คือ ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)

SED คือ ปริมาณตะกอนที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองของการ

A_x คือ enrichment coefficient

B_x คือ enrichment exponent

ค่า enrichment coefficient (A_x) และ enrichment exponent (B_x) กำหนดตาม Smith *et al.* (1978) คือ A_N เท่ากับ 16.8, A_p เท่ากับ 11.2, B_N เท่ากับ -0.160 และ B_p เท่ากับ -0.146

2) Frere *et al.* (1978) ได้เสนอสมการสำหรับการคำนวณปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดินไว้ดังนี้

$$Y = SED * A_p \quad (27)$$

เมื่อ Y คือ ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสารต่อกิโลกรัมของดิน)

SED คือ ปริมาณตะกอนที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองของการกร่อนดินและการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)

A_p คือ available chemical in sediment

การคำนวณค่า Ap พิจารณาตามรูปแบบการใช้สารเคมีซึ่งใน แบบจำลองนี้ จำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ Ap_H ของสารเคมีที่ใช้กำจัดวัชพืช และ Ap_{IF} ของ สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดแมลงและโรคดั่งสมการ

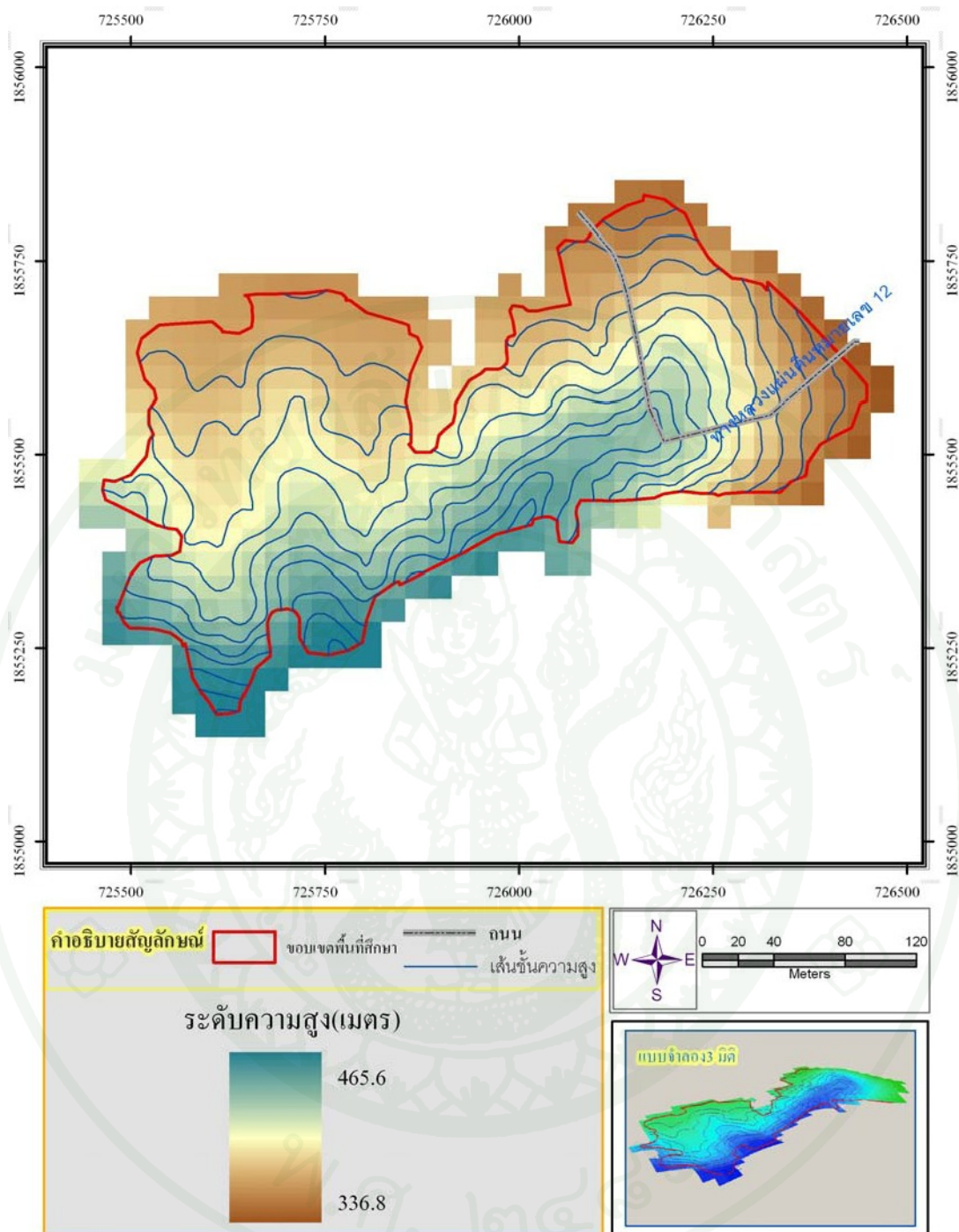
$$Ap_H = R_H * \frac{10}{BD} \quad (28)$$

$$Ap_{IF} = 0.5 * R_{IF} * 100 \quad (29)$$

4. พื้นที่ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

4.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่

พื้นที่ศึกษา อยู่บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตำบลน้ำซุน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ พิกัด 725461 ถึง 726448 E และ 1855163 ถึง 1855835 N พื้นที่ศึกษามีเนื้อที่ 0.30 ตารางกิโลเมตร หรือ 189.5 ไร่ ดังแสดงในภาพที่ 5

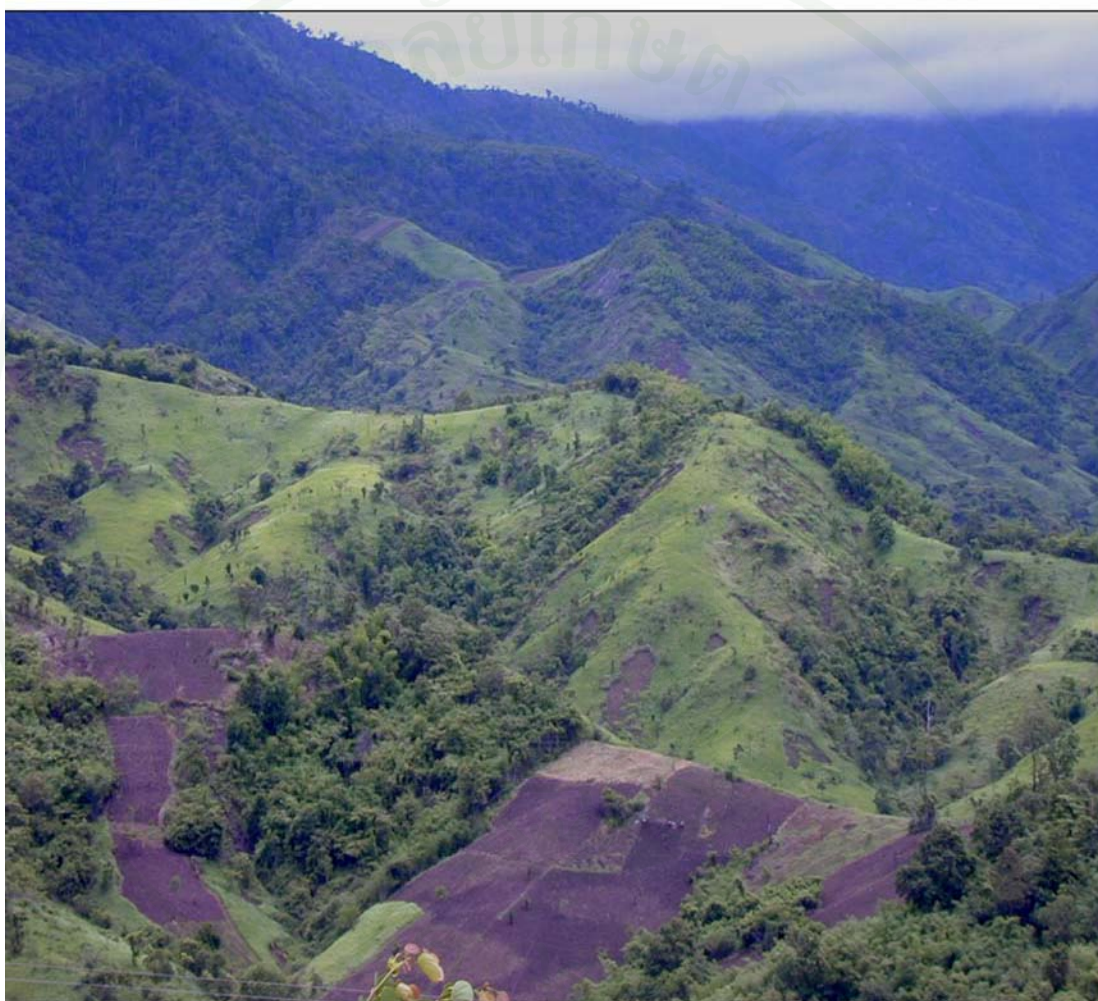


ภาพที่ 5 พื้นที่ศึกษา ตำบลน้ำชุม อำเภอห้วยสัก จังหวัดเพชรบูรณ์

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดินกรมพัฒนาที่ดิน (2547)

4.2 ลักษณะภูมิประเทศ

สภาพโดยทั่วไปเป็นเนินเขาและภูเขาสูง ประกอบด้วยภูเขาที่มีความลาดชัน สลับซับซ้อน เป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีระดับความสูงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 336 ถึง 465 เมตร จาก ระดับน้ำทะเลปานกลาง มีความลาดเอียงจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 6

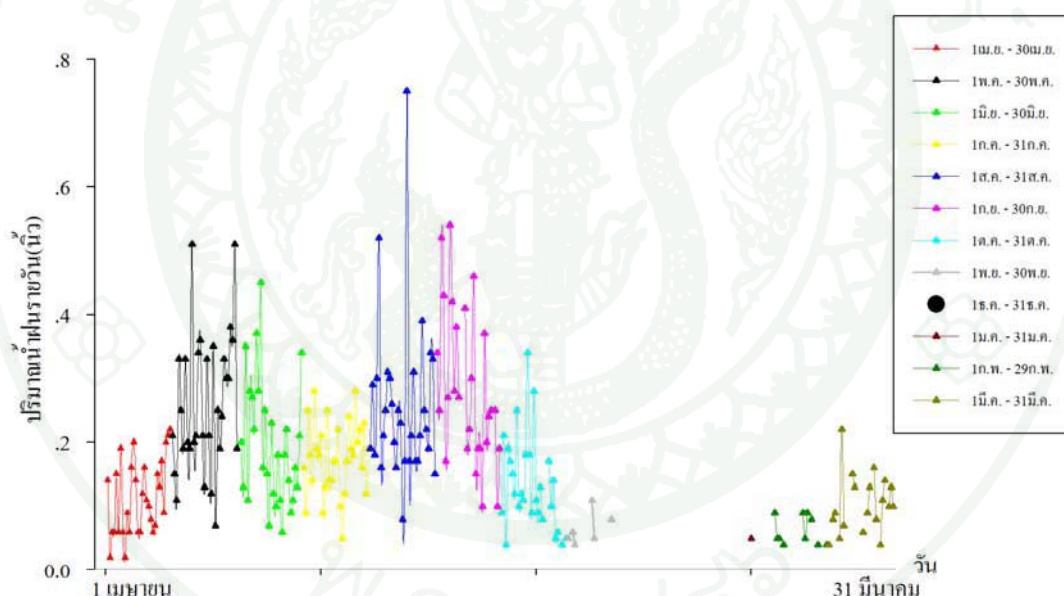


ภาพที่ 6 ลักษณะภูมิประเทศบางส่วนของพื้นที่ศึกษา

4.3 ลักษณะภูมิอากาศ

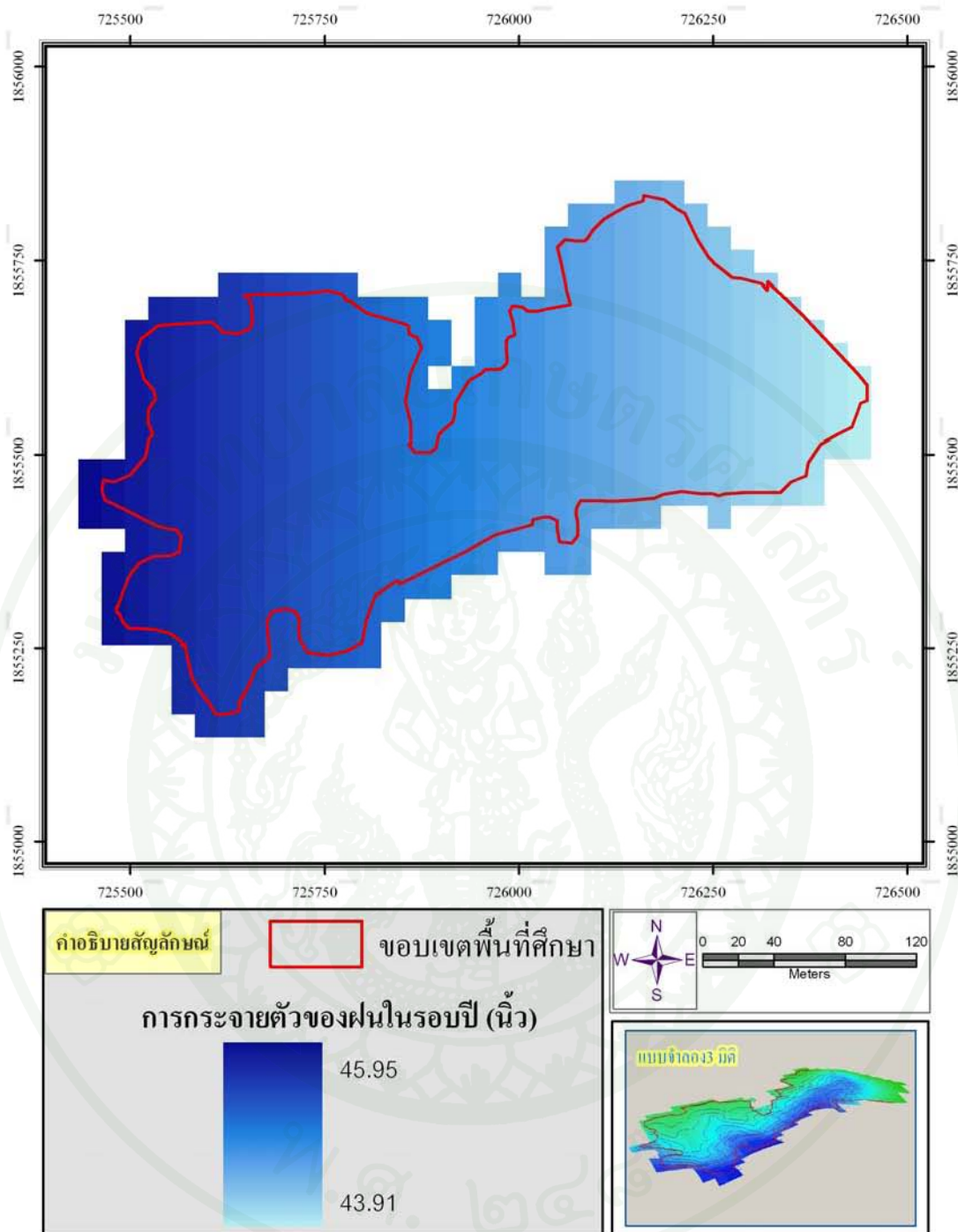
สภาพภูมิอากาศในพื้นที่นี้ได้รับอิทธิพลมาจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และ ตะวันตกเฉียงใต้ ได้ถูกจำแนกเป็นมรสุมแบบร้อนชื้น มีความชื้นสูง อุณหภูมิปานกลางถึงสูง มี สภาพภูมิอากาศแบบแปรปรวนในช่วงฤดูแล้ง และฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนทั้งปีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.185 นิ้วต่อวัน โดยพบว่าเดือนสิงหาคม เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสุด และเดือนธันวาคมเป็นเดือนที่ไม่มีปริมาณน้ำฝน ดังแสดงในภาพที่ 7

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีและจำนวนวันฝนตกรายปีพ.ศ. 2547 ที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษา สามารถแสดงค่าการกระจายตัวของน้ำฝนโดยใช้ ผลรวม รายปีพบว่า ปริมาณฝนมีการกระจายตัวจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก คือมีปริมาณ 45.9 – 43.9 นิ้วต่อปี ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ปริมาณน้ำฝนรายปีของพื้นที่ศึกษา

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2547)

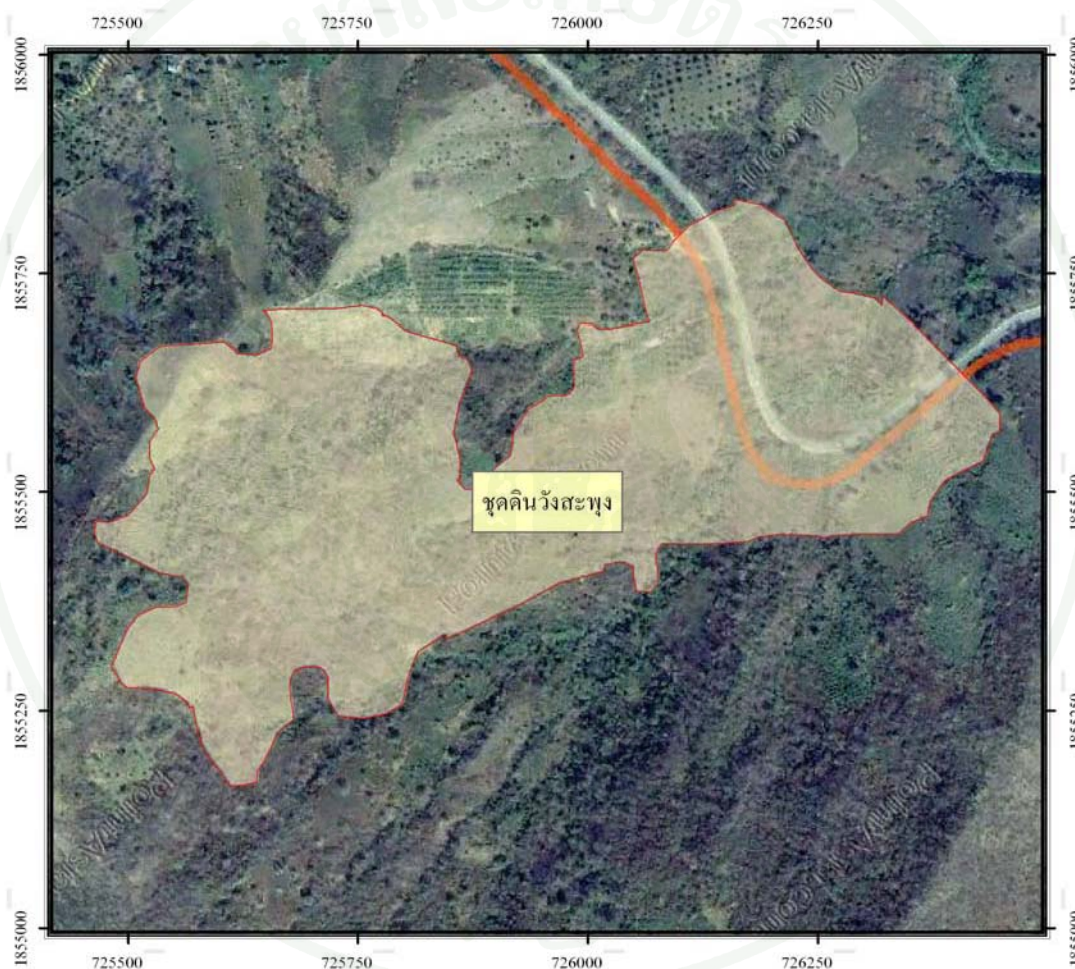


ภาพที่ 8 การกระจายตัวของฝนในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2547)

4.4 ลักษณะทางปฐพีวิทยาและสภาพการใช้ที่ดิน

ภักดี (2549) ได้ศึกษาในพื้นที่จริงเมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2546 พบว่าพื้นที่ศึกษาจัดอยู่ในชุดดินวังสะพุง (Wang Sapong series; Ws) ซึ่งเป็นชุดดินพวก fine mixed, active isohyperthermic, Typic Haplustalfs เกิดจากการสลายตัวของหินดินดานและหินฟิลไลต์ ชุดดินนี้เป็นดินลึกลับานกลาง มีการระบายน้ำดีดินมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนหน้าดินอยู่ในอัตราปานกลางถึงเร็ว ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติในระดับปานกลาง ใช้ในการปลูกพืชไร่เป็นส่วนใหญ่สภาพพื้นที่มีลักษณะเป็นที่ชันถึงชันมากที่สุด (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงสภาพการใช้ที่ดินและลักษณะทางปฐพีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2545)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร
2. แผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมทรัพยากรธรณี
3. ภาพถ่ายทางอากาศสีถ่ายเมื่อปีพ.ศ. 2545 มาตรฐาน 1:25,000 ที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา
4. แผนที่ชุดดินมาตรฐาน 1:25,000 ปีพ.ศ. 2547 ในรูปแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลดินของกรมพัฒนาที่ดินและ International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation
5. ข้อมูลน้ำฝน ของสถานีตรวจวัดน้ำฝนครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ของกรมอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ. 2547
6. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่บรรจุโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และการสำรวจระยะไกล (remote sensing)

ระยะเวลาดำเนินการ

1 เมษายน - 30 มีนาคม พ.ศ. 2547

วิธีการ

1. การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่และการคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางอุทกวิทยา

ปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางอุทกวิทยา ได้แก่ค่าปริมาณน้ำฝนรายวัน (P) retention parameter (s) ปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินเก็บไว้บริเวณเขตรากพืช (UL) ปริมาณน้ำในดินบริเวณเขตรากพืช (SW) ค่าสูงสุดของ retention parameter (s_{mx}) curve number for moisture condition II (CN) สภาพการใช้ที่ดิน ความลาดชันของพื้นที่และสมบัติการระบายน้ำของดิน (hydraulic soil group) ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้น เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินและอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดรายวัน มีขั้นตอนการเตรียมและคำนวณดังนี้

1.1 การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่าปริมาณน้ำฝนรายวัน (P)

ค่าปริมาณน้ำฝนรายวัน (P) ได้จากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนรอบ ๆ พื้นที่ศึกษา และบริเวณใกล้เคียง ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 นำมาจัดเตรียมให้อยู่ในสกุล dbf4 เพื่อนำเข้าในโปรแกรม ทางสารสนเทศภูมิศาสตร์แล้วทำการกระจายค่า (interpolate) ด้วยวิธี IDW (inverse distance weight) พัฒนาโดย Philip *et al.* (1982) และ Watson *et al.* (1985) ทำให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายวัน ในพื้นที่ศึกษาสำหรับนำไปคำนวณค่าในสมการที่ (1) ต่อไป

1.2 การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่า retention parameter (s)

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า retention parameter คือค่าสูงสุดของ retention parameter (s_{mx}) ปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินเก็บไว้บริเวณเขตรากพืช (UL) ปริมาณน้ำในดินบริเวณเขตรากพืช (SW) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวข้างต้นมีวิธีการจัดเตรียมดังนี้

1.2.1 ค่าสูงสุดของ retention parameter (s_{mx})

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า s_{mx} คือค่า CN (curve number for moisture condition II) ใช้สำหรับประเมินค่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน จากปริมาณฝนรายวัน โดยใช้ปัจจัยสภาพการใช้ที่ดิน ร่วมกับปัจจัยทางอุทกวิทยา ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นครั้งแรก หลังจากนั้นก็ถูกพัฒนาในหลาย ๆ ประเทศทั่วโลกและได้รับการยอมรับในการใช้ประเมินค่าน้ำไหลบ่าหน้าดินกันอย่างแพร่หลาย (Pitzema, 1994) โดยปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาค่า CN ได้แก่ hydraulic soil group สภาพการใช้ที่ดินและความลาดชันของพื้นที่ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียม ดังนี้

