



การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และแบบจำลอง RMMF  
สำหรับการกร่อนของดินในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จังหวัดสงขลา  
The Application of GIS and RMMF Model on Soil Erosion  
inKlong U-TaphaoBasin, Songkhla Province

หทัยกาญจน์ คงรักษ์

HathaikarnKongrak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และแบบจำลอง RMMF สำหรับการกร่อนของดินในกลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา จังหวัดสงขลา
ผู้เขียน	นางสาวหทัยกาญจน์ คงรักษ์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร จาญพจน์)	.....ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทย์วิรศักดิ์) .....กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร จาญพจน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจตจรรย์ ศิริวงศ์)
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจตจรรย์ ศิริวงศ์)	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.สัญญา สราภิรมย์) .....กรรมการ (ดร.ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์คารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้มีส่วน  
เกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร จาญพนธ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวหทัยกาญจน์ คงรัมย์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวหทัยกาญจน์ คงรักษ์)

นักศึกษา

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และแบบจำลอง RMMF เพื่อการประเมิน การกร่อนของดินในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จังหวัดสงขลา

**ผู้เขียน** นางสาวหทัยกาญจน์ คงรักษ์

**สาขาวิชา** การจัดการสิ่งแวดล้อม

**ปีการศึกษา** 2555

#### บทคัดย่อ

การกร่อนดินโดยน้ำเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดต่อการเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดิน และก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เกษตรเขตร้อนชื้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการกร่อนของดินในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาจากแบบจำลอง Revised Morgan – Morgan and Finney (RMMF) และใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการปรับปรุงข้อมูลตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลองให้สอดคล้องกับสภาพความผันแปรในเชิงพื้นที่ ได้แก่ การใช้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพรรณพืช (NDVI) และค่า C-factor เพื่อประเมินค่า C-factor ในพื้นที่ การประมาณข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนโดยวิธี Kriging จากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน 17 สถานี การใช้หลักการวิเคราะห์เชิงวัตถุ (Object Oriented Analysis) เพื่อจำแนกพื้นที่ยางพาราตามช่วงอายุยางพารา (อายุ >20 ปี 10-20 ปี 7-10 ปี และ 0-7 ปี) เพื่อใช้ในการประเมินค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ C-factor ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Canopy cover) ความสูงพืช (Plant height) อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยสูงสุด (Actual to potential evapotranspiration ratio) และความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth) ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกโดยใช้เทคนิค Virtual field work และการวิเคราะห์ Critical zones เพื่อระบุพื้นที่เสี่ยงต่อการกร่อนแบบร่องลึกจากตัวแปรด้านสภาพภูมิประเทศ เช่น ความลาดชัน ปริมาณการไหลสะสม (Flow accumulation) โดยวิธี Digital terrain analysis.

ผลประเมินการสูญเสียดินจากแบบจำลอง และจำแนกตามเกณฑ์ของ Morgan (1995) พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 95 มีระดับการสูญเสียดินน้อยมาก ถึงน้อย โดยร้อยละ 65.36 (968,996 ไร่) ของกลุ่มน้ำมีระดับการสูญเสียดินน้อยมาก (0-0.8 ตันต่อไร่ต่อปี) และรุนแรงน้อย (0.8-1.6 ตันต่อไร่ต่อปี) ร้อยละ 30.24 (448,321 ไร่)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรพบว่า ตัวแปรที่มีผลกระทบสูงต่อปริมาณการสูญดินในแบบจำลอง ได้แก่ Canopy cover, annual rainfall และ C-factor ผลการประเมินเขตวิกฤติที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการกร่อนร่องลึกชั่วคราวพบว่า มีพื้นที่ 55,579 ไร่ หรือร้อยละ 3.74 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่เนินเขา (ค่าความชัน > 20%) ทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำ ถึงแม้ว่าพื้นที่ดังกล่าวมีระดับการสูญเสียดินค่อนข้างน้อย ควรจะมีมาตรการอนุรักษ์ หรือ การจัดการ เพื่อปกป้องขยายตัวพื้นที่ที่ยังพารา

<b>Thesis Title</b>	The Application of GIS and RMMF Model on Soil Erosion in Klong U-Taphao Basin, Songkhla Province
<b>Author</b>	Miss Hathaikarn Kongrak
<b>Major Program</b>	Environmental Management
<b>Academic Year</b>	2012

### ABSTRACT

Soil erosion is one of the most severe land degradation problems in agricultural areas of the humid tropic and is important for its long term effects on soil productivity and sustainable agriculture. The main objective of this study is to assess erosion prone areas of Klong U-tapao basin using the Revised Morgan – Morgan and Finney (RMMF) erosion model. The techniques of RS and GIS were used in improving the crucial parameters of the model as follows: The C-factor was estimated from the relationship between NDVI and known C-factors. The annual rainfall spatial distribution was interpolated from 17 rainfall stations using kriging method. Detail land use classification of rubber areas according to the age of the plant was using Object Oriented Analysis, in order to better reflect the spatial distribution of the model parameters such as C-factor, canopy cover, plant height, actual to potential evapotranspiration ratio and effective hydrological depth. The accuracy of the classification was verified by virtual field work techniques. And finally the analysis of digital terrain parameters e.g. slope, flow accumulation were used to define critical zones for gully formation.