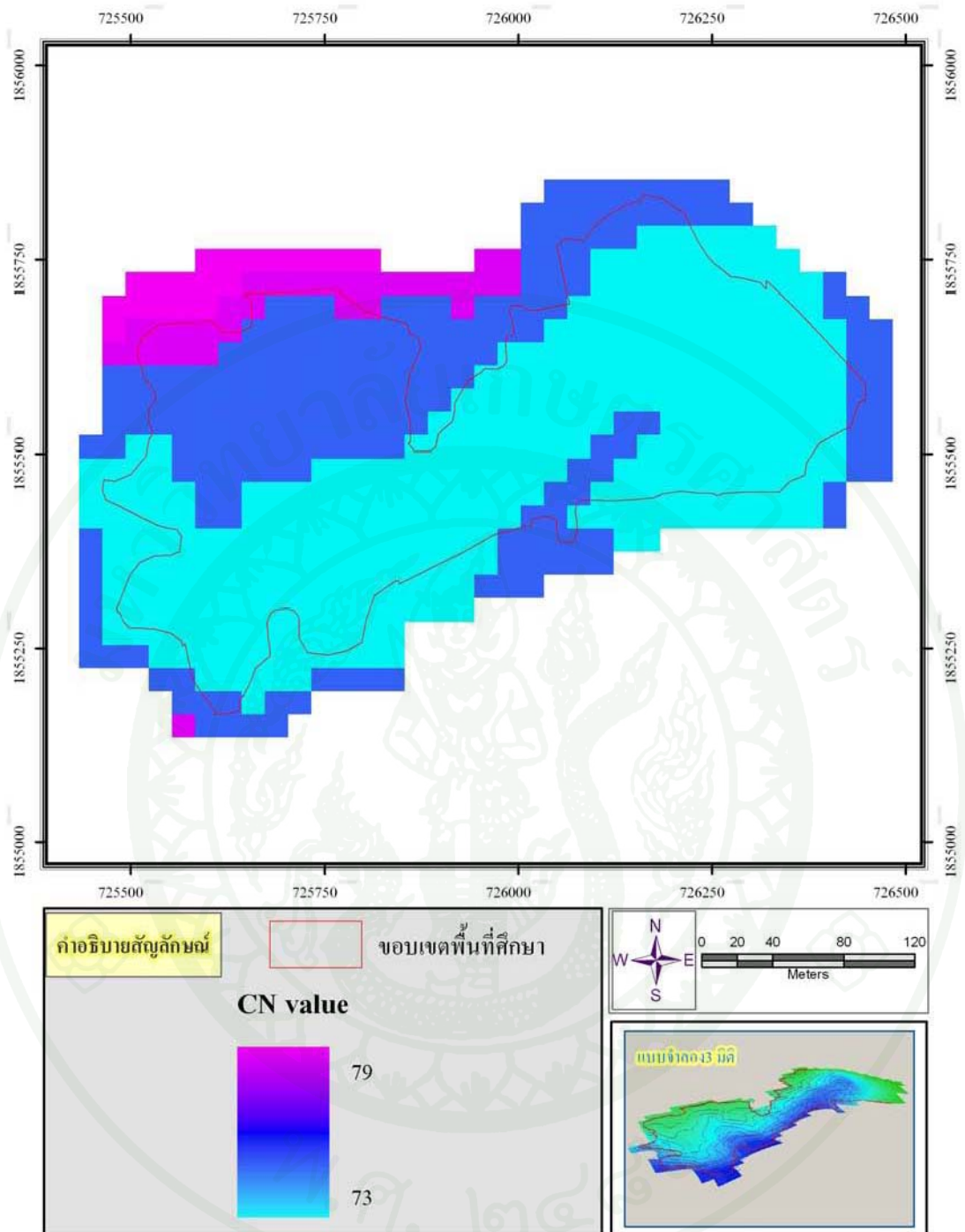
1) ค่าสมบัติการระบายน้ำของดิน ถูกกำหนดขึ้นตามการพิจารณาค่า hydraulic soil group ซึ่งสมบัติการระบายน้ำของดินที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่ runoff potential, infiltration rate, drainage, soil texture, water transmission rate พิจารณาสมบัตินี้ดังกล่าวตามเกณฑ์สำหรับกำหนดค่า hydraulic soil group โดย Pitzema (1994) พบว่าชุดดินวังสะพุงอยู่ใน hydraulic soil Group C (ตารางผนวกที่ 2)

2) ค่า CN ใช้ปัจจัยของสภาพการใช้ที่ดินและชั้นความลาดชันของพื้นที่ พิจารณาร่วมกับ ค่า hydraulic soil group (ตารางผนวกที่ 3) กำหนดค่า CN สามารถแบ่งช่วงค่า CN ตามช่วงชั้นความลาดชันของพื้นที่ศึกษาตามข้อกำหนดของ Sprenger (1978) ได้ดังนี้คือ พื้นที่ที่มีความลาดชัน น้อยกว่าร้อยละ 1 ร้อยละ 1 – 5 ร้อยละ 5 – 10 ร้อยละ 10 – 20 และมากกว่าร้อยละ 20 มีค่า CN เท่ากับ 85 79 76 74 และ 73 ตามลำดับ แล้วจัดทำเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (raster data) ดังแสดงในภาพที่ 10 เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณ ต่อไป

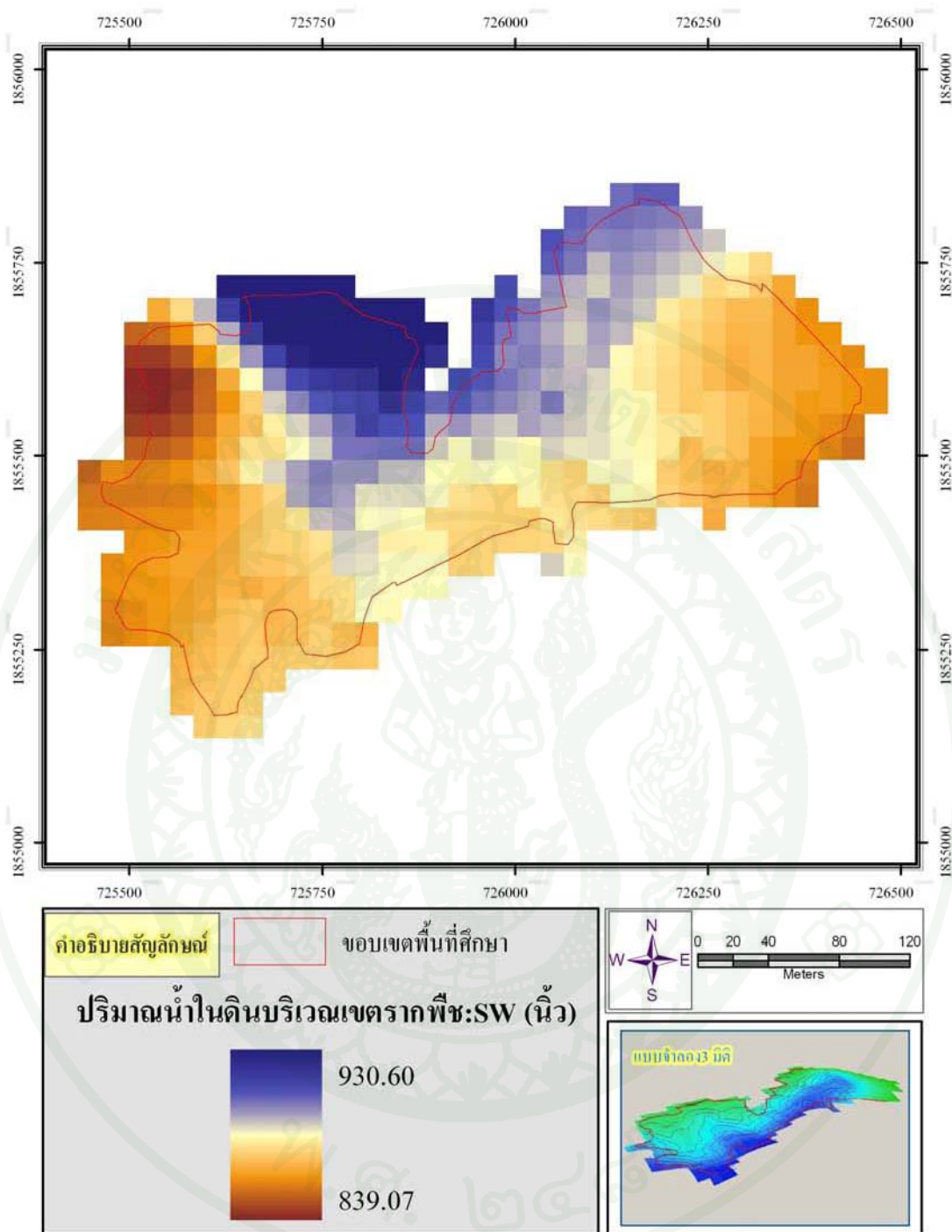
3) การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของ ค่าปริมาณน้ำในดินบริเวณเขตรากพืช (soil water content in the root zone; SW) และปริมาณน้ำสูงสุดที่เก็บไว้ในดิน (upper limit of soil water storage; UL) โดยได้นำข้อมูลเชิงสมบัติ (attribute data) มาจัดทำเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (raster data) ตาม Prachansri (2007) ดังแสดงในภาพที่ 11 และภาพที่ 12

1.3 การคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางอุทกวิทยา

การคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางอุทกวิทยา ประกอบด้วย การคำนวณค่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน Q และค่าอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดรายวัน Q_p โดยใช้สมการที่ (1) ถึงสมการที่ (4) ซึ่งได้จัดทำความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยทางอุทกวิทยาและขั้นตอนการคำนวณ ดังแสดงในภาพที่ 13

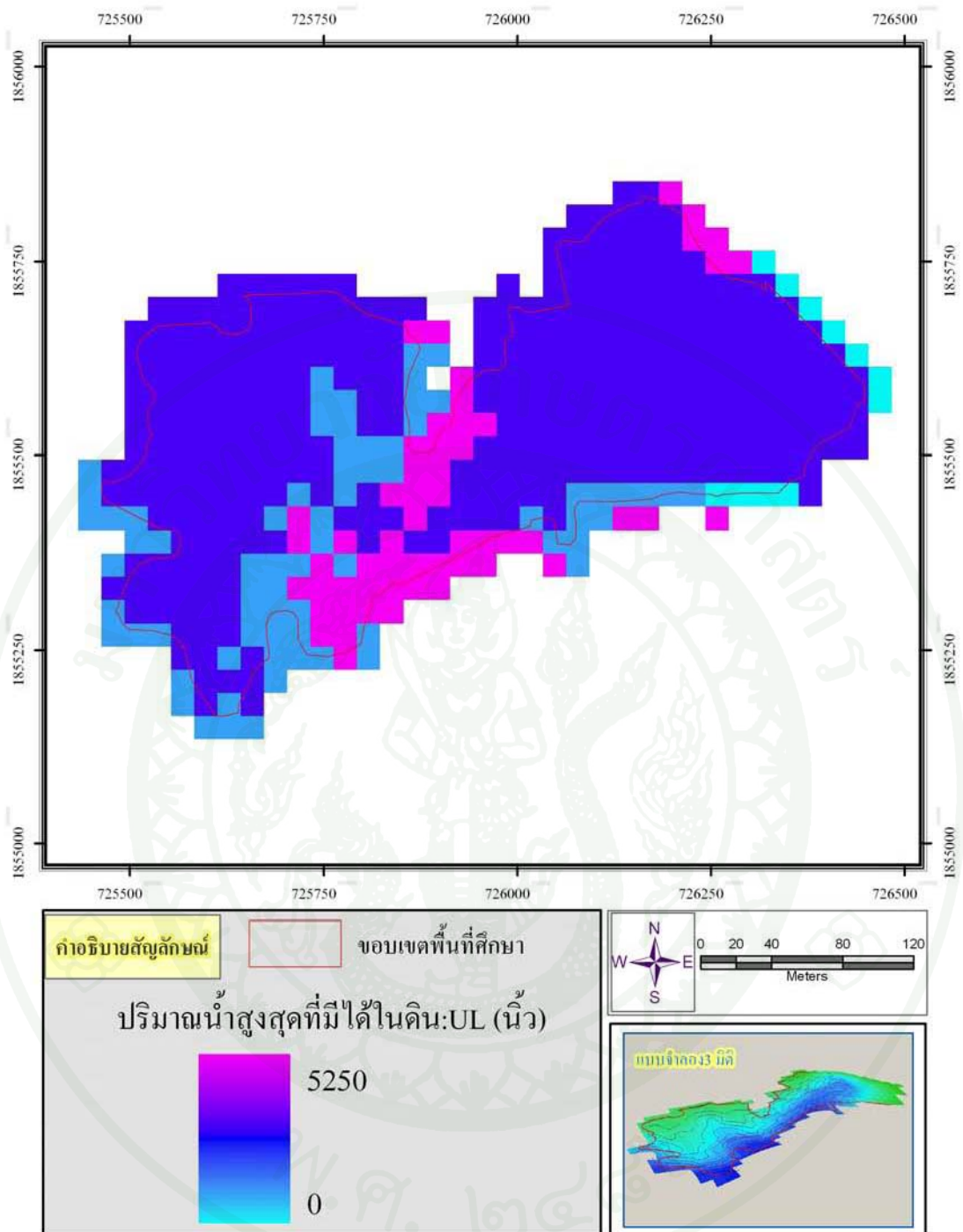


ภาพที่ 10 ค่า curved number for moisture condition II (CN) ของพื้นที่ศึกษา



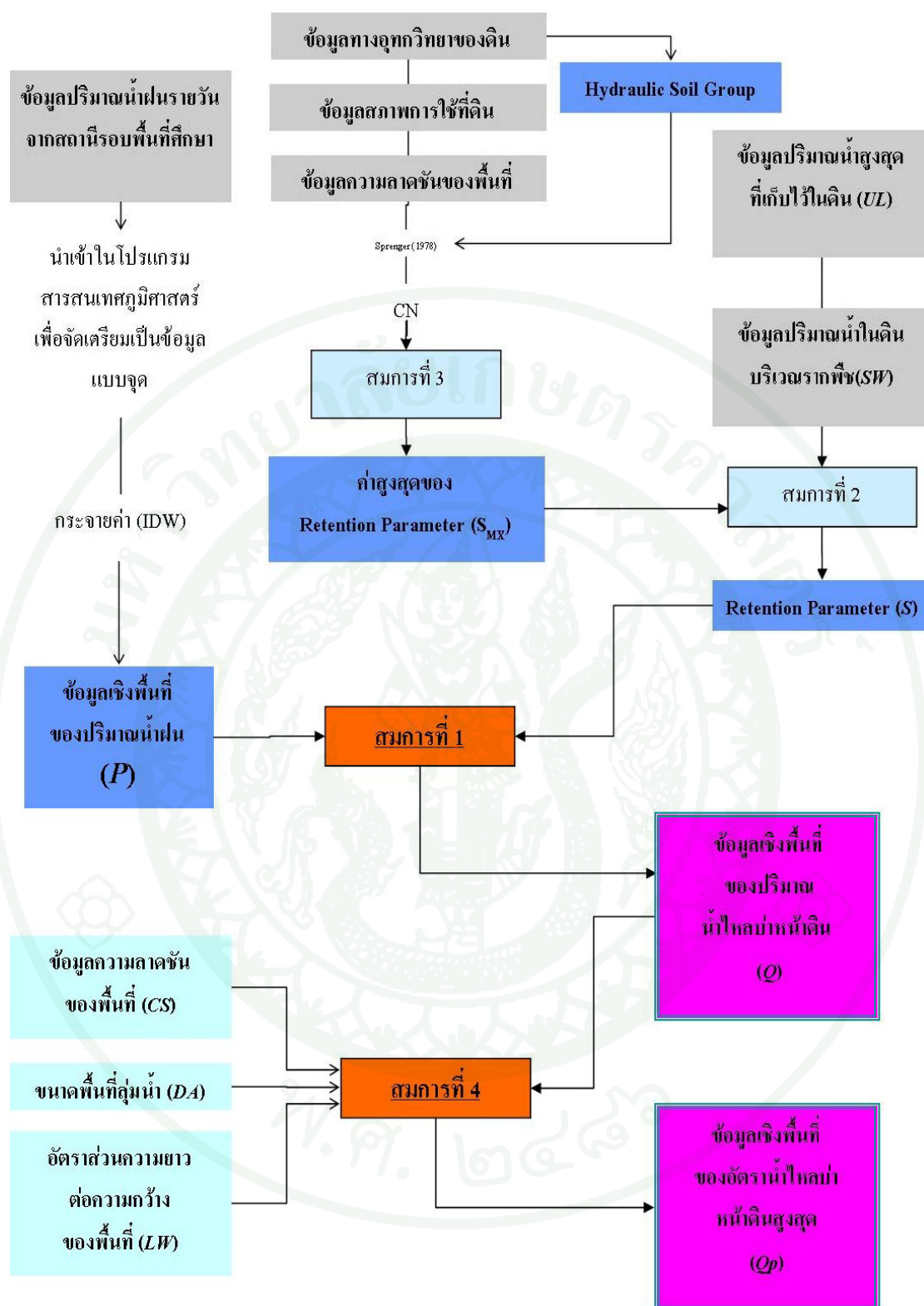
ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำในดินบริเวณเขตรากพืช (SW) ของพื้นที่ศึกษา

ที่มา: ดัดแปลงจาก Prachansri (2007)



ภาพที่ 12 ปริมาณน้ำสูงสุดที่มีได้ในดิน (UL) ของพื้นที่ศึกษา

ที่มา: ดัดแปลงจาก Prachansri (2007)



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยและขั้นตอนการคำนวณค่าทางอุทกวิทยา (Q และ Qp) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

2. การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่และการคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน

2.1 การคำนวณค่าของการกร่อนดิน

เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีการไหลบ่าหน้าดินของน้ำทำให้เกิดการกร่อนดินได้ในรูปแบบของร่องริ้ว (rill erosion) และระหว่างร่องริ้ว (interill erosion) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการกร่อนดินดังกล่าวนี้ได้แก่ค่าพลังงานจลน์ของฝน (EI) ค่า $\sin$ ของมุมความลาดชัน ($\sin$) ค่าปัจจัยสภาพกร่อนได้ของดิน (K) ค่าปัจจัยการจัดการพืช (C) ค่าอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดรายวัน (σp) ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (Vu) ค่าความยาวความลาดเท (x) และค่ายกกำลังความยาวความลาดเท (m) ซึ่งมีขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณดังนี้

2.1.1 การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่าพลังงานจลน์ของฝน (EI)

ค่า EI ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS สามารถคำนวณได้โดยพิจารณาปัจจัยปริมาณฝนรายวัน ดังสมการ ที่ (6) นำข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนรายวันมาคำนวณทำให้ได้ค่า EI สำหรับนำไปคำนวณในสมการที่ (5) ต่อไป

2.1.2 การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่า $\sin$ ของมุมความลาดชัน ($\sin \theta$)

ค่า $\sin \theta$ ได้จากการคำนวณค่าแผนที่ความลาดชัน ทำให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่า $\sin \theta$ ดังภาพที่ 14

2.1.3 การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่าปัจจัยสภาพกร่อนได้ของดิน (K)

ข้อมูลค่าปัจจัยสภาพกร่อนได้ของดิน (K) เป็นค่าอัตราการสูญเสียดินต่อหนึ่งหน่วยของดัชนีการกร่อนดิน สำหรับดินชนิดหนึ่ง ๆ ตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (2543) กำหนดให้ค่า K ของชุดดินวังสะพุง มีค่าเท่ากับ 0.34

2.1.4 การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของปัจจัยการจัดการพืช(C)

ข้อมูลปัจจัยการจัดการพืช (C) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินระหว่างพื้นที่ที่มีพืชชนิดหนึ่ง ๆ ปกคลุมอยู่ กับการสูญเสียดินจากบริเวณไถพรวนที่ปราศจากพืชคลุมดิน กรมพัฒนาที่ดิน (2543) กำหนดให้ค่า C ของพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 0.2

2.1.5 การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่าความยาวความลาดเท (x)

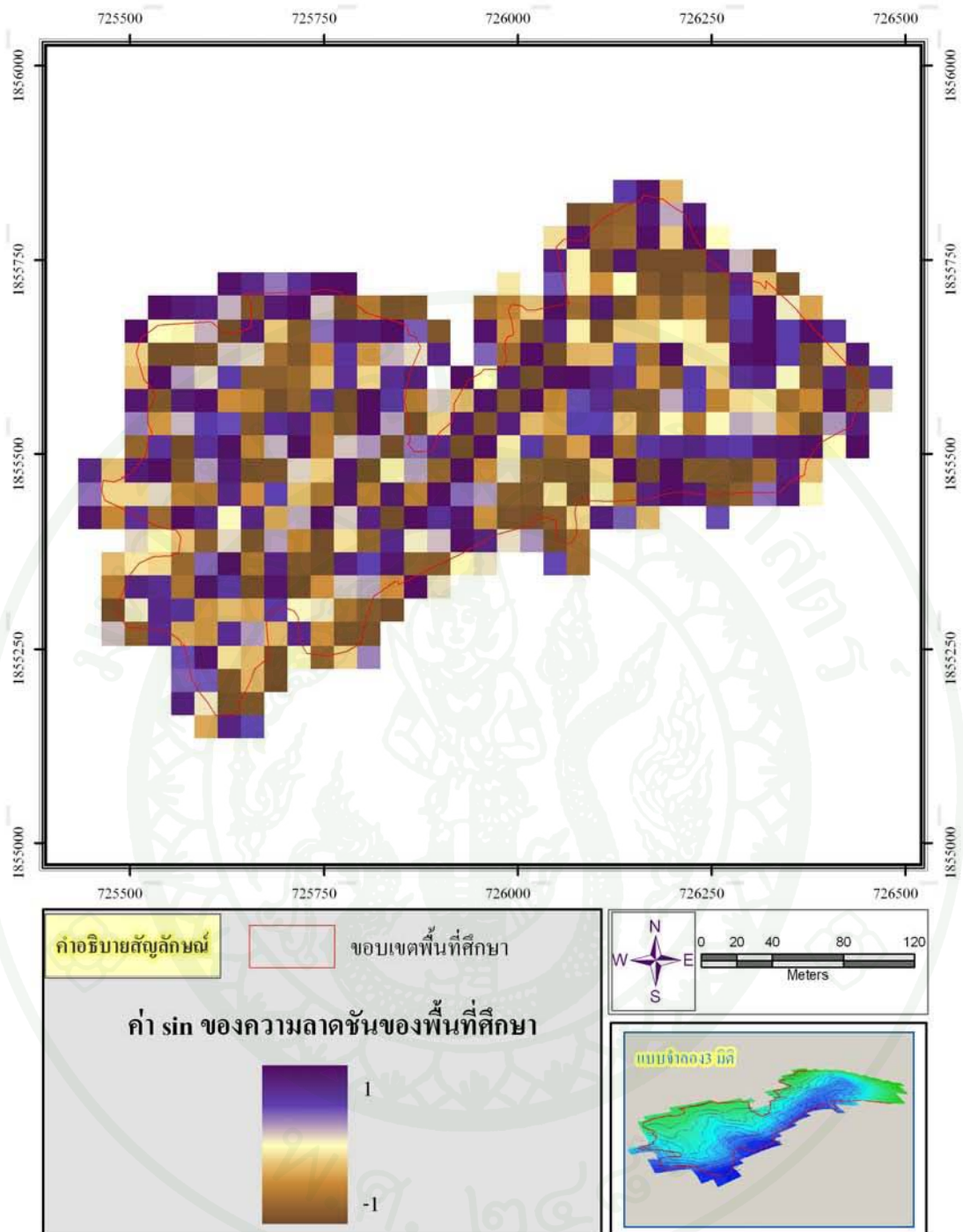
ค่าความยาวความลาดเท สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (8) โดยใช้ค่า sin ของความลาดเท เป็นตัวแปรในการคำนวณ ดังแสดงในภาพที่ 15

2.1.6 การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่ายกกำลังความยาวความลาดเท (m)

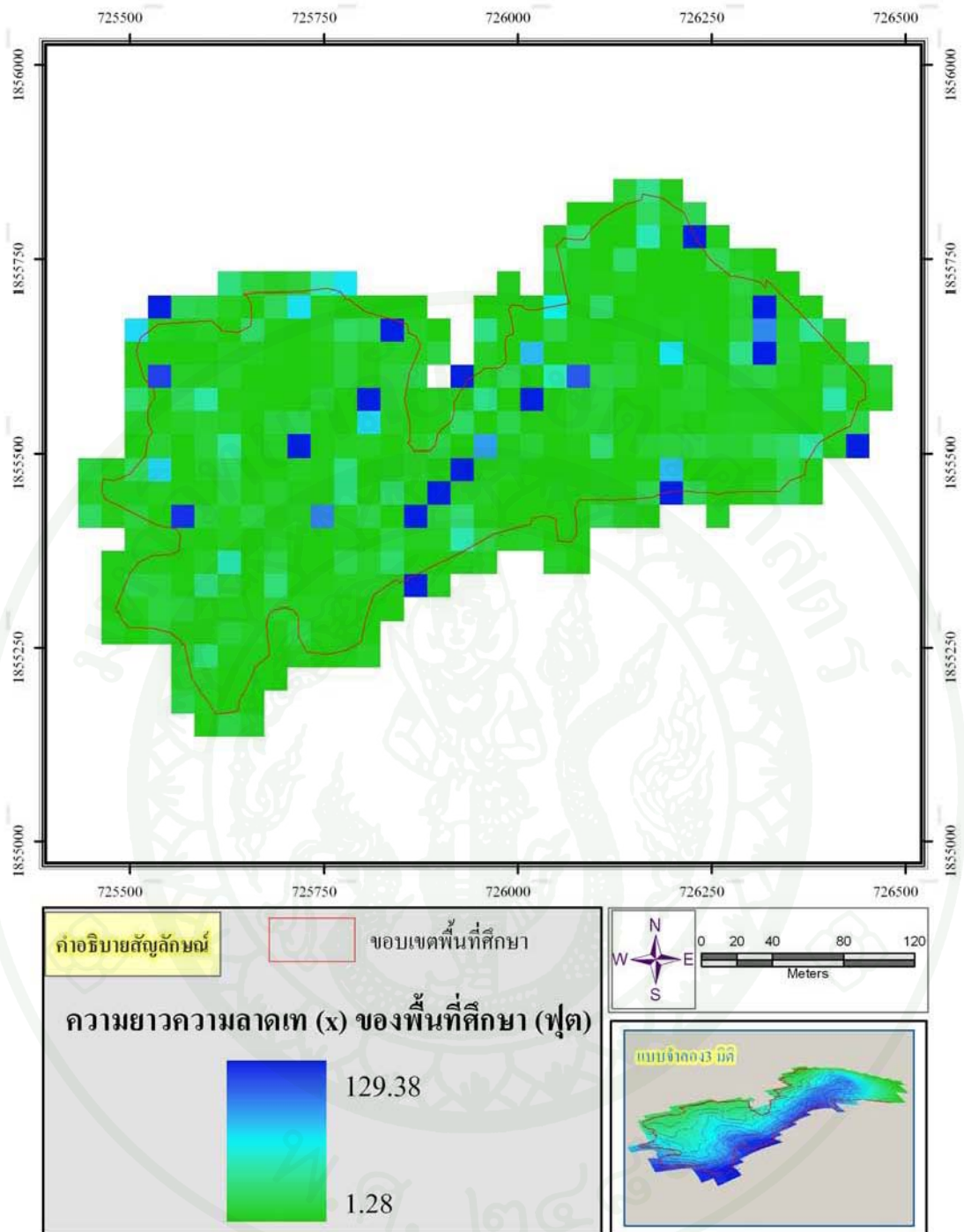
ค่ายกกำลังความยาวความลาดเท สามารถคำนวณได้จากข้อมูลเชิงพื้นที่ของความยาว ความลาดเท โดยใช้สมการที่ (9) ซึ่งพบว่าความยาวความลาดเทของพื้นที่ศึกษามีค่าไม่มากกว่า 150 ฟุต ดังนั้นค่ายกกำลังความยาวความลาดเทของพื้นที่ศึกษานี้เท่ากับ 2

2.1.7 การคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน

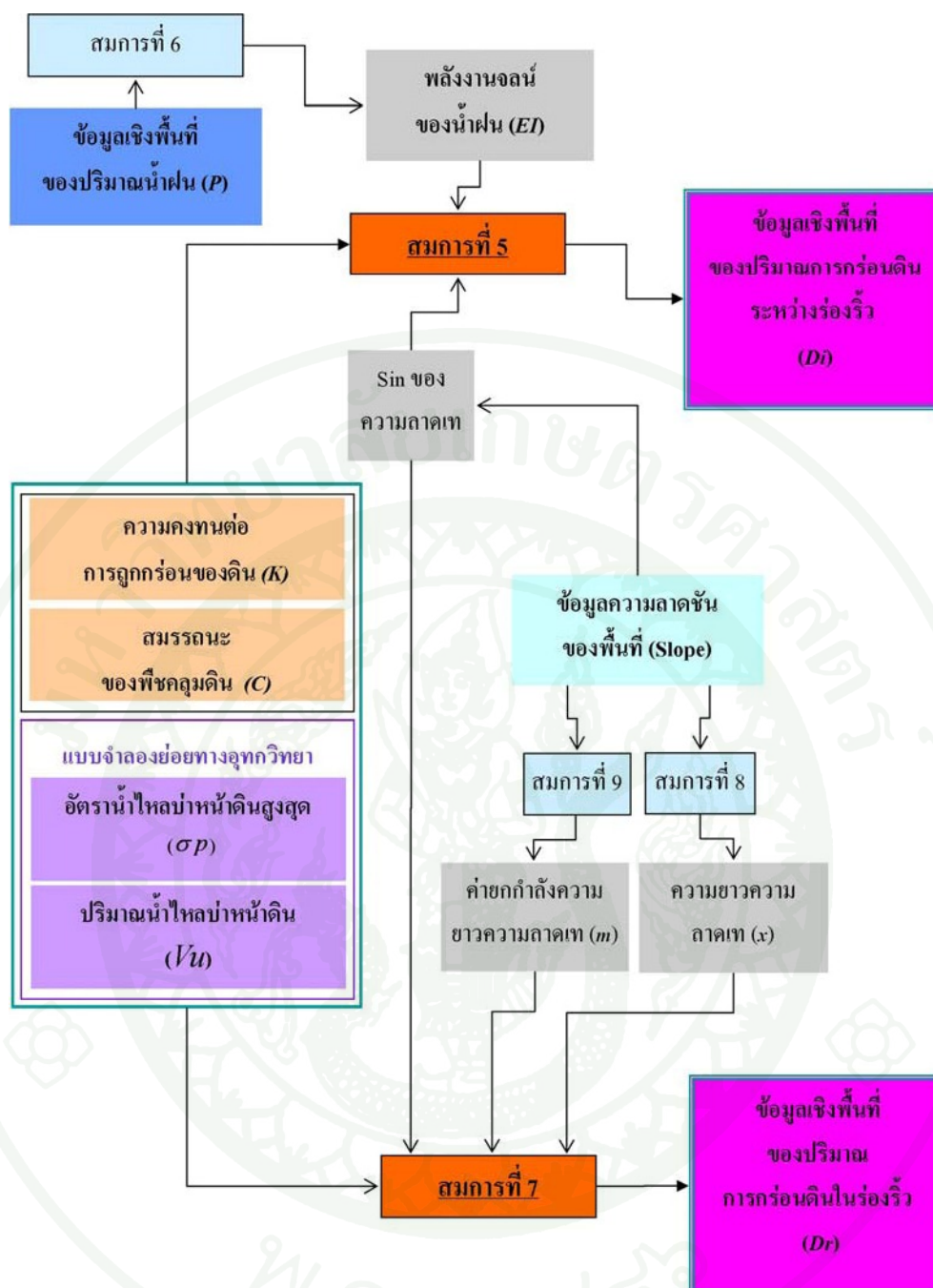
การคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน ประกอบด้วยการคำนวณค่าการ กร่อนดินระหว่างร่องรื้อ (D_i) และค่าการกร่อนดินในร่องรื้อ (D_r) โดยใช้สมการที่ (5) ถึงสมการ ที่ (9) ซึ่งได้จัดทำความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยทางการกร่อนดินและขั้นตอนการคำนวณ ดังแสดง ในภาพที่ 16



ภาพที่ 14 ค่า sin ของความลาดชันของพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 15 ความยาวความลาดเท (x) ของพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยและขั้นตอนการคำนวณค่าของแบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน (D_i และ Dr) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

2.2 การคำนวณค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายของตะกอนดิน (Transport capacity: T_c)

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการเคลื่อนย้ายของตะกอนดิน ตามสมการของ Yalin (1963) ได้แก่ แรงยกตะกอน (Y) แรงยกตะกอนวิกฤต (Y_{cr}) รัศมีชลศาสตร์ (R) dimensionless particle diameter (D^*) แรงเฉือนบนผิวหน้าดิน (V_*) ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคเนื้อดินบน (S_g) ขนาดอนุภาคตะกอน (d) ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (g) ความลาดชันของพื้นที่ (s) ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (V_u) และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ (η) การศึกษาครั้งนี้แบ่งประเภทของปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายของตะกอนดิน ออกเป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยที่มีอยู่แล้ว และปัจจัยที่ต้องคำนวณดังนี้

2.2.1 ปัจจัยที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคเนื้อดินบน (S_g) ขนาดอนุภาคตะกอน (d) ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (g) ความลาดชันของพื้นที่ (s) ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (V_u) และ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ (η)

1) ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคเนื้อดินบน (S_g)

ค่าความถ่วงจำเพาะของอนุภาคเนื้อดินบน (ภักดีศรี, 2547) ได้ศึกษาดินในพื้นที่จริง พบว่าชุดดินวังสะพุง มีความถ่วงจำเพาะ ของอนุภาคเนื้อดินบนเท่ากับ 2.73 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต

2) ขนาดอนุภาคตะกอน (d)

ขนาดอนุภาคตะกอนของดินชุดวังสะพุง เป็นตะกอนที่จัดอยู่ในกลุ่มดินเหนียว โดย Miller and Baharuddin (1987) และ Michael and Burt (1998) ได้กำหนดค่าขนาดอนุภาคตะกอนกลุ่มดินเหนียวไว้ที่ 3×10^{-4} มิลลิเมตร หรือ 1×10^{-6} ฟุต

3) ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (g)

ความเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 32.2 ฟุตต่อวินาที²

4) ความลาดชันของพื้นที่ (s)

ค่าความลาดชันของพื้นที่เป็นองศา สามารถสร้างขึ้นจากข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้เส้นชั้นระดับความสูง (contour)

5) ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (V_u)

ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองย่อยทางอุทกวิทยา

6) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ (η)

สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ เป็นค่าที่พิจารณาจากสภาพการใช้ที่ดินตามเกณฑ์ของ Limerinos (1970) ซึ่งกำหนดไว้ว่า สภาพการใช้ที่ดินที่ใช้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ เท่ากับ 0.05

2.2.2 ปัจจัยที่ต้องคำนวณ ได้แก่ แรงยกตะกอน (Y) แรงยกตะกอนวิกฤต (Y_{cr}) รัศมีชลศาสตร์ (R) dimensionless particle diameter (D^*) และ แรงเฉือนบนผิวหน้าดิน (V_*)

1) แรงยกตะกอน (Y)

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงยกตะกอน (Y) ได้แก่ ค่าแรงเฉือนบนผิวหน้าดิน (V_*) ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคน้ำดิน (S_g) ความลาดชันของพื้นที่ (s) และขนาดอนุภาคตะกอน (d)

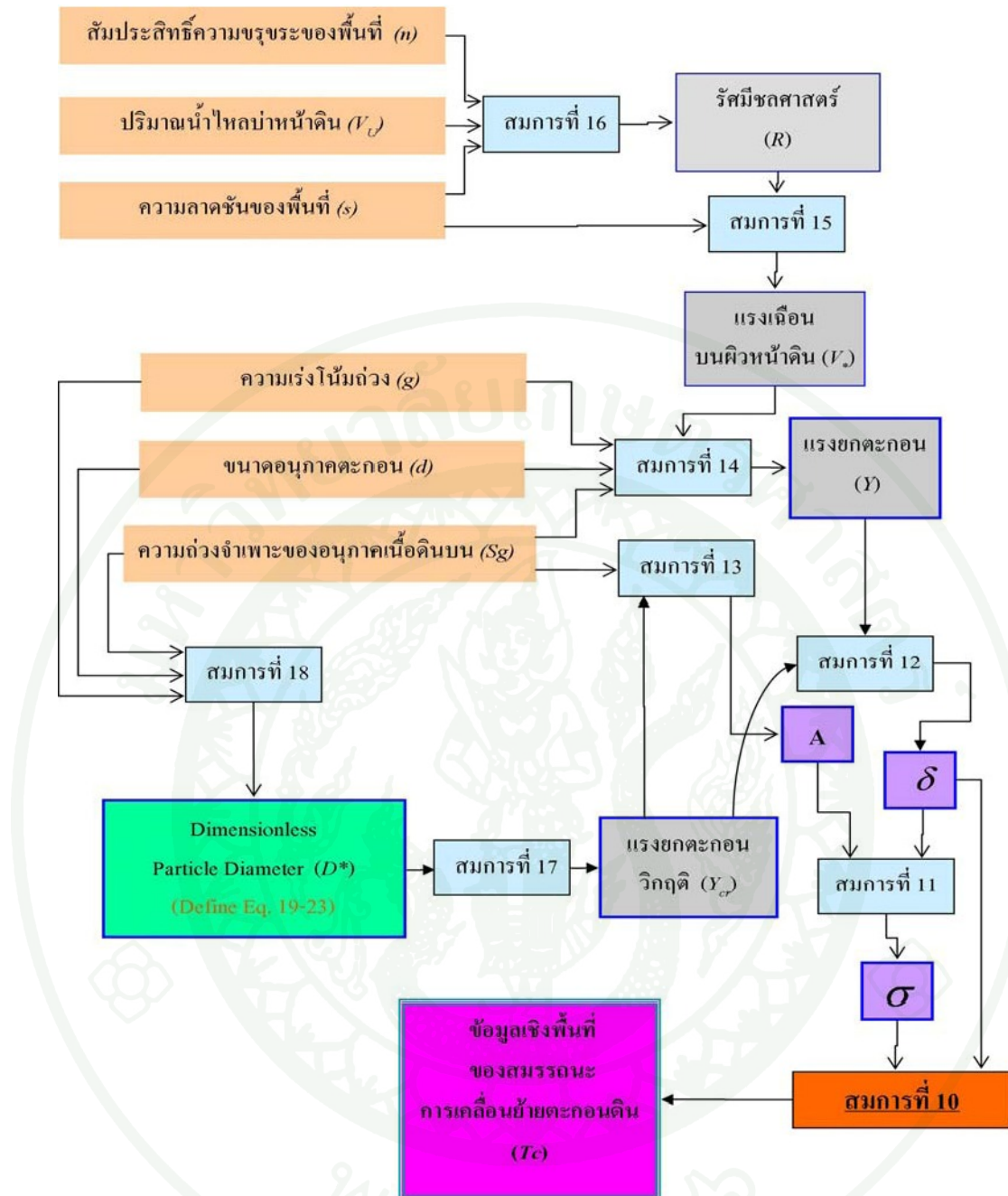
(1) ค่าแรงเฉือนบนผิวหน้าดิน คำนวณจากปัจจัย ความเร่งโน้มถ่วงของโลกและรัศมีชลศาสตร์ ดังสมการที่ (15) โดย ความเร่งโน้มถ่วงของโลก ใช้ค่า 32.2 ฟุตต่อวินาที² และรัศมีชลศาสตร์ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณดังสมการที่ (16)

(2) นำค่าที่คำนวณได้จากข้อ (1) มาคำนวณในสมการที่ (14) ทำให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่าแรงยกตะกอนเพื่อนำไปคำนวณในสมการที่ (12) ต่อไป

2) แรงยกตะกอนวิกฤต (Y_{cr})

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงยกตะกอนวิกฤต คือค่า dimensionless particle diameter ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (18) และนำค่านี้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในสมการที่ (19) ถึงสมการที่ (23) จะทำให้ได้สมการเพื่อคำนวณแรงยกตะกอนวิกฤต สำหรับใช้ในการคำนวณสมการที่ (12) ต่อไป

ปัจจัยทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น นำมาคำนวณในสมการที่ (10) ถึงสมการที่ (12) ทำให้ได้ค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนในพื้นที่ศึกษา โดยความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยต่าง ๆ และขั้นตอนการคำนวณ ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยและขั้นตอนการคำนวณค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (T_c) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

2.3 การคำนวณค่าสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน (Dep)

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตกทับถมของตะกอน (α) ค่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (Tc) และปริมาณของการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน (Ds) ซึ่งมีการคำนวณค่าดังนี้

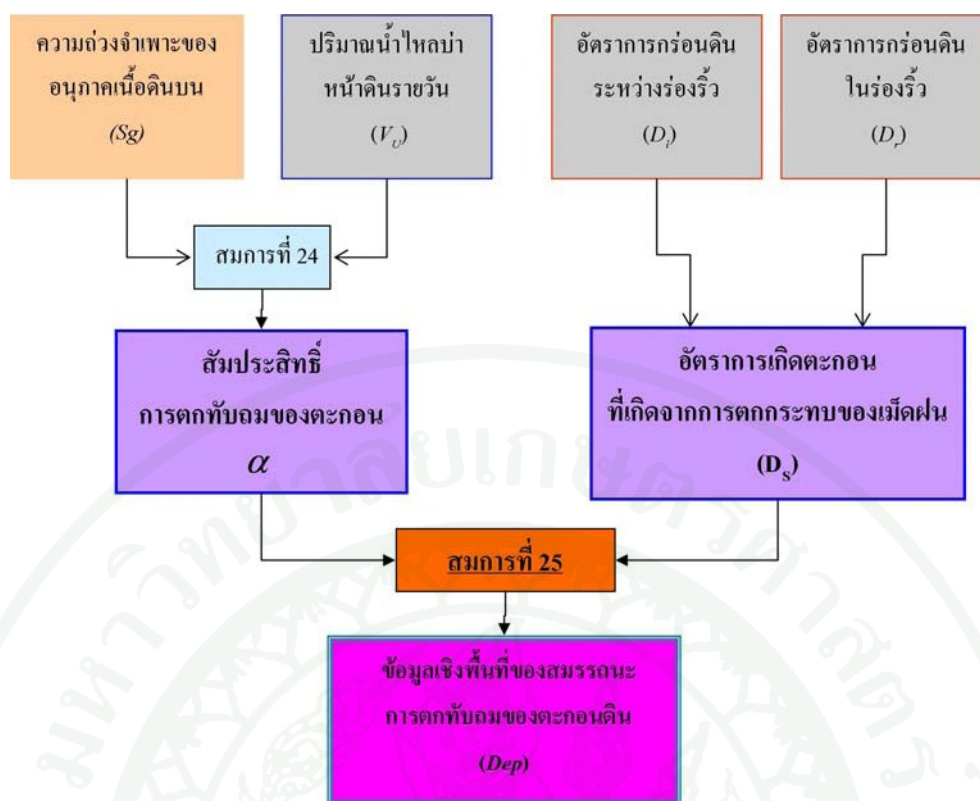
2.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การตกทับถมของตะกอน

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การตกทับถมของตะกอน ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะของอนุภาคเนื้อดินบน (Sg) และค่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (Vu) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองย่อยทางอุทก และแบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน นำปัจจัยทั้งสองดังกล่าวมาคำนวณในสมการที่ (25) ทำให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่าสัมประสิทธิ์การตกทับถมของตะกอนเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป

2.3.2 ค่าสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองย่อยของการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน

2.3.3 การกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝนเป็นค่าผลรวมของการกร่อนดินระหว่างร่องร้ว (Di) และการกร่อนดินในร่องร้ว (Dr)

นำปัจจัยทั้งสามข้างต้น คำนวณในสมการที่ (24) และสมการที่ (25) จะทำให้ได้ค่าสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน โดยความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยต่าง ๆ และขั้นตอนการคำนวณ ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยและขั้นตอนการคำนวณค่าสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน (Dep) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

2.4 การประเมินการกร่อนดินเป็นค่าปริมาณตะกอน (SED)

การประเมินการกร่อนดินในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS ใช้การพิจารณา ค่าการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน (Ds) สมรรถนะทางการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (Tc) และสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน (Dep) ซึ่งมีขั้นตอนในการพิจารณาเป็นค่า ปริมาณตะกอน (SED) ดังนี้

2.4.1 เปรียบเทียบการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน กับสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน

$$1) Tc \geq Ds; SED_m = Ds$$

ถ้าค่าสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินมากกว่าหรือเท่ากับค่าการกร่อนดิน ผลที่เกิดขึ้นคือ ตะกอนที่เคลื่อนที่ (SED_m) จะเท่ากับการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน

$$2) Tc < Ds; SED_m = Tc$$

ถ้าค่าสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินน้อยกว่าการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน ผลที่เกิดขึ้นคือ ตะกอนที่เคลื่อนที่ (SED_m) จะเท่ากับสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน

2.4.2 เปรียบเทียบตะกอนที่เคลื่อนที่ (SED_m) กับสมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดิน (Dep)

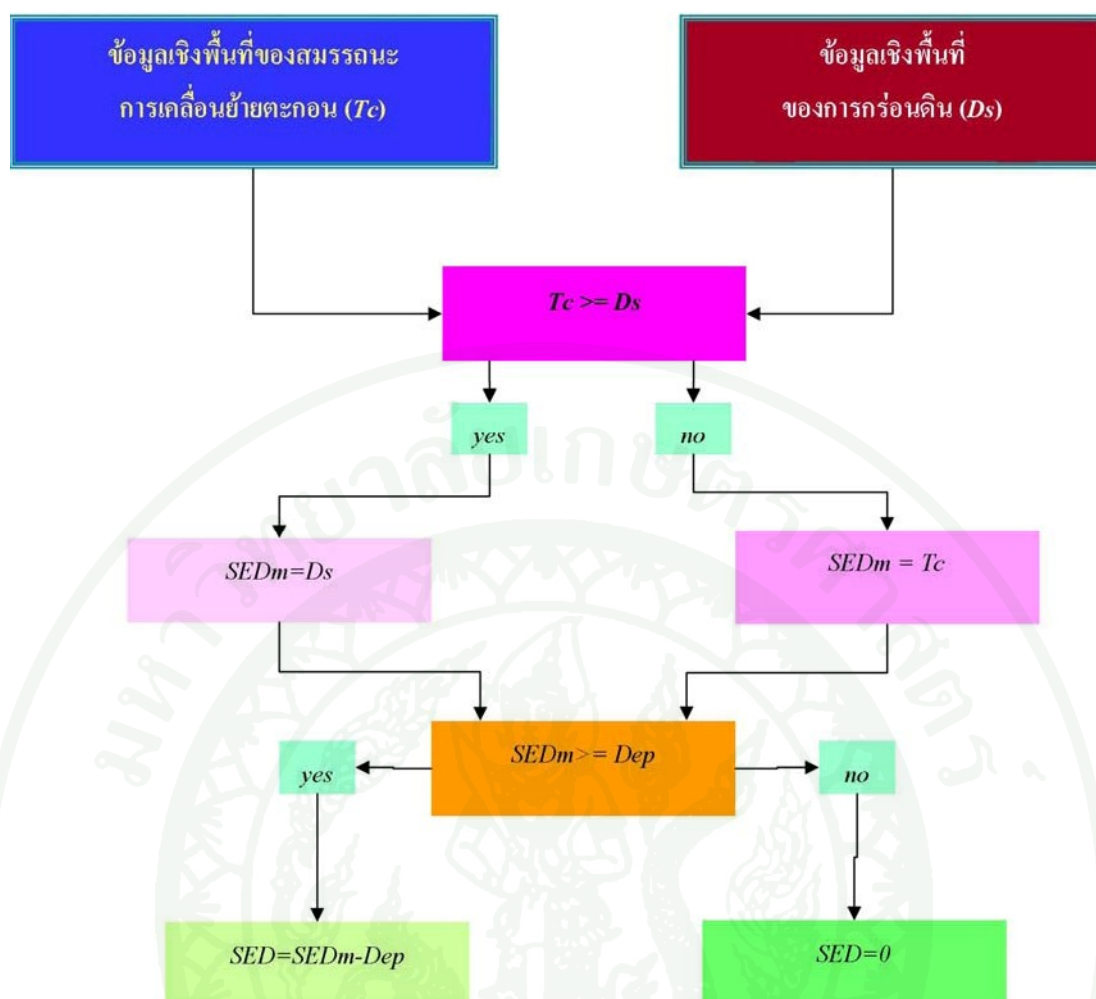
$$1) SED_m \geq Dep; SED = SED_m - Dep$$

ถ้าค่าตะกอนที่เคลื่อนที่ (SED_m) มากกว่าหรือเท่ากับสมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดิน (Dep) ผลที่เกิดขึ้น คือปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ออกไปจากพื้นที่ (SED) จะเท่ากับผลต่างของปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่กับสมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดิน

$$2) SED_m < Dep; SED = 0$$

ถ้าค่าตะกอนที่เคลื่อนที่ (SED_m) น้อยกว่าสมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดิน ผลที่เกิดขึ้น คือตะกอนที่เคลื่อนที่ออกไปจากพื้นที่ (SED) จะเท่ากับ 0

โดยขั้นตอนการประเมินตะกอนดินดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์และขั้นตอนการประเมินการกร่อนดินเป็นค่าปริมาณตะกอน (SED) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

3. การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ และการคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางเคมี

Frere *et al.* (1980) ได้เสนอสมการในแบบจำลองสำหรับคำนวณ ปริมาณสารเคมีในตะกอนดินโดยพิจารณาจากธาตุปุ๋ยได้แก่ไนโตรเจนในรูปของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) และฟอสฟอรัสในรูปของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorous) และพิจารณา จากสารกำจัดศัตรูพืชได้แก่สารกำจัดวัชพืช สารกำจัดโรคและแมลง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม การใช้สารเคมีจากเกษตรกรในพื้นที่ โดยกำหนดจำนวนตัวอย่างเกษตรกรตามสมการของ Yamane (1967) ดังแสดงใน ตารางผนวกที่ 4 เพื่อนำข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีเป็นปัจจัยในการคำนวณ ร่วมกับปริมาณ ตะกอนดินที่เกิดขึ้นในวันถัดไป ดังนี้

3.1 การจัดเตรียมข้อมูลปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี ($Soil_x$)

เก็บข้อมูลปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา ในปี พ.ศ. 2547 พบว่าเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ศึกษา มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาปี พ.ศ. 2547

วันที่	ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ย ($Soil_N$)	ปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสเฉลี่ย ($Soil_P$)
	กิโลกรัมต่อเฮกตาร์	กิโลกรัมต่อเฮกตาร์
25 เมษายน 2547	58.41	46.88
15 พฤษภาคม 2547	113.34	0
1 มิถุนายน 2547	58.11	15.20

3.2 การจัดเตรียมข้อมูลปริมาณการใช้สารกำจัดศัตรูพืช

เก็บข้อมูลปริมาณการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา พบว่าไม่มีการใช้สารกำจัดโรคและแมลง (R_F) ดังนั้น จึงมีเพียงการใช้สารกำจัดวัชพืช (R_H) เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยหลังจากวันที่ 5 พฤศจิกายน 2547 ไม่มีปริมาณน้ำฝนที่จะทำให้เกิดตะกอนได้ ดังนั้น ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่คำนวณได้ จึงมีเฉพาะค่าจากสาร Atrazine ในตะกอนดินที่เกิดขึ้น ในวันที่ 19 เมษายน 2547 เท่านั้น

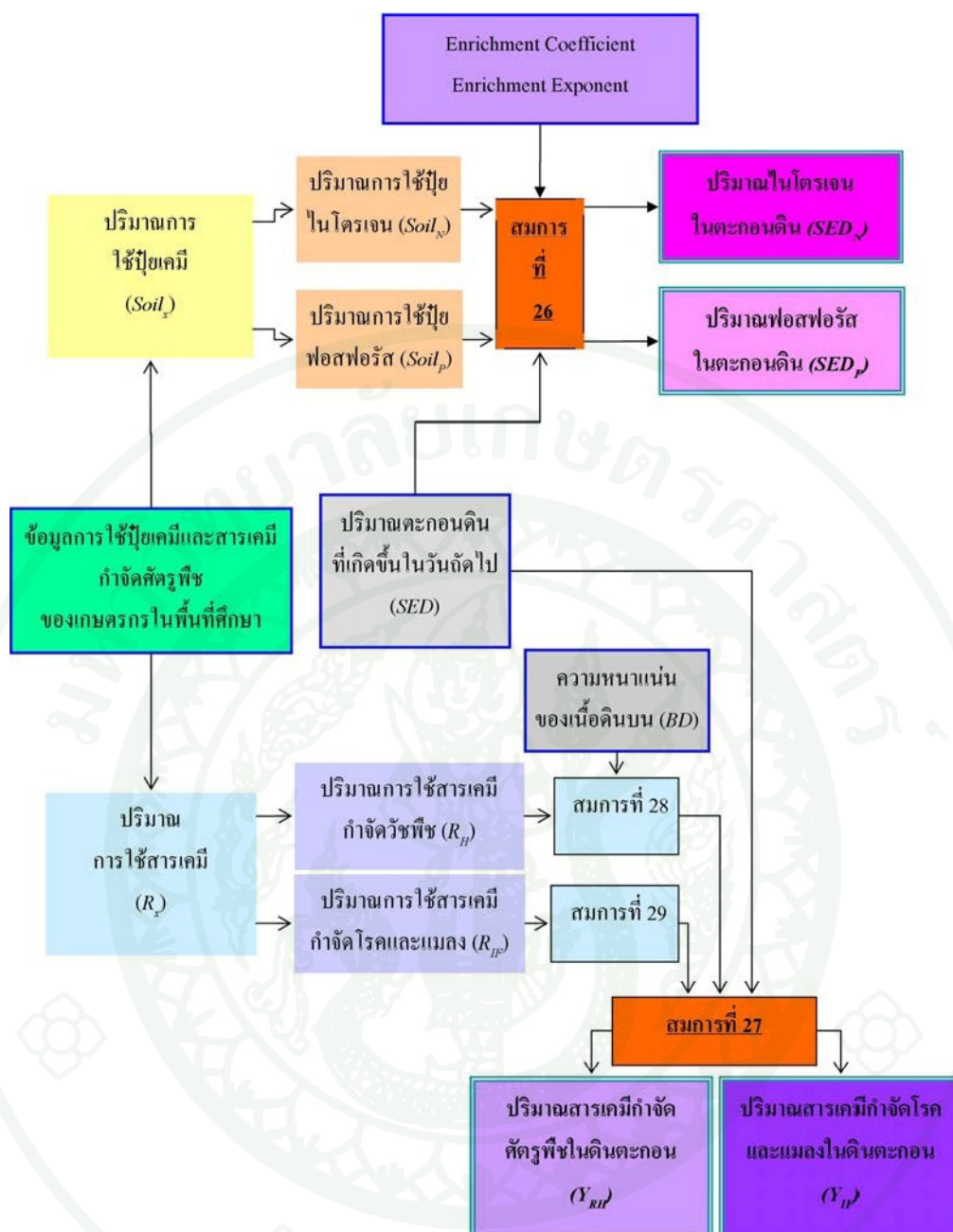
ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2547

วันที่	ปริมาณการใช้สารกำจัดศัตรูพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสารต่อกิโลกรัมของดิน)	
	Atrazine	Alachlor
18 เมษายน 2547	0.0205	-
5 พฤศจิกายน 2547	-	0.0073

3.3 ค่าความหนาแน่นของเนื้อดินบน (BD)

ภักสิทธิ์ (2548) ได้ศึกษาข้อมูล ค่าความหนาแน่นของเนื้อดินในชุดดินวังสะพุง มีค่าเท่ากับ 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3.4 นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.1, 3.2 และ 3.3 มาคำนวณค่าในสมการที่ (26) ถึงสมการที่ (28) จะได้ค่าปริมาณของธาตุปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดิน โดยความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยต่าง ๆ และขั้นตอนในการคำนวณ ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ของการใช้ปัจจัยต่าง ๆ และขั้นตอนในการคำนวณค่าในแบบจำลองย่อยทางเคมี (Y_N , Y_P , SED_{RH} และ SED_{IF}) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS

ผลและวิจารณ์

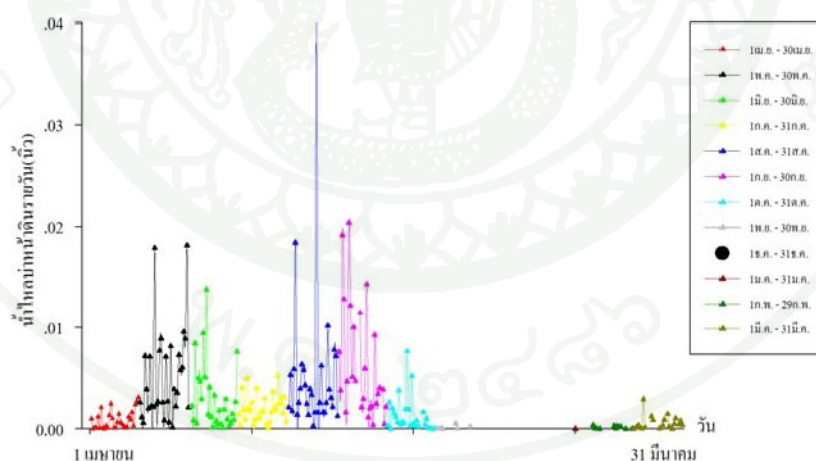
1. ผลการประเมินปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน

1.1 ปัจจัยในแบบจำลองย่อยทางอุทกวิทยา

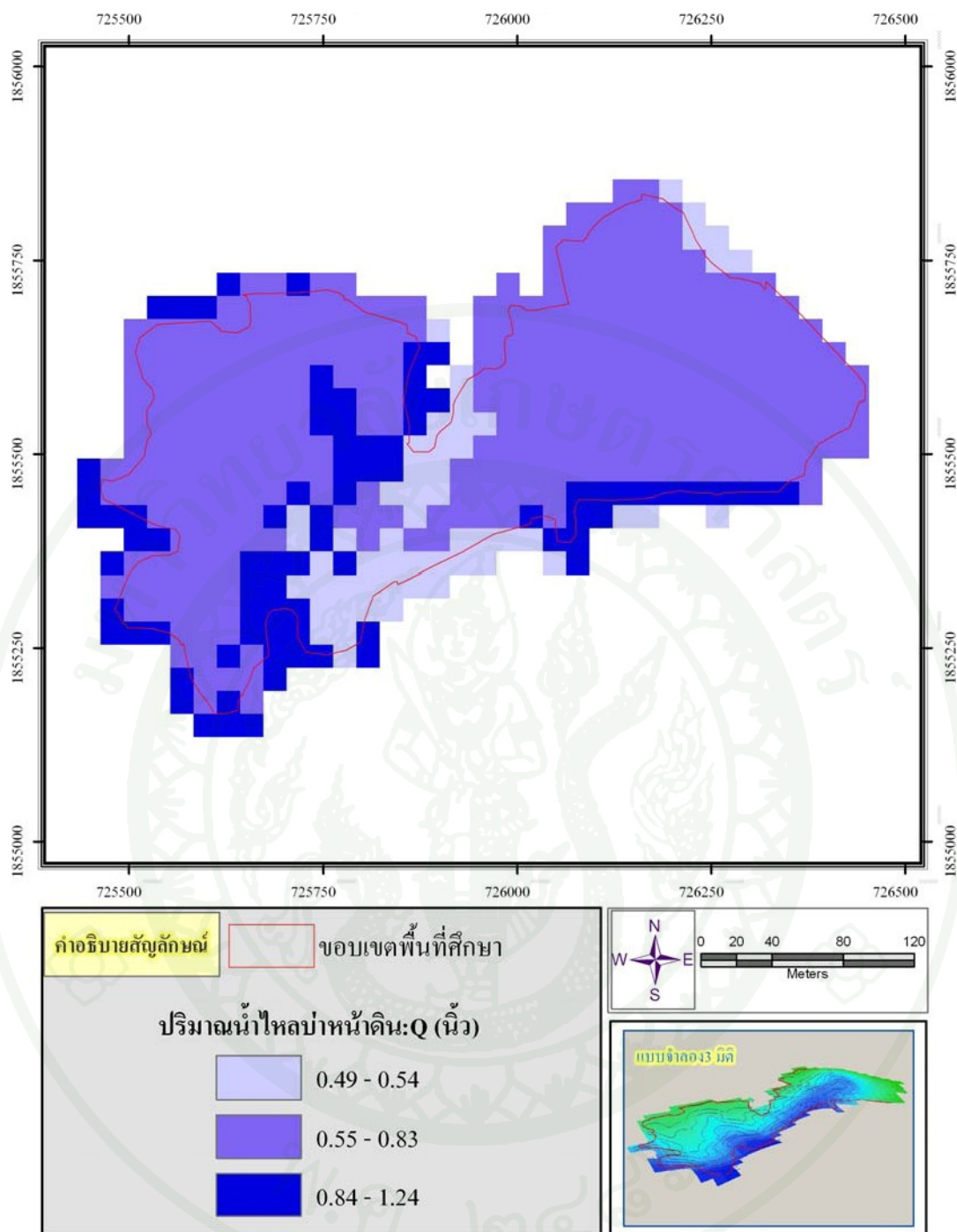
1.1.1 ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน (Q)

ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวัน ที่ได้จากการคำนวณมีค่าเฉลี่ย 3×10^{-3} นิ้ว ค่าต่ำสุดเท่ากับ 4×10^{-6} นิ้ว และค่าสูงสุดเท่ากับ 4×10^{-2} นิ้ว โดยมีจำนวนวันในการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเท่ากับ 242 วัน น้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดในวันที่ 18 สิงหาคม 2547 และต่ำสุดในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2547 ซึ่งปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวันในรอบปีได้แสดงไว้ในภาพที่ 21

ได้แบ่งช่วงปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินด้วยค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break ออกเป็น 3 ช่วง คือ 0.48 - 0.54, 0.55 - 0.83 และ 0.84 - 1.24 นิ้ว พบว่าบริเวณที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินสูง อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ ที่มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างลาดชัน (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 21 ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวันในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา

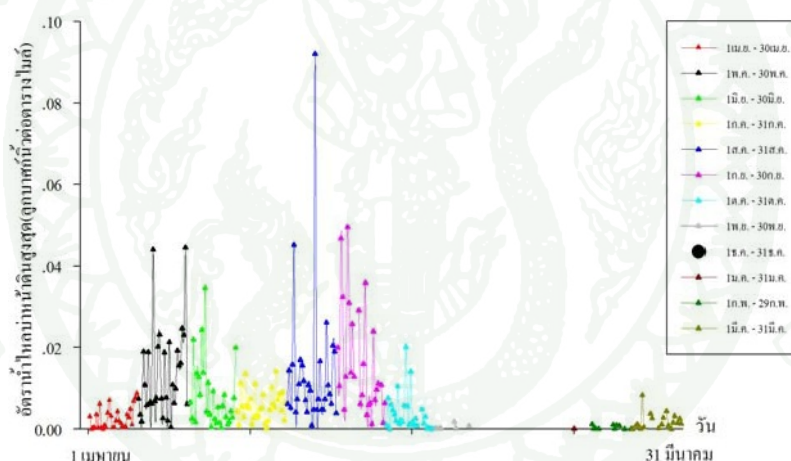


ภาพที่ 22 ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Q) ด้วยค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break

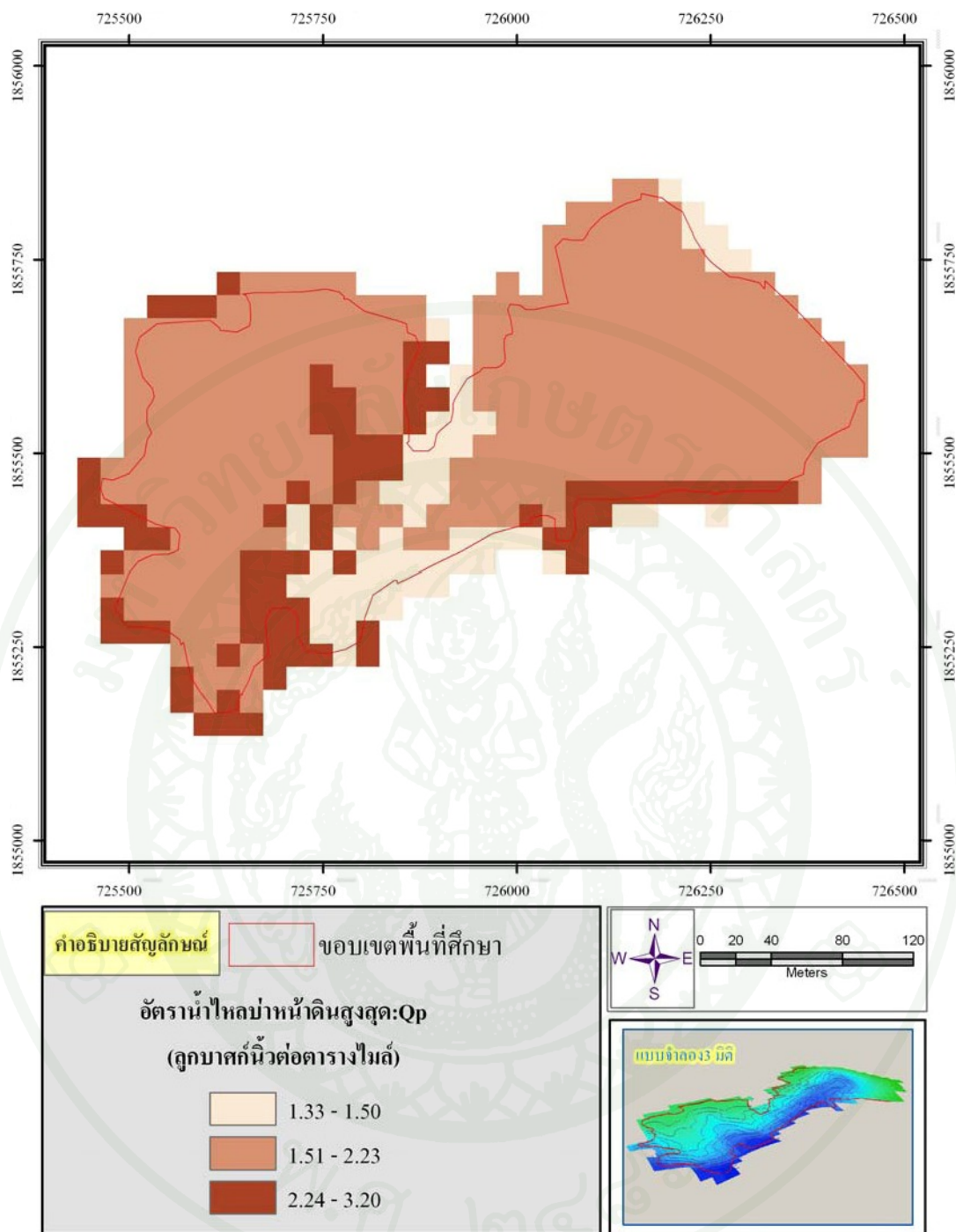
1.1.2 อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด (Q_p)

อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินที่ได้จากการคำนวณมีค่าเฉลี่ย 8×10^{-3} ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางไมล์ ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.1×10^{-5} ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางไมล์ และค่าสูงสุดเท่ากับ 9.2×10^{-2} ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางไมล์ โดยมีจำนวนวันในการคำนวณค่าอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินรายวันสูงสุดเท่ากับ 242 วัน อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดในวันที่ 18 สิงหาคม 2547 และต่ำสุดในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2547 ซึ่งอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดรายวันในรอบปี ได้แสดงไว้ในภาพที่ 23

ได้แบ่งช่วงอัตราอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุดด้วยค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break ออกเป็น 3 ช่วง คือ 1.33 – 1.50, 1.51 – 2.23 และ 2.24 – 3.20 ลูกบาศก์นิ้วต่อตารางไมล์ โดยบริเวณที่มีอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำจากบริเวณที่มีความลาดชันมากกว่า (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 23 อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด (Q_p) ในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา



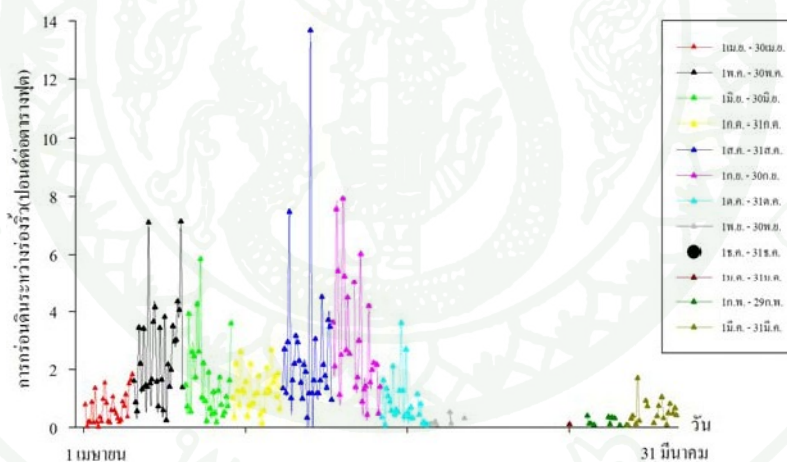
ภาพที่ 24 อัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด (Q_p) ด้วยค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break

1.2 ปัจจัยในแบบจำลองย่อยทางการกร่อนดิน

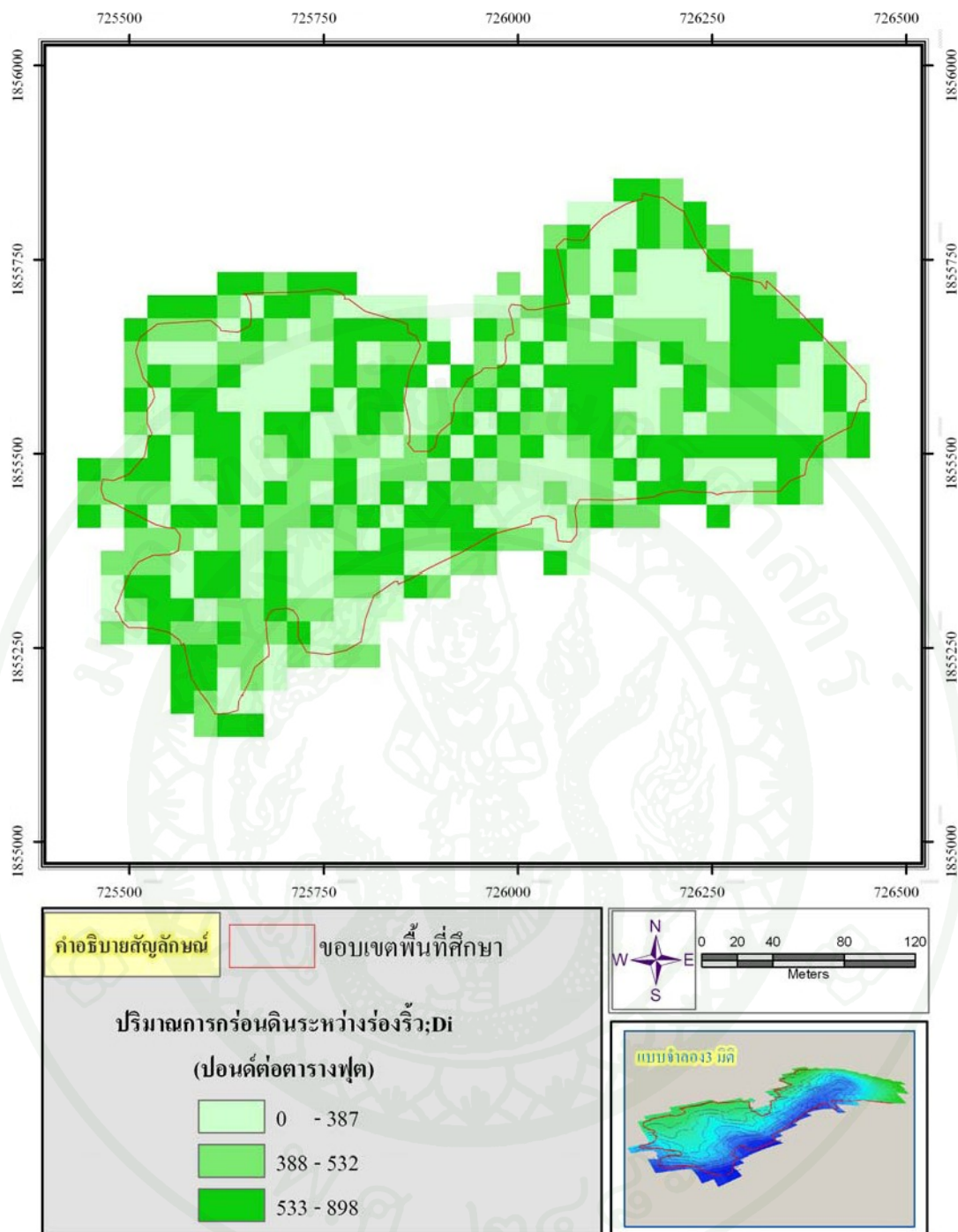
1.2.1 การกร่อนดินระหว่างร่องรื้อ (D_i)

การกร่อนดินระหว่างร่องรื้อรายวัน ที่ได้จากการคำนวณมีค่าเฉลี่ย 1.58 ปอนด์ต่อตารางฟุต ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.1×10^{-2} ปอนด์ต่อตารางฟุต และค่าสูงสุดเท่ากับ 13.68 ปอนด์ต่อตารางฟุต โดยมีจำนวนวันในการคำนวณการกร่อนดินระหว่างร่องรื้อเท่ากับ 242 วัน การกร่อนดินระหว่างร่องรื้อสูงสุดในวันที่ 18 สิงหาคม 2547 และต่ำสุดในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2547 ซึ่งการกร่อนดินระหว่างร่องรื้อในรอบปี ได้แสดงไว้ในภาพที่ 25

ได้แบ่งช่วงการกร่อนดินระหว่างร่องรื้อ ด้วยค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี naturalbreak ออกเป็น 3 ช่วง คือ 0 – 387, 388– 532 และ 533 – 898 ปอนด์ต่อตารางฟุต พบว่าบริเวณที่มีปริมาณการกร่อนดินระหว่างร่องรื้อสูงสุด มีการกระจายตัวโดยทั่วไปของพื้นที่ (ภาพที่ 26)



ภาพที่ 25 การกร่อนดินระหว่างร่องรื้อรายวัน (D_i) ในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา

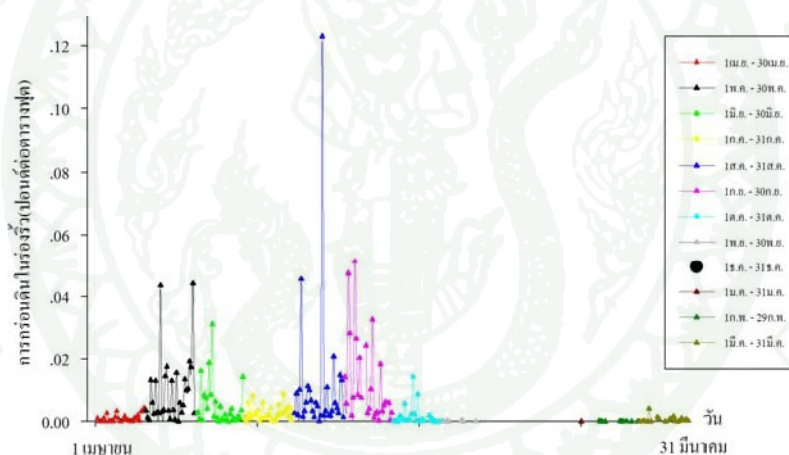


ภาพที่ 26 การกร่อนดินระหว่างร่องรีว (D_i) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break

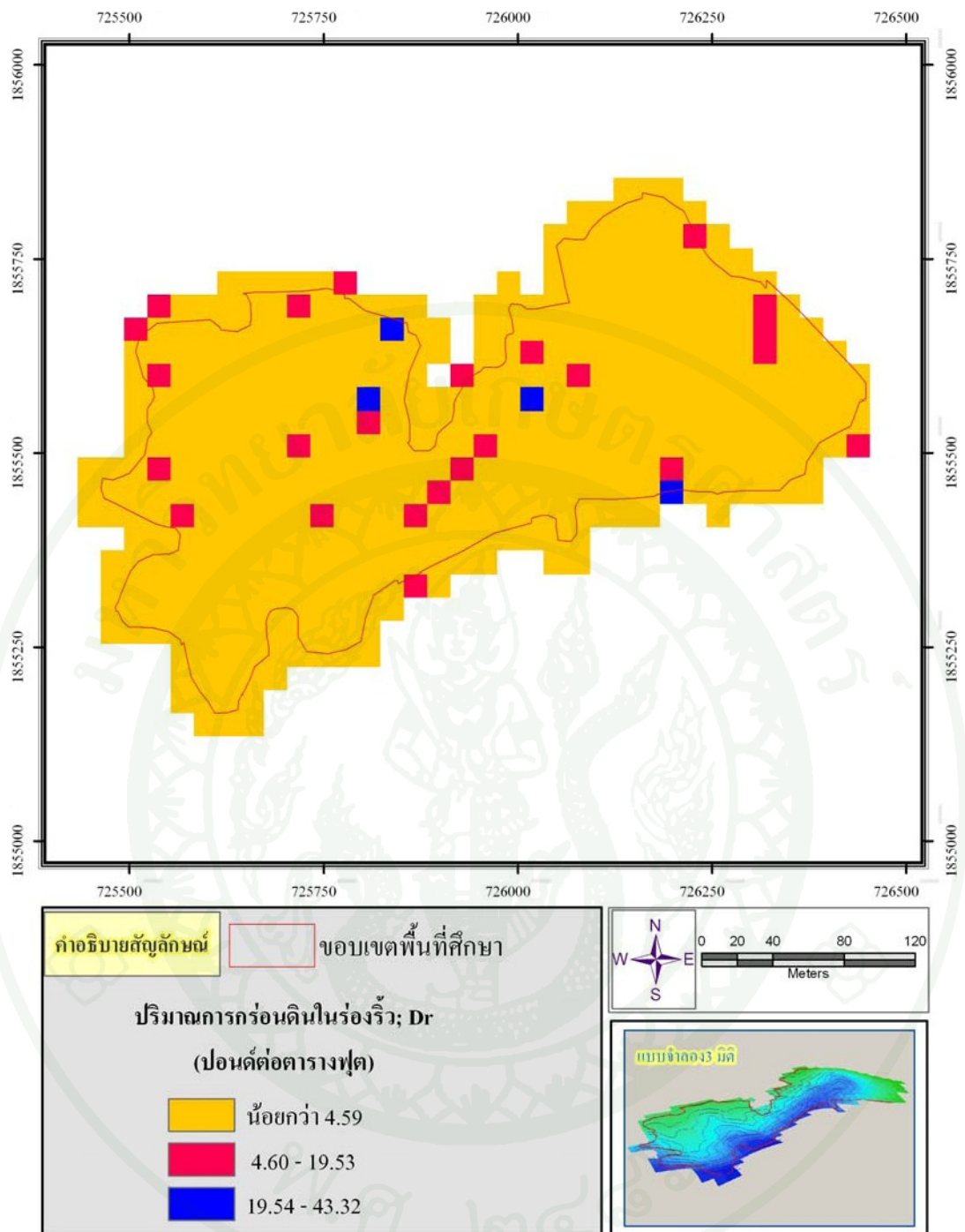
1.2.2 การกร่อนดินในร่องรื้อ (Dr)

การกร่อนดินในร่องรื้อรายวันที่ได้จากการคำนวณมีค่าเฉลี่ย 5×10^{-3} ปอนด์ต่อตารางฟุต ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1×10^{-6} ปอนด์ต่อตารางฟุต และค่าสูงสุดเท่ากับ 1.2×10^{-1} ปอนด์ต่อตารางฟุต โดยมีจำนวนวันในการคำนวณการกร่อนดินในร่องรื้อเท่ากับ 242 วัน การกร่อนดินในร่องรื้อสูงสุดในวันที่ 18 สิงหาคม 2547 และต่ำสุดในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2547 ซึ่งการกร่อนดินในร่องรื้อในรอบปี ได้แสดงไว้ในภาพที่ 27

ได้แบ่งช่วงการกร่อนดินในร่องรื้อ จากค่าผลรวมรายปี ด้วยค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break ออกเป็น 3 ช่วง คือ น้อยกว่า 4.59, 4.60 – 19.53 และ 19.54 – 43.32 ปอนด์ต่อตารางฟุต พบว่าบริเวณที่มีปริมาณการกร่อนดินในร่องรื้อ ส่วนมากมีค่าน้อยกว่า 4.59 ส่วนบริเวณที่มีปริมาณการกร่อนดินในร่องรื้อในระดับกลาง มีการกระจายตัวเล็กน้อยในพื้นที่ (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 27 การกร่อนดินในร่องรื้อรายวัน (Dr) ในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา

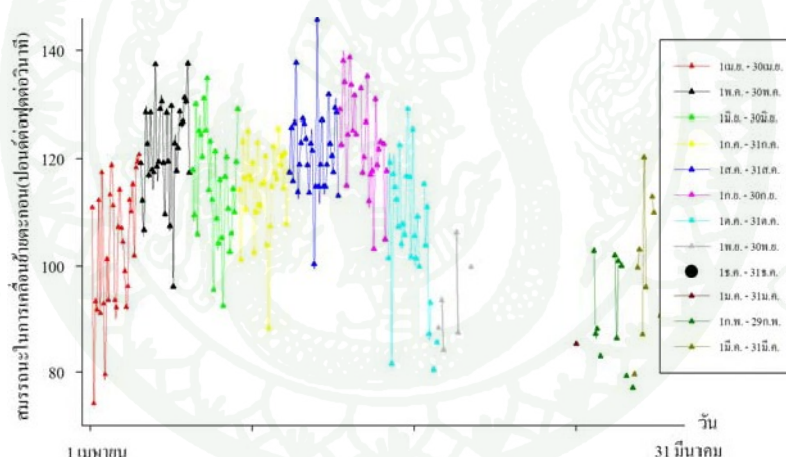


ภาพที่ 28 การกร่อนดินในร่องร้ว (D_r) ด้วยค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break

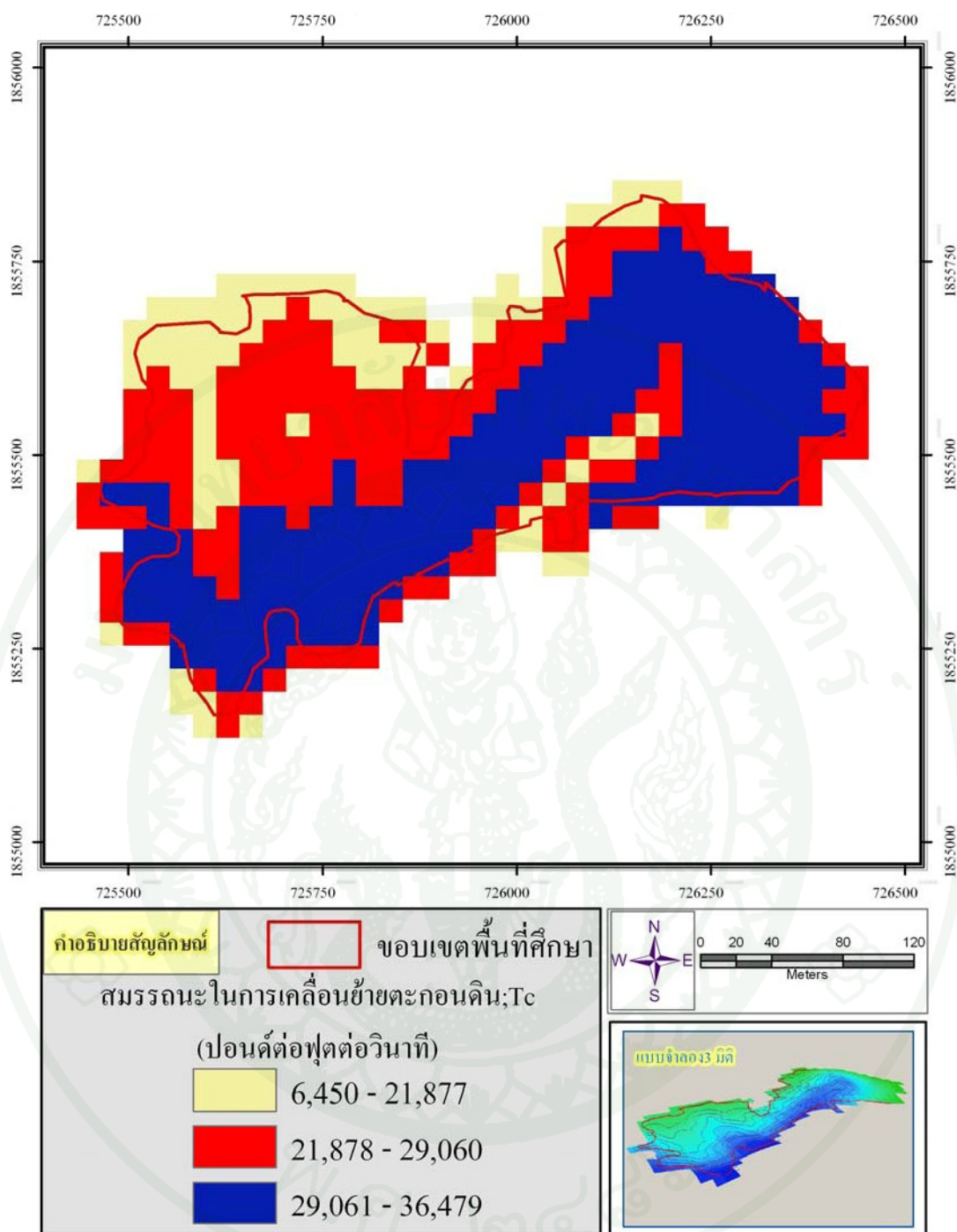
1.2.3 สมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (T_c)

สมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน ที่ได้จากการคำนวณมีค่าเฉลี่ย 112.65 ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที ค่าต่ำสุดเท่ากับ 74.19 ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที และค่าสูงสุดเท่ากับ 145.724 ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที โดยมีจำนวนวันในการคำนวณสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินเท่ากับ 242 วัน สมรรถนะในการตะกอนเคลื่อนย้ายตะกอนดินสูงสุดในวันที่ 18 สิงหาคม 2547 และต่ำสุดในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2547 ซึ่งสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายดินในรอบปี ได้แสดงไว้ใน ภาพที่ 29

ได้แบ่งช่วงสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน จากค่าผลรวมรายปี ด้วยค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break ออกเป็น 3 ช่วงคือ 6,450 - 21,877, 21,878 - 29,060 และ 29,061 - 36,480 ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที พบว่าบริเวณที่มีค่าสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินสูงมักพบอยู่ในบริเวณที่มีสภาพพื้นที่ลาดชัน (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 29 สมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินรายวัน (T_c) ในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา

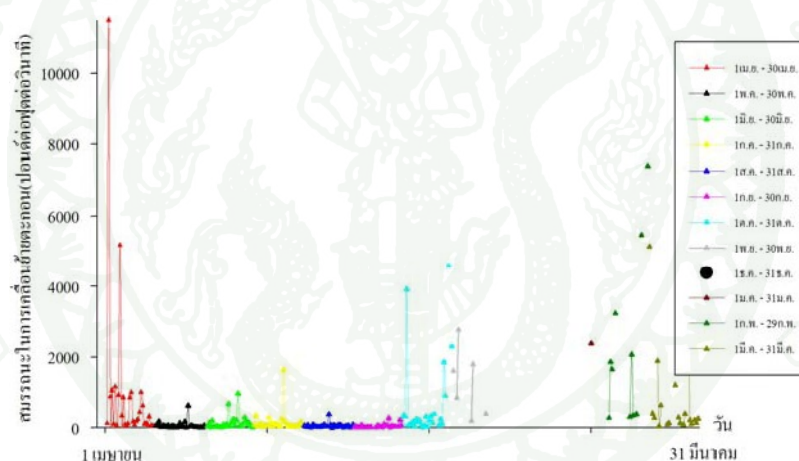


ภาพที่ 30 สมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (T_c) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break

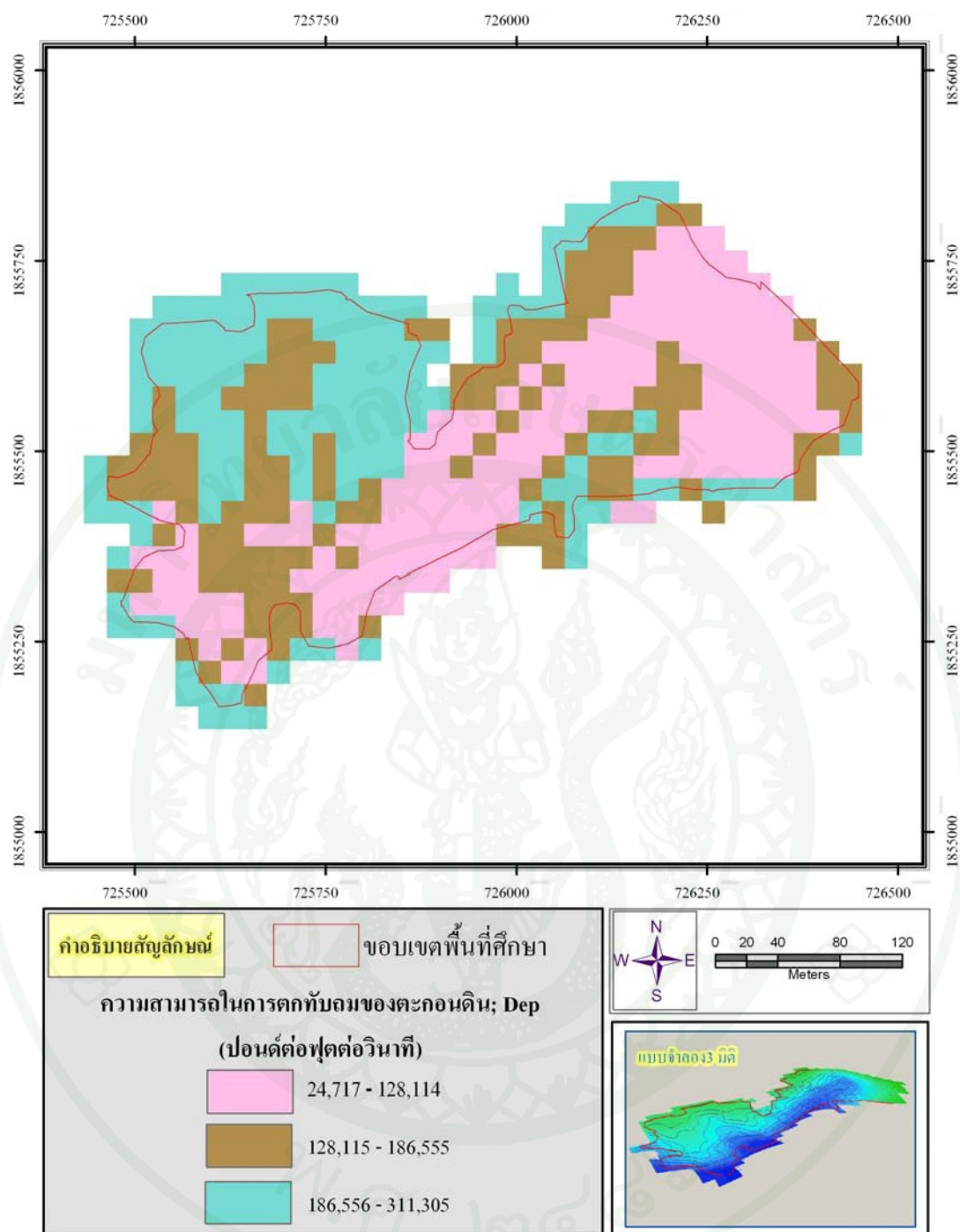
1.2.4 ค่าสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน

สมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน ที่ได้จากการคำนวณมีค่าเฉลี่ย 448.97 ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที ค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.58 ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที และค่าสูงสุดเท่ากับ 11,499.06 ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที โดยมีจำนวนวันในการคำนวณสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดินเท่ากับ 242 วัน สมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดินสูงสุดในวันที่ 2 เมษายน 2547 และต่ำสุดในวันที่ 18 สิงหาคม 2547 ซึ่งสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน ในรอบปี ได้แสดงไว้ในภาพที่ 31

ได้แบ่งช่วงสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน จากค่าผลรวมรายปี ด้วยค่าผลรวมรายปีด้วยวิธี natural break ออกเป็น 3 ช่วงคือ 24,717 – 128,114 , 128,115 – 186,555 และ 186,556 – 311,305 ปอนด์ต่อฟุตต่อวินาที พบว่าบริเวณที่มีสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนดิน สูงมักพบอยู่ในบริเวณตอนปลายของความลาดชันซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ (ภาพที่ 32)



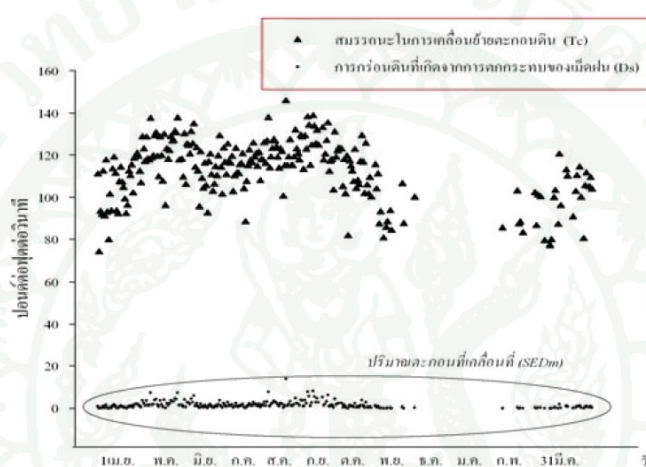
ภาพที่ 31 สมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดินรายวัน (Dep) ในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา



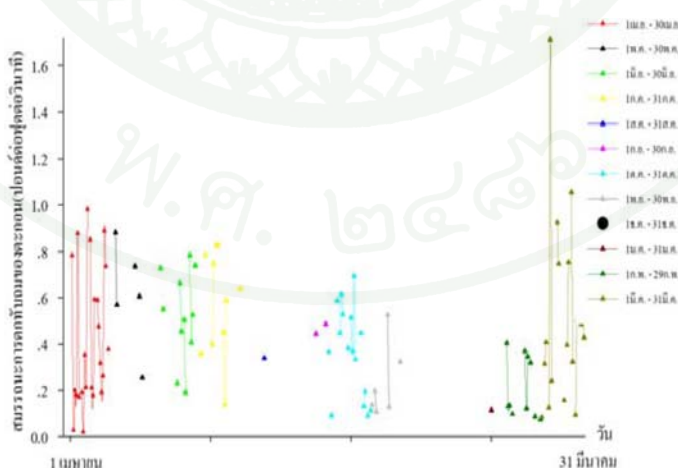
ภาพที่ 32 สมรรถนะในการตกทับถมของตะกอนดิน (*Dep*) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break

1.2.5 การกร่อนดินในพื้นที่ศึกษา

เปรียบเทียบการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน กับสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดินพบว่า การกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝนน้อยกว่าสมรรถนะการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน ดังนั้นตะกอนดินที่เคลื่อนที่จึงมีค่าเท่ากับ การกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน (ภาพที่ 33) และตะกอนดินที่เคลื่อนที่กับสมรรถนะการตกทับถมของตะกอนพบว่า ตะกอนดินที่เคลื่อนที่น้อยกว่าค่าสมรรถนะการตกทับถมของตะกอน จึงทำให้เกิดการกร่อนดินในพื้นที่ศึกษา (onsite erosion) ซึ่งเท่ากับ 33,319 ปอนด์ต่อตารางฟุต ดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบค่าการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝนกับสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินในรอบปี ของพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 34 ปริมาณการกร่อนดินในพื้นที่ (onsite erosion) ในรอบปีของพื้นที่ศึกษา

1.3 ผลการศึกษาในแบบจำลองย่อยทางเคมี

1.3.1 ปริมาณธาตุปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตะกอนดิน (SED_N , SED_P) และปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช (Atrazine) ในตะกอนดิน ($Y_{Atrazine}$)

ปริมาณธาตุปุ๋ยไนโตรเจนในตะกอนดิน ได้พิจารณาจากปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในวันที่ 26 เมษายน 16 พฤษภาคม และวันที่ 2 มิถุนายน 2547 ซึ่งเป็นวันหลังจากที่มีการใส่ธาตุปุ๋ยไนโตรเจนลงในพื้นที่และเกิดตะกอนจากการที่ฝนตก (ตารางที่ 4) จากการคำนวณพบว่าผลรวมของ ธาตุปุ๋ยไนโตรเจนในตะกอนดินมีค่าเท่ากับ 0.521 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยค่าสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.194 และ 0.182 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ส่วนค่าปริมาณธาตุปุ๋ยฟอสฟอรัสในตะกอนดินได้พิจารณาจากปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในวันที่ 26 เมษายน และวันที่ 2 มิถุนายน 2547 ซึ่งเป็นวันหลังจากที่มีการใส่ธาตุปุ๋ยฟอสฟอรัสลงในพื้นที่และเกิดตะกอนจากการที่ฝนตก ส่วนวันที่ 2 มิถุนายน 2547 ไม่มีการใส่ธาตุปุ๋ยฟอสฟอรัสลงในพื้นที่ จากการคำนวณค่าผลรวมของปริมาณธาตุปุ๋ยฟอสฟอรัสในตะกอนดินเท่ากับ 1.121 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยค่าสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.607 และ 0.514 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดิน ($Y_{Atrazine}$) พิจารณาจากปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในวันที่ 19 เมษายน 2547 ซึ่งเป็นวันหลังจากที่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชลงในพื้นที่และเกิดตะกอนจากการที่ฝนตก จากการคำนวณพบว่าปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในดินตะกอนมีค่าเท่ากับ 0.423 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารต่อกิโลกรัมของดิน (ตารางที่ 3)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชที่คำนวณได้ กับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น พบว่า ธาตุปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชที่คำนวณได้ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนดิน (ภาพที่ 35)

จากภาพที่ 36 ได้แบ่งช่วงค่าปริมาณธาตุปุ๋ยไนโตรเจนในตะกอนดินจากผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break ออกเป็น 3 ช่วงคือ 0.46– 0.55, 0.56 – 0.73 และ 0.74 – 1.24 โดย ค่าปริมาณธาตุปุ๋ยไนโตรเจนในตะกอนดินส่วนมาก อยู่ในช่วง 0.56 – 0.73 ซึ่งอยู่ในบริเวณตอนกลางของความลาดชัน ส่วนบริเวณตอนล่างของพื้นที่ลาดชันจะเพิ่ม ปริมาณมากขึ้น

ผลรวมของปริมาณธาตุปุ๋ยฟอสฟอรัสในตะกอนดินเมื่อนำมาแบ่งด้วยวิธี natural break ออกเป็น 3 ช่วงคือ 1.05 – 1.10, 1.11 – 1.13 และ 1.14 – 1.15 โดยค่าปริมาณธาตุปุ๋ยฟอสฟอรัสในตะกอนดินส่วนมาก อยู่ในช่วง 1.14 – 1.15 และมีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 37)

ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา มีปริมาณค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรมีการใส่สารเคมีดังกล่าวในปริมาณไม่มากนัก ประกอบกับในบางวันของการใส่สารเคมีแล้วไม่มีฝนตก จึงไม่เกิดตะกอนดิน เมื่อนำค่าปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดินที่คำนวณได้มาแบ่งช่วง ด้วยวิธี natural break ออกเป็น 3 ช่วงคือ 0 – 1.04, 1.05 – 4.04 และ 4.05 – 7.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารต่อกิโลกรัมของดิน พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษามีค่าปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดินอยู่ในช่วง 0 – 1.04 ส่วนช่วง 1.05 – 4.04 จะกระจายตัวอยู่บริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบต่ำจึงทำให้มีสารเคมีในตะกอนดินปรากฏมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 38

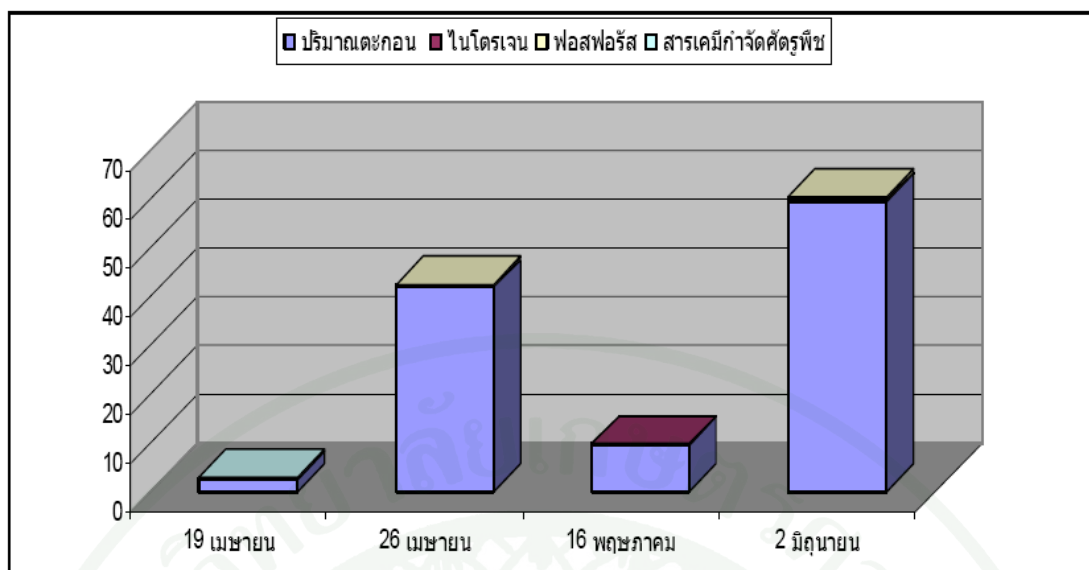
ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดินที่ได้จากการคำนวณ

วันที่*	ปริมาณตะกอน (kg/ha)	ปริมาณธาตุปุ๋ยและสารเคมีในตะกอนดิน		
		ไนโตรเจน ^{1/} (kg/ha)	ไนโตรเจน ^{2/} (kg/ha)	สารกำจัดศัตรูพืช ^{3/} (ppm/kg.soil)
19 เมษายน 2547	2.457	0	0	0.423
26 เมษายน 2547	41.863	0.185	0.514	0
16 พฤษภาคม 2547	9.564	0.194	0	0
2 มิถุนายน 2547	59.661	0.182	0.607	0
รวม	113.545	0.561	1.121	0.423

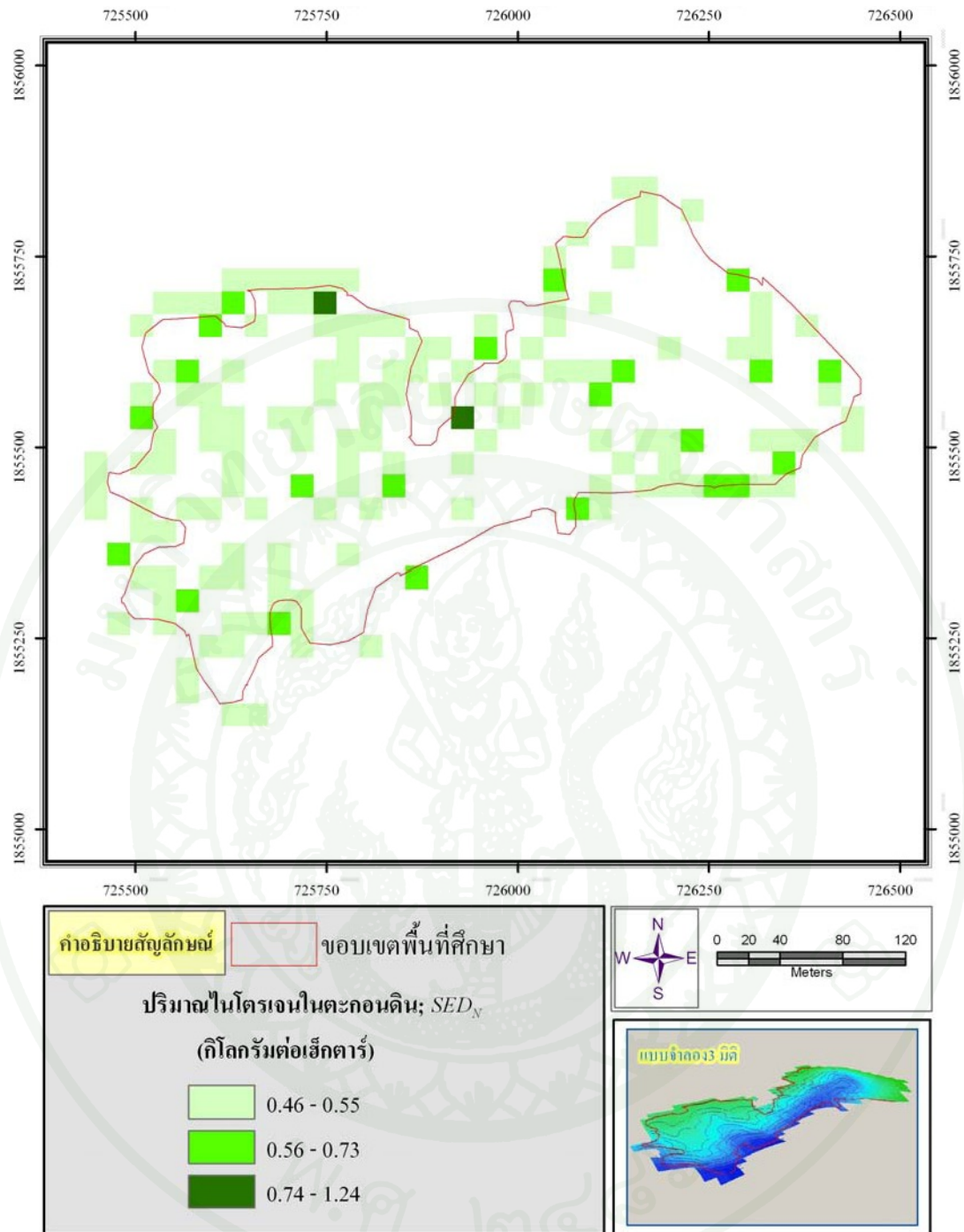
หมายเหตุ 1/ สมการที่ (7)

2/ สมการที่ (8)

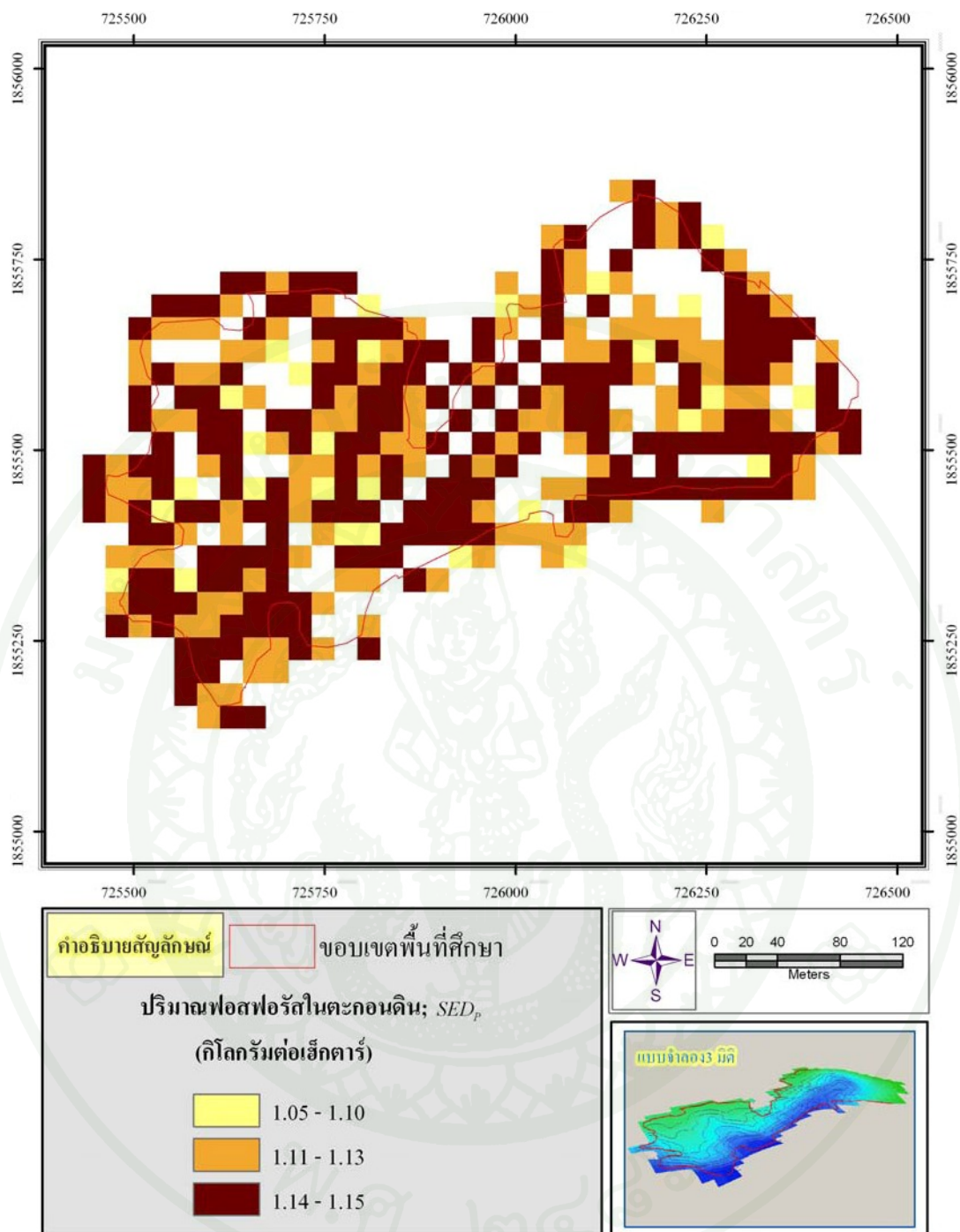
* วันหลังจากที่มีการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชลงในดิน



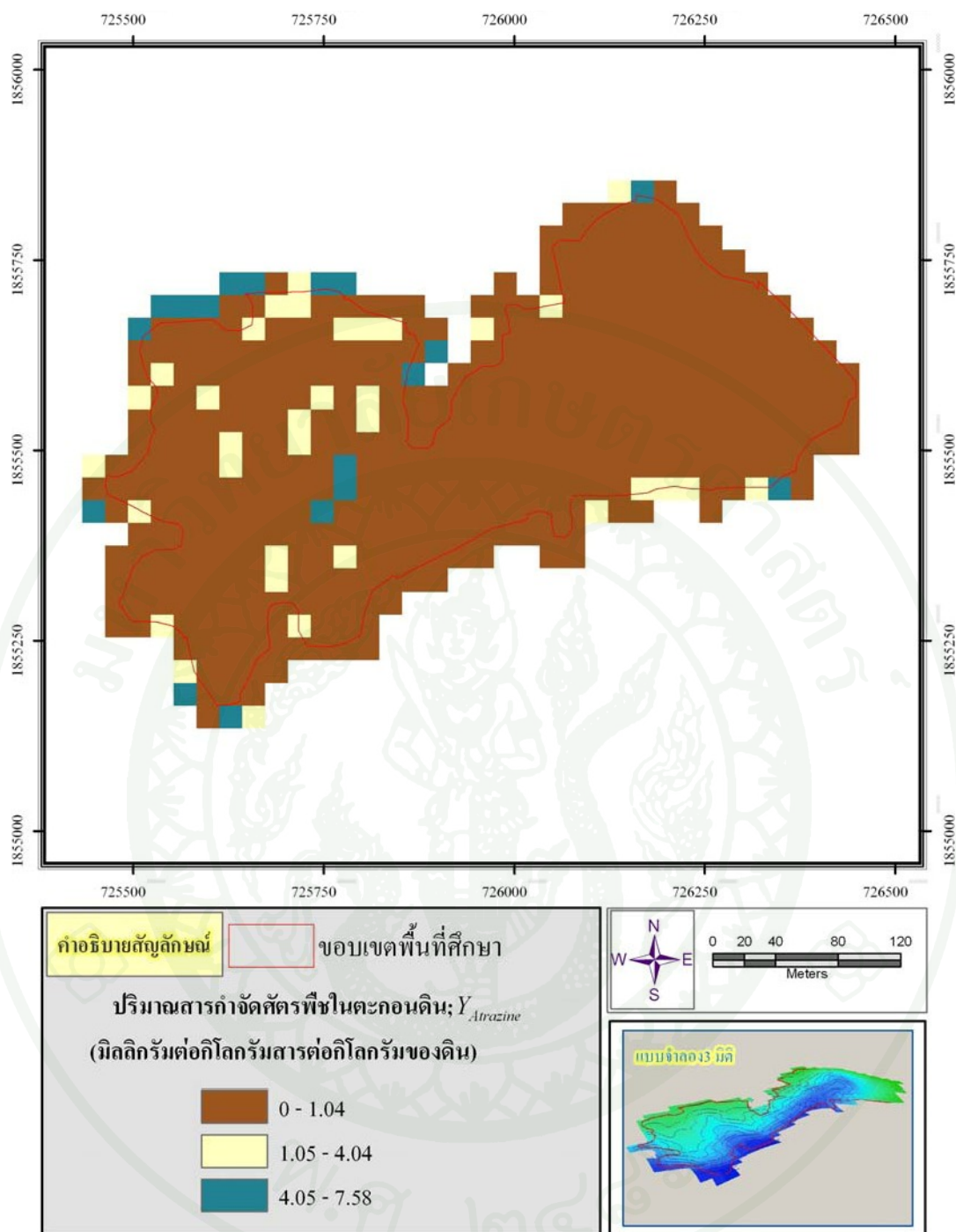
ภาพที่ 35 วัสดุปลูกและสารกำจัดศัตรูพืชที่คำนวณได้ในตะกอนดินและ ปริมาณตะกอนดินที่เกิดขึ้นในรอบปีของพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 36 ค่าปริมาณไนโตรเจนในตะกอนดิน (SED_N) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break



ภาพที่ 37 ค่าปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนดิน (SED_p) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break



ภาพที่ 38 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในตะกอนดิน ($Y_{Atrazine}$) จากค่าผลรวมรายปี ด้วยวิธี natural break

2. ข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณการกร่อนดินและสารเคมีในตะกอนดิน

2.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณการกร่อนดิน

เมื่อนำข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณการกร่อนดินที่ได้จากการคำนวณ มาประเมินระดับความรุนแรงโดยใช้เกณฑ์การจัดชั้นความรุนแรงของการกร่อนดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2543) สามารถจัดระดับความรุนแรงของการกร่อนดินได้ (ภาพที่ 39) ดังนี้

2.1.1 พื้นที่ที่มีการกร่อนดินในระดับรุนแรงมาก (มากกว่า 20 ต้นต่อไร่ต่อปี) อยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ตั้งแต่ร้อยละ 5 - มากกว่า 35 (slope C - SC) คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 58.99 ของเนื้อที่ศึกษาหรือเท่ากับ 111.49 ไร่

2.1.2 พื้นที่ที่มีการกร่อนดินในระดับรุนแรง (12 – 20 ต้นต่อไร่ต่อปี) อยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ตั้งแต่ร้อยละ 12 - มากกว่า 35 (slope D - SC) คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 7.90 ของเนื้อที่ศึกษาหรือเท่ากับ 14.93 ไร่

2.1.3 พื้นที่ที่มีการกร่อนดินในระดับปานกลาง (5 – 12 ต้นต่อไร่ต่อปี) อยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ร้อยละ 5 - 35 (slope C - E) คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 11.93 ของเนื้อที่ศึกษาหรือเท่ากับ 22.55 ไร่

2.1.4 พื้นที่ที่มีการกร่อนดินในระดับน้อย (2 – 5 ต้นต่อไร่ต่อปี) อยู่บริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชัน ร้อยละ 0 – 35 (slope A - E) คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 8.24 ของเนื้อที่ศึกษาหรือเท่ากับ 15.56 ไร่

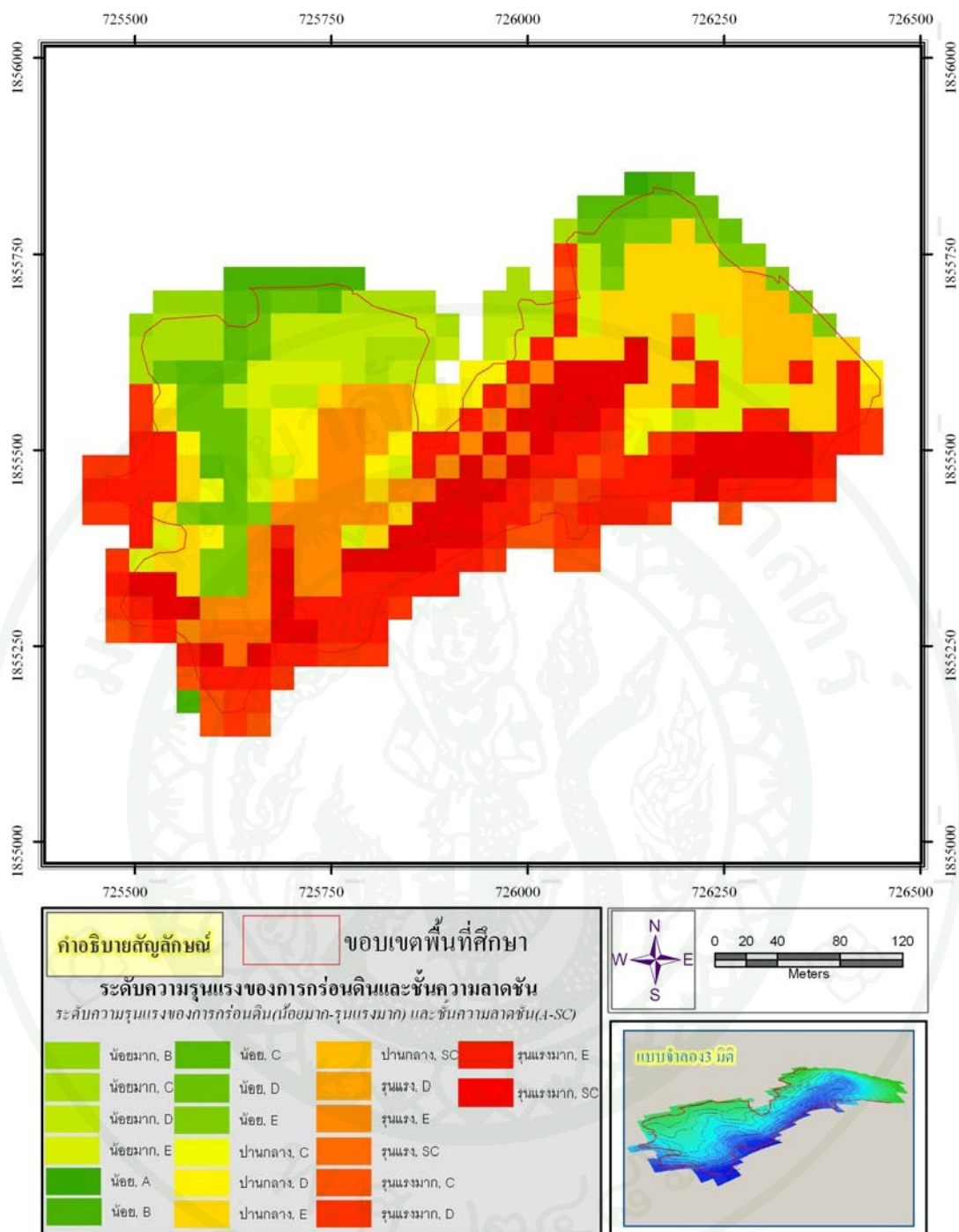
2.1.5 พื้นที่ที่มีระดับการกร่อนดินน้อยมาก (0 – 2 ต้นต่อไร่ต่อปี) อยู่บริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชัน ร้อยละ 2 – 35 (slope B - E) คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 12.94 ของเนื้อที่ศึกษาหรือเท่ากับ 24.46 ไร่

2.2 ข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน

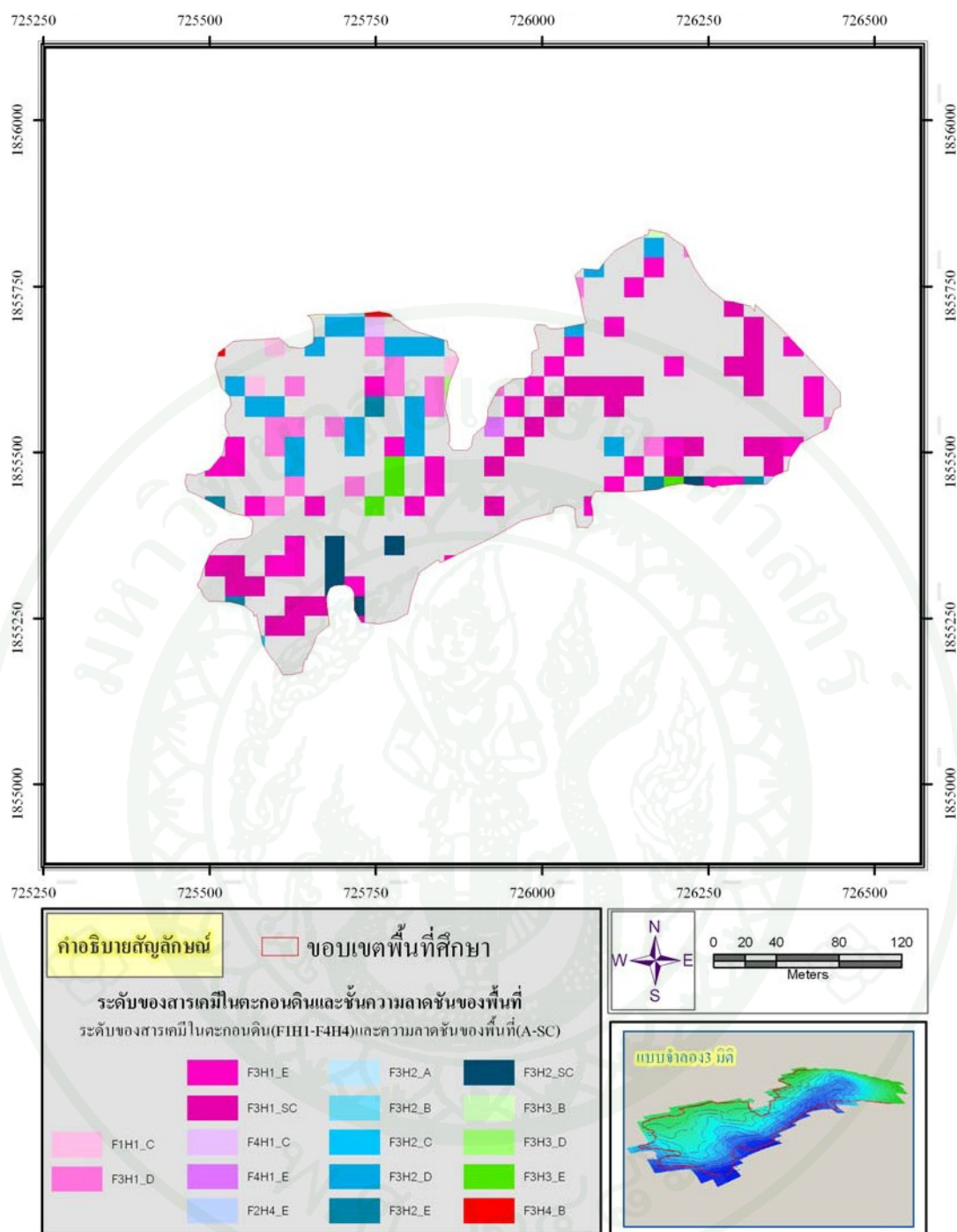
จากข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณสารเคมีที่คำนวณได้ในตะกอนดิน จะเห็นได้ว่าบริเวณที่มีปริมาณสารเคมีที่คำนวณได้มีเนื้อที่ร้อยละ 60.06 ของเนื้อที่ทั้งหมด เมื่อพิจารณาพื้นที่ที่มีช่วงชั้นของปริมาณสารเคมีในตะกอนดินมาก จัดอยู่ในช่วงชั้นสูง (F3H4) และพื้นที่ดังกล่าวอยู่บริเวณชั้นความลาดชันร้อยละ 5-12 (slope B – C) คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 0.22 หรือ 0.12 ไร่ ดังแสดงในภาพที่

40





ภาพที่ 39 ระดับความรุนแรงของการกร่อนดินและชั้นความลาดชันของพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 40 ระดับของสารเคมีในตะกอนดินและชั้นความลาดชันของพื้นที่ศึกษา

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ปริมาณการกร่อนดินและสารเคมีในตะกอนดิน

การประเมินปริมาณการกร่อนดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS บริเวณที่มีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตำบลน้ำซุน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ มีหลักการพิจารณาคือ เปรียบเทียบการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน (D_s) สมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน (T_c) และสมรรถนะในการดักจับของตะกอนดิน (Dep) ซึ่งพื้นที่ศึกษามีสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอนดินมากกว่าการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน และมีปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่น้อยกว่าสมรรถนะในการดักจับของตะกอน ดังนั้น ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจึงเท่ากับปริมาณการกร่อนดินที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน ซึ่งเป็นการกร่อนดินในพื้นที่ (on-site erosion) ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งปีจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS เท่ากับ 33,319 ปอนด์ต่อตารางฟุต ซึ่งคิดเป็น 266,818 ตันต่อไร่ต่อปี เมื่อนำค่าดังกล่าวมาประเมินโดยใช้การจัดชั้นความรุนแรงของการกร่อนดิน พบว่าพื้นที่นี้มีอัตราการกร่อนดินในระดับรุนแรงมาก ส่วนปริมาณสารเคมีในตะกอนดินที่ได้จากการคำนวณพบว่า มีปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนดินที่เกิดขึ้น ผลรวมตลอดทั้งปีของปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตะกอนดิน มีค่าเท่ากับ 0.561 และ 1.121 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปริมาณสารเคมี Atrazine ในตะกอนดินมีปริมาณเท่ากับ 0.423 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารต่อกิโลกรัมของดิน

2. ข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณการกร่อนดินและสารเคมีในตะกอนดิน

อัตราการกร่อนดินที่จัดอยู่ในระดับรุนแรงมาก มีเนื้อที่ร้อยละ 58.99 ของเนื้อที่ศึกษาหรือเท่ากับ 111.49 ไร่ มีความลาดชัน ตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง มากกว่าร้อยละ 35 (slope C - SC) ส่วนบริเวณที่มีสารเคมีที่คำนวณในตะกอนดิน ที่จัดอยู่ในช่วงชั้นสูง (F3H4) มีเนื้อที่ร้อยละ 60.06 ของเนื้อที่ศึกษา มีความลาดชันร้อยละ 5-12 (slope B - C) คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 0.22 หรือ 0.12 ไร่

ข้อเสนอแนะ

1. แนวทางการเลือกพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกพื้นที่ศึกษาตามสภาพการใช้ที่ดิน โดยเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่มีสภาพพื้นที่เป็นที่ลาดชันสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกร่อนดิน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับพื้นที่แปลงทดลอง หรือพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของน้ำต่อการกร่อนดินได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. การใช้ข้อมูลทุติยภูมิ จากแหล่งข้อมูลต่างๆ

ในการประเมินปริมาณการกร่อนดินและปริมาณสารเคมีในตะกอนดิน ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CREAMS มีค่อนข้างมาก จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมทั้งประเภทของข้อมูล ตลอดจนมาตราส่วนที่นำมาใช้ และควรมีการเก็บข้อมูลในพื้นที่แปลงทดลอง หรือพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อใช้เป็นค่าปรับแก้ (verify) ให้การประเมินมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงและถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

3. แนวทางการจัดการและใช้ประโยชน์ที่ดินตามความเหมาะสมและยั่งยืน

พื้นที่ศึกษา มีการใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 คิดเป็นเนื้อที่ ร้อยละ 44.32 ของเนื้อที่ทั้งหมด จัดเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำการเกษตรพื้นที่ในลักษณะนี้ควรสงวนไว้เป็นป่าต้นน้ำลำธาร ตามระบบการจำแนกคุณภาพลุ่มน้ำ (เกษม, 2551) แต่หากจำเป็นในการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตร แนวทางในการจัดการทรัพยากรดิน จึงควรมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในระบบการผลิต ได้แก่ การไถพรวนแบบอนุรักษ์ โดยลดการไถพรวน หรือไถพรวนให้น้อยที่สุด การปลูกพืชหมุนเวียนต่อเนื่องโดยมีการใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย ไม่ปล่อยให้พื้นที่ว่างเปล่าในช่วงนอกฤดูเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มาตรการเหล่านี้จะช่วยบรรเทาความรุนแรงของปัญหาการกร่อนดินได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2543. การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

-----, 2545. ภาพถ่ายทางอากาศสี ตำบลน้ำซุ่น อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์.
(Digital file).

-----, 2547. ข้อมูลเส้นชั้นความสูง ตำบลน้ำซุ่น อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์.
(Digital file).

กรมพัฒนาที่ดิน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ International Institute for Geo - Information Science and Earth Observation. 2549. โครงการพัฒนารูปแบบการประเมินความเสี่ยงโทรมของทรัพยากรดิน/ที่ดินและการวางแผนการใช้ที่ดินในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยาปี. 2547. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน สถานีวัดน้ำฝนจังหวัดเพชรบูรณ์.
(Digital file).

เกษม จันทรแก้ว. 2516. ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความคงทนของดินป่าดิบเขาบริเวณดอยปู่ยงจังหวัดเชียงใหม่: การวิจัยลุ่มน้ำที่ห้วยคอกม้า เล่มที่ 12. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

-----, 2526. หลักปฏิบัติในการจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

-----, 2551. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธวัช สิงห์ภู. 2529. **การอนุรักษ์ดินและน้ำ**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. **แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนใน
พื้นที่ลุ่มน้ำ**. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภักดีริ ตลาภา. 2549. **การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการคาดคะเนปริมาณการชะ
ล้างพังทลายของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยน้ำขุน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้
แบบจำลอง Morgan-Morgan and Finney**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัฒนชัย ดำรงหาญวิทย์. 2528. **การคาดคะเนปริมาณการชะล้างพังทลายของดินในจังหวัด
เชียงใหม่โดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิโรจ อิมพิทักษ์. 2531. **การจัดการดิน เล่มที่ 1**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมเจตน์ จันทวัฒน์. 2526. **การอนุรักษ์ดินและน้ำ เล่ม2: หลักการอนุรักษ์ดินและน้ำ**. ภาควิชา
ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

American Society of Civil Engineers. 1975. **Sedimentation Engineering, American Society of
Civil Engineers Manuals and Reports on Engineering Practice, No.54.**

Baver, L.D. 1967. **Soil Physics**. 5th ed. John Wiley and Sons, Inc, New York.

Buol, S.W., Southard R.J., Graham R.C. and McDaniel P.A. 2003. **Soil Genesis and
Classification**. 5th ed. Iowa State Press - Blackwell, Ames, IA.

Cowan, W. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. **Agricultural Engineers** 37 (7):473-475.

C. S. Michael and T.P. Burt. 1996. Particle size characteristics of suspended sediment in hillslope runoff and stream flow. **Earth Surface and Landform** 22 (8):705- 719

Davis, S.S. 1978. **Deposition of Nonuniform Sediment by Overland Flow on Concave Slope**. M.S. Thesis, Purdue University.

Faculty of Geology Siera College. 2005. **Photo of Soil Detachment by Rainfall**. Available Source: <http://geography.sierra.cc.ca.us>, October 18, 2005.

Foster, G.R.and L.D. Meyer. 1972. Transport of Soil Particle by Shallow Flow. **American Society of Agricultural Engineers** 15 (1): 11-102.

Foster, G.R., L.D. Meyer and C.A. Onstad. 1977. A Runoff Erosivity Factor Factor and Variable Slope Length Exponents for Soil Loss Estimates. **The American Society of Agriculture Engineers** 20 (1): 683-687.

Foster, G.R. 1979. Chapter 3:Sediment Yield from Farm Fields: The Universal Soil Loss Equation and Onfarm 208 plan Implementation, *In* Soil Science Society of America, comp. ***In Universal Soil Loss Equation: Past, Present, and Future***. Madison, Wisconsin.

Frere, M.H., J.D. Ross and L.J. Lane. 1980. The nutrient submodel. Chap 4, pp. 65 – 87. In Knisel, W.G. and Nick A.D., eds. **A field scale model for chemical, runoff, and erosion from Agricultural management system**. U.S.D.A.

Graf, W.H. 1971. **Hydraulics of Sediment Transport**. McGraw-Hill Book Co, New York.

Grissinger, E.H. 1996. Resistance of Selected Clay System to Erosion by Water. **Water Resources Research** 2 (1): 131-138.

Hudson N.W. 1971. **Soil Conservation**. Bastsford Ltd, London.

Khaleel, R., G.R. Foster, K.R. Reddy, M.R. Overcash and others. 1980. A Nonpoint Source Model for Land Areas Retriving Animal Wastes: III. A Conceptual Model for Sediment and Manure Transport. **The American Society of Agricultural Engineers**.
Kirkby, M.J. and R.P.C Morgan. 1980. **Soil Erosion Landscape Systems**. John Wiley and Sons Inc, New York.

Knisel, W.G. and Nick A.D. 1980. Model documentation, pp. 1-12. *In* W.G. Knisel, ed. **A Field Scale Model for Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System**. U.S.D.A.

Limerinos, J. 1970. **Determination of the manning coefficient from measured bed roughness in natural channels**. Technical report, USGS Water Supply Paper

Mantz, P.A. 1977. Incipient Transport of Fine Grains and Flakes of Fluid Extended Shields Diagram. **Journal of Hydraulic Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers** 103 (HY6): 601-615.

Meyer, L.D. and E.J. Monk. 1975. **Mechanics of Soil Eroded by water from upland slope. In present and Prospective Technology for predicting Sediment Yields and Sources**, pp.177 – 189, Proceedings of Sediment – Yield Workshop, USDA Sediment Laboratory, Oxford, Mississippi, Nov. 28 – 30, 1972 USDA, Agri. Res. Ser., ARS – s – 40.

Morgan, R.P.C., Morgan, D.D.V., and Finney, H.J. 1984. A predictive model for the assessment of soil erosion risk. **Journal of Agriculture Engineering Research**. 30: 245-253.

Morgan, R.P.C. 1986. **Soil Erosion and Conservation**. Longman Scientific and Technical, New York.

Philip, G.M., and D.F. Watson. 1982. A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. **Australian Petroleum Exploration Association Journal** 22: 205-212.

Pitzema, H.P. 1994. **Drainage Principle and Applications**. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wagenigen, the Netherlands.

Prachansri, S., 2007. **Analysis of soil and land cover for flood hazard assessment : a case study of the Nam Chun watershed, Petchaboon**, MS.Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Enschede.

Satterlund, Donald, R. 1972. **Wild Land Watershed Management**. Ronald Press, New York.

Smith, E M, C P Gerba and J L Melnick. 1978. Role of sediment in the persistence of enteroviruses in the estuarine environment. **Applied Environment Microbiological**. 35(4): 685-689

Sprenger, F.D. 1978. **Determination of direct runoff with the 'Curve Number Method in the coastal area of Tanzania/East Africa**. **Wasser und Boden**, Iowa

Swanson, N.P., and A.P. Dedrick. 1997. Soil Particle and Aggregates Transported in Water Runoff Under Various Slope Conditions Using Simulated Rainfall. **Transaction of American Society of Agriculture Engineer** 19 (2) : 246 – 247

Taklehamanot, G. 2003. **Use of Simple Field Tests and Revised MMF Model for Assessing Soil Erosion: Case Study in LomKao Area, Thailand**. MS.Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Enschede, Netherlands

- Watson, D.F., and G.M. Philip. 1985. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation". **Geoprocessing**, 2:315-327.
- W. P. Miller and M. K. Baharuddin. 1987. Particle Size of Interrill-eroded Sediments from Highly Weathered Soils. **Soil Science Society of America** 51: 1610 – 1615
- William, J.R., and R.W. Hann. 1978. Water Yield Model using SCS curved number. **Journal of the hydraulic Division, American Society of Civil Engineers** 102(HY9):1241-1253
- Willrich, T.L. and G.E. Smith. 1970. **Agricultural Practices and Water Quality**. Iowa State University, Iowa.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, 1965. **Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland in the East of the Rocky Mountain: Guideline for Selection of Practices for Soil and Water Conservation**. Agricultural Handbook. No. 282, U.S.D.A.
- Yalin, Y.S. 1963. An Expression for Bedload Transportation. **Journal of the Hydraulic Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineer** 89(HY3):221-250.
- Yamane, T. 1967. **Statistics; An Introductory Analysis**. 2nd ed. Harper and Row. New York.



ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณน้ำฝนรายวัน จากสถานีรอบพื้นที่ศึกษา

สถานี		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
พิทักษ์ X		740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000
พิทักษ์ Y		1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)										
1	1 เม.ย.	0.14	0.08	0.12	0.07	0.11	0.12	0.22	0.11	0.20	0.13	0.12
2	2 เม.ย.	0.00	0.09	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3 เม.ย.	0.04	0.10	0.15	0.10	0.03	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04	0.04
4	4 เม.ย.	0.04	0.10	0.14	0.09	0.03	0.04	0.06	0.03	0.06	0.04	0.03
5	5 เม.ย.	0.15	0.06	0.09	0.05	0.11	0.15	0.24	0.12	0.22	0.14	0.13
6	6 เม.ย.	0.04	0.10	0.15	0.09	0.03	0.04	0.06	0.03	0.05	0.04	0.03
7	7 เม.ย.	0.18	0.10	0.15	0.09	0.14	0.19	0.30	0.14	0.27	0.18	0.16
8	8 เม.ย.	0.05	0.08	0.11	0.07	0.04	0.05	0.08	0.04	0.07	0.05	0.04
9	9 เม.ย.	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
10	10 เม.ย.	0.09	0.02	0.03	0.02	0.07	0.09	0.15	0.07	0.13	0.09	0.08
11	11 เม.ย.	0.02	0.20	0.30	0.19	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01
12	12 เม.ย.	0.12	0.19	0.28	0.17	0.09	0.13	0.20	0.10	0.18	0.12	0.11
13	13 เม.ย.	0.17	0.23	0.34	0.21	0.13	0.17	0.27	0.13	0.24	0.16	0.14
14	14 เม.ย.	0.08	0.29	0.44	0.27	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
15	15 เม.ย.	0.02	0.17	0.26	0.16	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02
16	16 เม.ย.	0.06	0.04	0.06	0.04	0.04	0.06	0.09	0.04	0.08	0.05	0.05
17	17 เม.ย.	0.09	0.14	0.21	0.13	0.07	0.09	0.15	0.07	0.13	0.09	0.08
18	18 เม.ย.	0.12	0.22	0.32	0.20	0.09	0.13	0.20	0.10	0.18	0.12	0.11
19	19 เม.ย.	0.08	0.19	0.28	0.17	0.06	0.08	0.13	0.06	0.11	0.08	0.07
20	20 เม.ย.	0.07	0.15	0.22	0.14	0.06	0.08	0.12	0.06	0.11	0.07	0.06
21	21 เม.ย.	0.04	0.19	0.28	0.18	0.03	0.04	0.06	0.03	0.06	0.04	0.03
22	22 เม.ย.	0.03	0.16	0.23	0.14	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02
23	23 เม.ย.	0.01	0.26	0.38	0.24	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
24	24 เม.ย.	0.13	0.12	0.17	0.11	0.10	0.14	0.21	0.10	0.20	0.13	0.12
25	25 เม.ย.	0.13	0.07	0.11	0.07	0.10	0.13	0.21	0.10	0.19	0.12	0.11
26	26 เม.ย.	0.14	0.17	0.25	0.16	0.11	0.15	0.23	0.11	0.21	0.14	0.13
27	27 เม.ย.	0.08	0.08	0.12	0.07	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
28	28 เม.ย.	0.15	0.27	0.39	0.25	0.12	0.16	0.24	0.12	0.22	0.15	0.13
29	29 เม.ย.	0.17	0.25	0.36	0.23	0.13	0.17	0.27	0.13	0.25	0.16	0.15
30	30 เม.ย.	0.19	0.23	0.35	0.22	0.14	0.19	0.30	0.15	0.28	0.18	0.16

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
พิกัด X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000	
พิกัด Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700	
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)										
31	1 พ.ค.	0.17	0.23	0.34	0.21	0.13	0.17	0.27	0.13	0.25	0.16	0.15
32	2 พ.ค.	0.13	0.11	0.17	0.10	0.10	0.14	0.21	0.10	0.20	0.13	0.12
33	3 พ.ค.	0.08	0.16	0.24	0.15	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
34	4 พ.ค.	0.32	0.19	0.28	0.18	0.24	0.32	0.51	0.24	0.46	0.30	0.27
35	5 พ.ค.	0.17	0.39	0.58	0.36	0.13	0.18	0.28	0.13	0.25	0.17	0.15
36	6 พ.ค.	0.15	0.22	0.33	0.21	0.11	0.15	0.24	0.11	0.22	0.14	0.13
37	7 พ.ค.	0.32	0.16	0.23	0.14	0.25	0.33	0.52	0.25	0.47	0.31	0.28
38	8 พ.ค.	0.16	0.20	0.30	0.19	0.13	0.17	0.26	0.13	0.24	0.16	0.14
39	9 พ.ค.	0.13	0.30	0.45	0.28	0.10	0.14	0.21	0.10	0.20	0.13	0.12
40	10 พ.ค.	0.51	0.21	0.32	0.20	0.39	0.52	0.81	0.39	0.75	0.49	0.44
41	11 พ.ค.	0.16	0.24	0.35	0.22	0.12	0.16	0.26	0.12	0.24	0.15	0.14
42	12 พ.ค.	0.15	0.32	0.48	0.30	0.12	0.15	0.24	0.12	0.22	0.14	0.13
43	13 พ.ค.	0.31	0.26	0.38	0.24	0.24	0.32	0.50	0.24	0.46	0.30	0.27
44	14 พ.ค.	0.29	0.43	0.63	0.39	0.23	0.30	0.47	0.23	0.43	0.28	0.25
45	15 พ.ค.	0.19	0.15	0.22	0.14	0.15	0.20	0.31	0.15	0.28	0.18	0.17
46	16 พ.ค.	0.08	0.23	0.35	0.22	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
47	17 พ.ค.	0.29	0.27	0.40	0.25	0.23	0.30	0.47	0.23	0.43	0.28	0.26
48	18 พ.ค.	0.18	0.22	0.33	0.21	0.14	0.18	0.28	0.14	0.26	0.17	0.15
49	19 พ.ค.	0.08	0.17	0.26	0.16	0.06	0.09	0.13	0.07	0.12	0.08	0.07
50	20 พ.ค.	0.33	0.22	0.33	0.20	0.25	0.34	0.53	0.26	0.48	0.32	0.29
51	21 พ.ค.	0.03	0.20	0.29	0.18	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02
52	22 พ.ค.	0.22	0.22	0.32	0.20	0.17	0.22	0.35	0.17	0.32	0.21	0.19
53	23 พ.ค.	0.18	0.14	0.20	0.13	0.14	0.18	0.29	0.14	0.26	0.17	0.16
54	24 พ.ค.	0.23	0.15	0.21	0.13	0.17	0.23	0.36	0.18	0.33	0.22	0.20
55	25 พ.ค.	0.30	0.25	0.36	0.23	0.23	0.31	0.49	0.24	0.45	0.29	0.26
56	26 พ.ค.	0.23	0.39	0.58	0.36	0.18	0.23	0.37	0.18	0.34	0.22	0.20
57	27 พ.ค.	0.28	0.24	0.35	0.22	0.21	0.28	0.44	0.21	0.40	0.26	0.24
58	28 พ.ค.	0.33	0.34	0.50	0.31	0.25	0.34	0.53	0.26	0.48	0.32	0.29
59	29 พ.ค.	0.36	0.17	0.25	0.16	0.28	0.37	0.58	0.28	0.53	0.35	0.31
60	30 พ.ค.	0.54	0.12	0.18	0.11	0.41	0.55	0.86	0.42	0.79	0.51	0.47
61	31 พ.ค.	0.14	0.26	0.39	0.24	0.11	0.15	0.23	0.11	0.21	0.14	0.12

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
พิกัด X		740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000
พิกัด Y		1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)										
62	1 มิ.ย.	0.16	0.16	0.23	0.15	0.12	0.16	0.25	0.12	0.23	0.15	0.14
63	2 มิ.ย.	0.14	0.31	0.46	0.28	0.10	0.14	0.22	0.11	0.20	0.13	0.12
64	3 มิ.ย.	0.08	0.24	0.36	0.23	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
65	4 มิ.ย.	0.32	0.27	0.39	0.25	0.25	0.33	0.52	0.25	0.48	0.31	0.28
66	5 มิ.ย.	0.05	0.26	0.38	0.24	0.04	0.05	0.08	0.04	0.08	0.05	0.05
67	6 มิ.ย.	0.26	0.18	0.26	0.16	0.20	0.27	0.42	0.20	0.39	0.25	0.23
68	7 มิ.ย.	0.26	0.16	0.23	0.15	0.20	0.26	0.41	0.20	0.38	0.25	0.22
69	8 มิ.ย.	0.22	0.10	0.15	0.09	0.17	0.22	0.35	0.17	0.32	0.21	0.19
70	9 มิ.ย.	0.37	0.19	0.28	0.18	0.28	0.37	0.59	0.28	0.54	0.35	0.32
71	10 มิ.ย.	0.27	0.15	0.21	0.13	0.21	0.28	0.44	0.21	0.40	0.26	0.24
72	11 มิ.ย.	0.39	0.41	0.60	0.38	0.30	0.40	0.63	0.30	0.57	0.38	0.34
73	12 มิ.ย.	0.14	0.14	0.21	0.13	0.11	0.14	0.23	0.11	0.21	0.14	0.12
74	13 มิ.ย.	0.25	0.14	0.20	0.13	0.19	0.25	0.40	0.19	0.36	0.24	0.21
75	14 มิ.ย.	0.11	0.19	0.29	0.18	0.09	0.12	0.18	0.09	0.17	0.11	0.10
76	15 มิ.ย.	0.05	0.09	0.13	0.08	0.04	0.05	0.08	0.04	0.08	0.05	0.05
77	16 มิ.ย.	0.21	0.17	0.25	0.15	0.16	0.22	0.34	0.17	0.31	0.21	0.19
78	17 มิ.ย.	0.11	0.10	0.15	0.09	0.09	0.11	0.18	0.09	0.17	0.11	0.10
79	18 มิ.ย.	0.09	0.08	0.12	0.07	0.07	0.09	0.15	0.07	0.13	0.09	0.08
80	19 มิ.ย.	0.15	0.19	0.29	0.18	0.11	0.15	0.24	0.11	0.22	0.14	0.13
81	20 มิ.ย.	0.08	0.14	0.21	0.13	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
82	21 มิ.ย.	0.03	0.13	0.19	0.12	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03
83	22 มิ.ย.	0.19	0.06	0.09	0.05	0.14	0.19	0.30	0.15	0.28	0.18	0.16
84	23 มิ.ย.	0.22	0.11	0.16	0.10	0.17	0.22	0.35	0.17	0.32	0.21	0.19
85	24 มิ.ย.	0.11	0.15	0.22	0.14	0.09	0.11	0.18	0.09	0.16	0.11	0.10
86	25 มิ.ย.	0.07	0.12	0.18	0.11	0.06	0.07	0.12	0.06	0.11	0.07	0.06
87	26 มิ.ย.	0.10	0.06	0.09	0.06	0.08	0.11	0.17	0.08	0.15	0.10	0.09
88	27 มิ.ย.	0.15	0.13	0.19	0.12	0.11	0.15	0.24	0.11	0.22	0.14	0.13
89	28 มิ.ย.	0.12	0.11	0.17	0.10	0.09	0.12	0.19	0.09	0.17	0.11	0.10
90	29 มิ.ย.	0.19	0.18	0.27	0.17	0.14	0.19	0.30	0.14	0.27	0.18	0.16
91	30 มิ.ย.	0.33	0.18	0.26	0.16	0.25	0.34	0.53	0.26	0.48	0.32	0.29

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
พิกัด X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000	
พิกัด Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700	
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)										
92	1 ก.ค.	0.15	0.09	0.14	0.08	0.12	0.16	0.25	0.12	0.23	0.15	0.13
93	2 ก.ค.	0.08	0.08	0.11	0.07	0.06	0.08	0.12	0.06	0.11	0.07	0.07
94	3 ก.ค.	0.24	0.14	0.21	0.13	0.19	0.25	0.39	0.19	0.36	0.23	0.21
95	4 ก.ค.	0.17	0.13	0.19	0.12	0.13	0.17	0.27	0.13	0.24	0.16	0.15
96	5 ก.ค.	0.11	0.17	0.24	0.15	0.08	0.11	0.17	0.08	0.16	0.10	0.09
97	6 ก.ค.	0.25	0.24	0.35	0.22	0.19	0.25	0.40	0.19	0.36	0.24	0.22
98	7 ก.ค.	0.18	0.10	0.15	0.09	0.14	0.18	0.29	0.14	0.26	0.17	0.16
99	8 ก.ค.	0.17	0.12	0.18	0.11	0.13	0.17	0.26	0.13	0.24	0.16	0.14
100	9 ก.ค.	0.20	0.14	0.20	0.13	0.15	0.20	0.31	0.15	0.29	0.19	0.17
101	10 ก.ค.	0.08	0.09	0.13	0.08	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
102	11 ก.ค.	0.11	0.16	0.23	0.14	0.08	0.11	0.17	0.08	0.15	0.10	0.09
103	12 ก.ค.	0.23	0.21	0.31	0.19	0.17	0.23	0.36	0.17	0.33	0.22	0.20
104	13 ก.ค.	0.13	0.12	0.17	0.11	0.10	0.13	0.20	0.10	0.18	0.12	0.11
105	14 ก.ค.	0.10	0.21	0.31	0.20	0.08	0.10	0.16	0.08	0.15	0.10	0.09
106	15 ก.ค.	0.16	0.13	0.19	0.12	0.12	0.16	0.25	0.12	0.23	0.15	0.14
107	16 ก.ค.	0.16	0.14	0.20	0.13	0.12	0.16	0.26	0.12	0.23	0.15	0.14
108	17 ก.ค.	0.19	0.22	0.33	0.21	0.14	0.19	0.30	0.15	0.28	0.18	0.16
109	18 ก.ค.	0.08	0.11	0.17	0.11	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
110	19 ก.ค.	0.04	0.07	0.10	0.06	0.03	0.04	0.06	0.03	0.06	0.04	0.03
111	20 ก.ค.	0.11	0.09	0.13	0.08	0.08	0.11	0.17	0.08	0.16	0.10	0.09
112	21 ก.ค.	0.33	0.16	0.24	0.15	0.25	0.33	0.52	0.25	0.48	0.31	0.28
113	22 ก.ค.	0.23	0.16	0.24	0.15	0.18	0.23	0.36	0.18	0.33	0.22	0.20
114	23 ก.ค.	0.17	0.16	0.24	0.15	0.13	0.17	0.27	0.13	0.25	0.16	0.15
115	24 ก.ค.	0.17	0.12	0.18	0.11	0.13	0.17	0.27	0.13	0.25	0.16	0.15
116	25 ก.ค.	0.28	0.13	0.19	0.12	0.22	0.29	0.45	0.22	0.41	0.27	0.24
117	26 ก.ค.	0.17	0.23	0.33	0.21	0.13	0.17	0.27	0.13	0.25	0.16	0.15
118	27 ก.ค.	0.23	0.07	0.10	0.06	0.18	0.23	0.37	0.18	0.34	0.22	0.20
119	28 ก.ค.	0.16	0.09	0.14	0.08	0.12	0.16	0.26	0.12	0.23	0.15	0.14
120	29 ก.ค.	0.20	0.21	0.31	0.19	0.15	0.20	0.32	0.16	0.29	0.19	0.17
121	30 ก.ค.	0.26	0.36	0.53	0.33	0.20	0.27	0.42	0.20	0.39	0.25	0.23
122	31 ก.ค.	0.18	0.13	0.20	0.12	0.14	0.18	0.29	0.14	0.26	0.17	0.16

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
พิกัด X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000	
พิกัด Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700	
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)										
123	1 ส.ค.	0.20	0.06	0.09	0.06	0.15	0.20	0.31	0.15	0.29	0.19	0.17
124	2 ส.ค.	0.30	0.08	0.12	0.07	0.23	0.30	0.48	0.23	0.44	0.29	0.26
125	3 ส.ค.	0.16	0.15	0.22	0.14	0.12	0.16	0.25	0.12	0.23	0.15	0.14
126	4 ส.ค.	0.29	0.15	0.23	0.14	0.22	0.30	0.47	0.23	0.43	0.28	0.25
127	5 ส.ค.	0.49	0.08	0.13	0.08	0.38	0.50	0.79	0.38	0.72	0.47	0.43
128	6 ส.ค.	0.13	0.18	0.27	0.17	0.10	0.13	0.21	0.10	0.19	0.12	0.11
129	7 ส.ค.	0.36	0.28	0.41	0.26	0.28	0.37	0.58	0.28	0.53	0.35	0.32
130	8 ส.ค.	0.21	0.25	0.38	0.24	0.16	0.22	0.34	0.16	0.31	0.20	0.18
131	9 ส.ค.	0.27	0.28	0.42	0.26	0.21	0.28	0.43	0.21	0.40	0.26	0.23
132	10 ส.ค.	0.27	0.23	0.34	0.21	0.21	0.28	0.43	0.21	0.40	0.26	0.24
133	11 ส.ค.	0.26	0.10	0.15	0.10	0.20	0.27	0.42	0.20	0.39	0.25	0.23
134	12 ส.ค.	0.17	0.22	0.33	0.21	0.13	0.17	0.27	0.13	0.25	0.16	0.15
135	13 ส.ค.	0.15	0.10	0.15	0.09	0.11	0.15	0.24	0.12	0.22	0.14	0.13
136	14 ส.ค.	0.22	0.20	0.30	0.19	0.17	0.23	0.36	0.17	0.33	0.21	0.19
137	15 ส.ค.	0.22	0.13	0.20	0.12	0.17	0.23	0.36	0.17	0.33	0.22	0.20
138	16 ส.ค.	0.06	0.11	0.16	0.10	0.05	0.07	0.10	0.05	0.09	0.06	0.06
139	17 ส.ค.	0.31	0.23	0.34	0.21	0.24	0.32	0.50	0.24	0.46	0.30	0.27
140	18 ส.ค.	0.64	0.41	0.60	0.38	0.49	0.66	1.03	0.50	0.94	0.62	0.56
141	19 ส.ค.	0.34	0.19	0.28	0.17	0.26	0.34	0.54	0.26	0.49	0.32	0.29
142	20 ส.ค.	0.38	0.18	0.27	0.17	0.29	0.39	0.61	0.30	0.56	0.37	0.33
143	21 ส.ค.	0.31	0.12	0.17	0.11	0.24	0.32	0.50	0.24	0.45	0.30	0.27
144	22 ส.ค.	0.32	0.21	0.32	0.20	0.24	0.32	0.51	0.25	0.47	0.31	0.28
145	23 ส.ค.	0.31	0.30	0.44	0.28	0.24	0.32	0.50	0.24	0.46	0.30	0.27
146	24 ส.ค.	0.47	0.25	0.37	0.23	0.36	0.47	0.75	0.36	0.68	0.45	0.40
147	25 ส.ค.	0.31	0.33	0.49	0.30	0.24	0.31	0.49	0.24	0.45	0.29	0.27
148	26 ส.ค.	0.21	0.26	0.38	0.24	0.16	0.21	0.34	0.16	0.31	0.20	0.18
149	27 ส.ค.	0.20	0.19	0.28	0.18	0.15	0.20	0.32	0.15	0.29	0.19	0.17
150	28 ส.ค.	0.17	0.17	0.25	0.16	0.13	0.17	0.27	0.13	0.25	0.16	0.15
151	29 ส.ค.	0.30	0.30	0.45	0.28	0.23	0.31	0.48	0.23	0.44	0.29	0.26
152	30 ส.ค.	0.28	0.32	0.47	0.29	0.22	0.29	0.45	0.22	0.41	0.27	0.25
153	31 ส.ค.	0.13	0.16	0.23	0.15	0.10	0.13	0.21	0.10	0.19	0.13	0.12

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
พิกัด X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000	
พิกัด Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700	
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)										
154	1 ก.ย.	0.29	0.31	0.46	0.29	0.23	0.30	0.47	0.23	0.43	0.28	0.26
155	2 ก.ย.	0.23	0.16	0.23	0.14	0.18	0.24	0.37	0.18	0.34	0.22	0.20
156	3 ก.ย.	0.49	0.37	0.55	0.34	0.37	0.49	0.78	0.38	0.71	0.47	0.42
157	4 ก.ย.	0.43	0.19	0.29	0.18	0.33	0.44	0.69	0.33	0.63	0.41	0.37
158	5 ก.ย.	0.13	0.22	0.33	0.21	0.10	0.13	0.21	0.10	0.19	0.12	0.11
159	6 ก.ย.	0.23	0.29	0.43	0.27	0.17	0.23	0.36	0.17	0.33	0.22	0.20
160	7 ก.ย.	0.51	0.34	0.50	0.31	0.39	0.52	0.82	0.40	0.75	0.49	0.45
161	8 ก.ย.	0.40	0.27	0.39	0.25	0.31	0.41	0.64	0.31	0.58	0.38	0.35
162	9 ก.ย.	0.24	0.29	0.43	0.27	0.18	0.24	0.38	0.18	0.35	0.23	0.21
163	10 ก.ย.	0.35	0.28	0.42	0.26	0.27	0.36	0.57	0.27	0.52	0.34	0.31
164	11 ก.ย.	0.20	0.37	0.54	0.34	0.16	0.21	0.33	0.16	0.30	0.20	0.18
165	12 ก.ย.	0.17	0.39	0.58	0.36	0.13	0.17	0.27	0.13	0.25	0.16	0.15
166	13 ก.ย.	0.38	0.26	0.39	0.24	0.29	0.39	0.61	0.30	0.56	0.37	0.33
167	14 ก.ย.	0.37	0.34	0.51	0.32	0.28	0.37	0.59	0.28	0.54	0.35	0.32
168	15 ก.ย.	0.14	0.27	0.40	0.25	0.11	0.14	0.23	0.11	0.21	0.14	0.12
169	16 ก.ย.	0.21	0.12	0.18	0.11	0.16	0.22	0.34	0.16	0.31	0.20	0.18
170	17 ก.ย.	0.28	0.23	0.35	0.22	0.21	0.28	0.44	0.21	0.40	0.26	0.24
171	18 ก.ย.	0.39	0.43	0.64	0.40	0.30	0.40	0.63	0.31	0.58	0.38	0.34
172	19 ก.ย.	0.11	0.20	0.29	0.18	0.09	0.11	0.18	0.09	0.16	0.11	0.10
173	20 ก.ย.	0.18	0.11	0.16	0.10	0.14	0.18	0.29	0.14	0.26	0.17	0.16
174	21 ก.ย.	0.16	0.22	0.33	0.21	0.12	0.16	0.25	0.12	0.23	0.15	0.14
175	22 ก.ย.	0.04	0.25	0.37	0.23	0.03	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04	0.04
176	23 ก.ย.	0.36	0.19	0.28	0.18	0.28	0.37	0.58	0.28	0.53	0.35	0.31
177	24 ก.ย.	0.16	0.24	0.35	0.22	0.12	0.17	0.26	0.13	0.24	0.16	0.14
178	25 ก.ย.	0.20	0.25	0.38	0.23	0.15	0.20	0.31	0.15	0.29	0.19	0.17
179	26 ก.ย.	0.22	0.23	0.34	0.21	0.17	0.23	0.35	0.17	0.32	0.21	0.19
180	27 ก.ย.	0.19	0.09	0.13	0.08	0.15	0.19	0.30	0.15	0.28	0.18	0.16
181	28 ก.ย.	0.20	0.28	0.41	0.26	0.16	0.21	0.32	0.16	0.30	0.19	0.18
182	29 ก.ย.	0.09	0.10	0.15	0.09	0.07	0.09	0.14	0.07	0.13	0.09	0.08
183	30 ก.ย.	0.18	0.14	0.20	0.13	0.14	0.18	0.29	0.14	0.26	0.17	0.16

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
พิกัด X		740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000
พิกัด Y		1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)										
184	1 ต.ค.	0.08	0.08	0.12	0.07	0.06	0.08	0.12	0.06	0.11	0.07	0.07
185	2 ต.ค.	0.17	0.23	0.33	0.21	0.13	0.18	0.28	0.13	0.25	0.17	0.15
186	3 ต.ค.	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04	0.04
187	4 ต.ค.	0.15	0.21	0.31	0.19	0.12	0.16	0.24	0.12	0.22	0.15	0.13
188	5 ต.ค.	0.16	0.08	0.11	0.07	0.13	0.17	0.26	0.13	0.24	0.16	0.14
189	6 ต.ค.	0.13	0.13	0.20	0.12	0.10	0.13	0.21	0.10	0.19	0.13	0.11
190	7 ต.ค.	0.10	0.11	0.16	0.10	0.08	0.10	0.16	0.08	0.15	0.10	0.09
191	8 ต.ค.	0.23	0.18	0.26	0.17	0.17	0.23	0.36	0.18	0.33	0.22	0.20
192	9 ต.ค.	0.09	0.06	0.09	0.06	0.07	0.10	0.15	0.07	0.14	0.09	0.08
193	10 ต.ค.	0.10	0.12	0.18	0.11	0.08	0.10	0.16	0.08	0.15	0.10	0.09
194	11 ต.ค.	0.08	0.14	0.21	0.13	0.06	0.09	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
195	12 ต.ค.	0.18	0.08	0.12	0.08	0.14	0.19	0.29	0.14	0.27	0.18	0.16
196	13 ต.ค.	0.34	0.14	0.21	0.13	0.26	0.35	0.54	0.26	0.50	0.33	0.30
197	14 ต.ค.	0.16	0.18	0.26	0.16	0.12	0.16	0.25	0.12	0.23	0.15	0.14
198	15 ต.ค.	0.06	0.16	0.24	0.15	0.04	0.06	0.09	0.04	0.08	0.05	0.05
199	16 ต.ค.	0.27	0.18	0.27	0.17	0.21	0.27	0.43	0.21	0.39	0.26	0.23
200	17 ต.ค.	0.09	0.12	0.17	0.11	0.07	0.09	0.14	0.07	0.13	0.08	0.08
201	18 ต.ค.	0.07	0.11	0.17	0.11	0.05	0.07	0.11	0.05	0.10	0.06	0.06
202	19 ต.ค.	0.11	0.13	0.20	0.12	0.08	0.11	0.17	0.08	0.15	0.10	0.09
203	20 ต.ค.	0.05	0.15	0.22	0.14	0.04	0.05	0.09	0.04	0.08	0.05	0.05
204	21 ต.ค.	0.02	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01
205	22 ต.ค.	0.01	0.06	0.09	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
206	23 ต.ค.	0.16	0.13	0.19	0.12	0.12	0.16	0.25	0.12	0.23	0.15	0.14
207	24 ต.ค.	0.08	0.11	0.17	0.10	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08	0.07
208	25 ต.ค.	0.11	0.18	0.27	0.17	0.08	0.11	0.17	0.08	0.15	0.10	0.09
209	26 ต.ค.	0.04	0.06	0.09	0.06	0.03	0.04	0.06	0.03	0.06	0.04	0.03
210	27 ต.ค.	0.04	0.09	0.13	0.08	0.03	0.05	0.07	0.03	0.07	0.04	0.04
211	28 ต.ค.	0.01	0.07	0.11	0.07	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
212	29 ต.ค.	0.03	0.07	0.10	0.06	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02
213	30 ต.ค.	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
214	31 ต.ค.	0.05	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.08	0.04	0.07	0.05	0.04

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
พิภค X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000	
พิภค Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700	
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)										
215	1 พ.ย.	0.05	0.02	0.04	0.02	0.04	0.05	0.08	0.04	0.08	0.05	0.04
216	2 พ.ย.	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
217	3 พ.ย.	0.06	0.05	0.07	0.05	0.04	0.06	0.09	0.04	0.08	0.05	0.05
218	4 พ.ย.	0.03	0.05	0.07	0.04	0.03	0.04	0.06	0.03	0.05	0.03	0.03
219	5 พ.ย.	0.00	0.06	0.09	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
220	6 พ.ย.	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
221	7 พ.ย.	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
222	8 พ.ย.	0.01	0.03	0.04	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
223	9 พ.ย.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
224	10 พ.ย.	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
225	11 พ.ย.	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
226	12 พ.ย.	0.12	0.01	0.01	0.01	0.09	0.12	0.20	0.09	0.18	0.12	0.11
227	13 พ.ย.	0.05	0.02	0.03	0.02	0.04	0.05	0.08	0.04	0.07	0.05	0.04
228	14 พ.ย.	0.00	0.05	0.07	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
229	15 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
230	16 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
231	17 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
232	18 พ.ย.	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
233	19 พ.ย.	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
234	20 พ.ย.	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
235	21 พ.ย.	0.07	0.09	0.13	0.08	0.05	0.07	0.11	0.05	0.10	0.06	0.06
236	22 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
237	23 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
238	24 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
239	25 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
240	26 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
241	27 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
242	28 พ.ย.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
243	29 พ.ย.	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
244	30 พ.ย.	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
พิภค X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000
พิภค Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)									
245	1 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
246	2 ธ.ค.	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
247	3 ธ.ค.	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02
248	4 ธ.ค.	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
249	5 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
250	6 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
251	7 ธ.ค.	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.05	0.02	0.05	0.03
252	8 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
253	9 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
254	10 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
255	11 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
256	12 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
257	13 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
258	14 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
259	15 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
260	16 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
261	17 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
262	18 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
263	19 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
264	20 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
265	21 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
266	22 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
267	23 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
268	24 ธ.ค.	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.05	0.03
269	25 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
270	26 ธ.ค.	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
271	27 ธ.ค.	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.05	0.02	0.05	0.03
272	28 ธ.ค.	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01
273	29 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
274	30 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
275	31 ธ.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
พิภค X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000
พิภค Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)									
276	1 ม.ค.	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
277	2 ม.ค.	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01
278	3 ม.ค.	0.01	0.04	0.06	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
279	4 ม.ค.	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
280	5 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
281	6 ม.ค.	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
282	7 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
283	8 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
284	9 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
285	10 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
286	11 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
287	12 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
288	13 ม.ค.	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
289	14 ม.ค.	0.00	0.03	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
290	15 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
291	16 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
292	17 ม.ค.	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02
293	18 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
294	19 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
295	20 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
296	21 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
297	22 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
298	23 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
299	24 ม.ค.	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300	25 ม.ค.	0.04	0.04	0.06	0.04	0.03	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04
301	26 ม.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
302	27 ม.ค.	0.00	0.04	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
303	28 ม.ค.	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03
304	29 ม.ค.	0.00	0.03	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
305	30 ม.ค.	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
306	31 ม.ค.	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
พิภค X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000
พิภค Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)									
307	1 ก.พ.	0.00	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
308	2 ก.พ.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
309	3 ก.พ.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
310	4 ก.พ.	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02
311	5 ก.พ.	0.09	0.06	0.09	0.06	0.07	0.09	0.14	0.07	0.13	0.08
312	6 ก.พ.	0.04	0.05	0.08	0.05	0.03	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04
313	7 ก.พ.	0.05	0.02	0.04	0.02	0.04	0.05	0.08	0.04	0.07	0.05
314	8 ก.พ.	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
315	9 ก.พ.	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04
316	10 ก.พ.	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
317	11 ก.พ.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318	12 ก.พ.	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.05	0.02	0.05	0.03
319	13 ก.พ.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320	14 ก.พ.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
321	15 ก.พ.	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02
322	16 ก.พ.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
323	17 ก.พ.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
324	18 ก.พ.	0.10	0.00	0.00	0.00	0.08	0.10	0.16	0.08	0.15	0.10
325	19 ก.พ.	0.04	0.05	0.07	0.04	0.03	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04
326	20 ก.พ.	0.08	0.04	0.06	0.04	0.06	0.09	0.13	0.07	0.12	0.08
327	21 ก.พ.	0.00	0.05	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
328	22 ก.พ.	0.09	0.02	0.02	0.01	0.07	0.09	0.14	0.07	0.12	0.08
329	23 ก.พ.	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02
330	24 ก.พ.	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
331	25 ก.พ.	0.02	0.10	0.14	0.09	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
332	26 ก.พ.	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03
333	27 ก.พ.	0.01	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
334	28 ก.พ.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
335	29 ก.พ.	0.03	0.04	0.07	0.04	0.02	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

สถานี	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
พิกัด X	740000	738000	715000	737200	736300	732400	716700	732500	713500	730000	729000
พิกัด Y	1857000	1868000	1854000	1880900	1873700	1857700	1854600	1848400	1840400	1837000	1827700
ที่	วันที่	ปริมาณน้ำฝน (นิ้ว)									
336	1 มี.ค.	0.03	0.04	0.07	0.04	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03
337	2 มี.ค.	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
338	3 มี.ค.	0.08	0.04	0.06	0.04	0.06	0.08	0.13	0.06	0.12	0.08
339	4 มี.ค.	0.09	0.04	0.06	0.04	0.07	0.10	0.15	0.07	0.14	0.09
340	5 มี.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
341	6 มี.ค.	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.05	0.07	0.04	0.07	0.04
342	7 มี.ค.	0.23	0.04	0.06	0.04	0.18	0.24	0.37	0.18	0.34	0.22
343	8 มี.ค.	0.05	0.10	0.15	0.10	0.04	0.05	0.08	0.04	0.07	0.05
344	9 มี.ค.	0.02	0.07	0.10	0.06	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
345	10 มี.ค.	0.01	0.05	0.07	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
346	11 มี.ค.	0.02	0.06	0.09	0.06	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
347	12 มี.ค.	0.16	0.05	0.07	0.05	0.12	0.16	0.25	0.12	0.23	0.15
348	13 มี.ค.	0.10	0.19	0.29	0.18	0.07	0.10	0.15	0.07	0.14	0.09
349	14 มี.ค.	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
350	15 มี.ค.	0.01	0.06	0.08	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
351	16 มี.ค.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
352	17 มี.ค.	0.06	0.02	0.03	0.02	0.04	0.06	0.09	0.04	0.08	0.05
353	18 มี.ค.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
354	19 มี.ค.	0.09	0.05	0.07	0.04	0.07	0.09	0.15	0.07	0.13	0.09
355	20 มี.ค.	0.11	0.14	0.21	0.13	0.09	0.11	0.18	0.09	0.16	0.11
356	21 มี.ค.	0.01	0.04	0.06	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
357	22 มี.ค.	0.14	0.16	0.24	0.15	0.11	0.14	0.22	0.11	0.20	0.13
358	23 มี.ค.	0.07	0.09	0.13	0.08	0.05	0.07	0.11	0.05	0.10	0.06
359	24 มี.ค.	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
360	25 มี.ค.	0.01	0.13	0.19	0.12	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
361	26 มี.ค.	0.09	0.11	0.16	0.10	0.07	0.09	0.14	0.07	0.13	0.09
362	27 มี.ค.	0.14	0.07	0.11	0.07	0.11	0.14	0.22	0.11	0.20	0.13
363	28 มี.ค.	0.03	0.10	0.14	0.09	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02
364	29 มี.ค.	0.09	0.10	0.15	0.10	0.07	0.09	0.14	0.07	0.13	0.08
365	30 มี.ค.	0.14	0.01	0.02	0.01	0.11	0.14	0.22	0.11	0.20	0.13
366	31 มี.ค.	0.11	0.01	0.01	0.01	0.08	0.11	0.17	0.08	0.16	0.10

ตารางผนวกที่ 2 เกณฑ์สำหรับการกำหนด Hydraulic soil group

Hydraulic soil group	Runoff potential	Infil- tration	Drained	Soil texture	Water transmission
A	Low	High	Drained - exdrained	Sand, gravel	High
B	Low to medium	Moderate	Moderately to well drained	Moderately fine to moderately coarse	Moderate
C	Medium to high	Slow	Well drained	Moderate fine -fine	Slow
D	High	Slow	Poorly drained	Clay	Slow

ที่มา: Pitzema (1994)

ตารางผนวกที่ 3 เกณฑ์สำหรับการกำหนด Curved number for moisture condition II (CN)

Landuse	Slope (%)	hydrological condition	hydrological soil group			
			A	B	C	D
Corn	<1	Conservation Practice	72	81	88	91
Corn	1 - 5	Conservation Practice	66	75	82	85
Corn	5 - 10	Conservation Practice	63	72	79	82
Corn	10 - 20	Conservation Practice	61	70	77	80
Corn	> 20	Conservation Practice	60	69	76	79
Corn	<1	poor	67	78	85	89
Corn	1 - 5	poor	61	72	79	83
Corn	5 - 10	poor	58	69	76	80
Corn	10 - 20	poor	56	67	74	78
Corn	> 20	poor	55	66	73	77

ที่มา: Sprenger (1978)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาว ธัญชนธ์ จิตอรวรรณ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	5 มีนาคม 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วท.บ. เกษตรศาสตร์ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักสำรวจดิน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-