The results from the erosion model illustrated the total soil loss in the basin was 801,677 tons per year, the highest soil loss occurred in the rubber plantation area was 503,286 tons per year or 62.78% of the total soil loss. The lowest soil loss was found in forest area only 11,835 tons per year or 1.48% of the total soil loss. The severity of soil loss when classified according to criteria of Morgan 1995, the area of very low erosion rate ( $< 0.8$  tons/rai/y) accounted for 1,252,842 rai or 92% of the basin. This was generally agree with most of the study of soil loss in the Songkhla Lake basin.

The result of sensitivity analysis showed that the most crucial parameters in soil loss were Canopy cover, annual rainfall and C-factor. The critical zones defined of gully formation prone area of 55,579 rai or 3.74% of the total area, mainly (67.55%) located in the east and western steep slope area. Even though the area was defined as low erosion rates from the model, precaution should be taken for conservation measures to protect the area from the expansion of the rubber plantation.



## กิตติกรรมประกาศ

ขอพระคุณ รศ.ดร.วิเชียร จากุพจน์ที่ให้คำปรึกษา และการเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ และขอขอบพระคุณรศ.ดร.บรรจง วิทยวิรัชดี ศศ.เจด็จรย์ ศิริวงศ์ ศศ.ดร.สัญญา สราภิรมย์ และดร.ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์ที่ให้ข้อเสนอแนะจนวิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศภาคใต้ และสำนักงานชลประทานที่ 16 จังหวัดสงขลา ในการอำนวยความสะดวกในการอนุเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม และน้องๆ ภาควิชาสถิติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่มาแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็น ทัศนคติ และมุมมองที่แตกต่าง

ขอขอบคุณคุณพ่อประกอบ คงรักษ์และคุณแม่กรองกาญจนา คงรักษ์ ผู้ที่วางรากฐานการศึกษาบุตร ตลอดจนผลักดันให้เกิดการริเริ่ม

หทัยกาญจน์ คงรักษ์

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(13)
รายการภาพประกอบ	(15)
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.2.1 ปัจจัยที่ควบคุมการกร่อนดินโดยน้ำ	3
1.2.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อการกร่อน	5
1.2.3 การวิเคราะห์ตัวแปรสภาพภูมิประเทศ	5
1.2.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประเมินการกร่อนของดิน	7
1.2.5 การจัดลำดับความรุนแรงของการกร่อน	11
1.2.6 พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	13
1.2.7 การกร่อนดินของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	16
1.3 วัตถุประสงค์	18
<b>2. วิธีการวิจัย</b>	
2.1 วิธีดำเนินการ	19
2.1.1 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน	22
2.1.2 การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ (NDVI)	22
2.1.3 ค่า C-factor	23
2.1.4 ค่าร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมผิวดิน	24
2.1.5 การประเมินการกร่อนดิน โดยแบบจำลอง Revised Morgan-Morgan-Finney(RMMF)	25
2.1.6 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน	31
2.1.7 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)	32
2.1.8 การประเมินพื้นที่วิกฤติ (Critical zone)	32

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	34
2.2.1 วัสดุและอุปกรณ์	34
2.2.2 โปรแกรม	34
3. ผลการศึกษา	
3.1 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน	35
3.2 ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Annual rainfall)	42
3.3 ค่าดัชนีพืชคลุมดิน (Crop manage factor ; C-factor)	47
3.4 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง RMMF เพื่อประเมินการกร่อน	51
3.5 การประเมินการกร่อนโดยแบบจำลอง RMMF ในชุ่มน้ำคลองอุตะเกา	66
3.5.1 ค่าพลังงานรวม	67
3.5.2 ปริมาณน้ำที่เกิดการไหลบ่า (Runoff)	68
3.5.3 การประเมินปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายโดยน้ำฝนและน้ำไหลบ่า (Soil particle detachment)	71
3.5.4 การประเมินปริมาณดินที่ถูกพัดพา (Soil transportation)	73
3.5.5 ปริมาณการสูญเสียดิน (Soil loss)	74
3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน	79
3.7 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)	80
3.8 พื้นที่วิกฤติที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการกร่อน (Critical zone)	83
4. บทวิจารณ์	
4.1 การกร่อนดิน	86
4.2 พื้นที่วิกฤติที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการกร่อน (Critical zone)	87
4.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)	87
4.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองการสูญเสียดิน	88
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุป	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	93
บรรณานุกรม	95

**สารบัญ (ต่อ)**

	หน้า
ภาคผนวก	
ก	102
ข	104
ประวัติผู้เขียน	114

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	15
1-2	เปรียบเทียบระดับการกร่อนของดินที่ใช้แบบจำลองต่างๆ ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	17
1-3	เปรียบเทียบพื้นที่การกร่อนของดินจากแบบจำลองMMF และ USLE ของกรมพัฒนาที่ดิน (ไร่)	18
2-1	การเตรียมปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลองRevised Morgan – Morgan andFinney (RMMF)	19
2-2	การจัดระดับความรุนแรงของการกร่อนดิน	31
3-1	พื้นที่การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตามกรมพัฒนาที่ดิน	37
3-2	พื้นที่การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา เพื่อการวิเคราะห์การกร่อนดิน	38
3-3	พื้นที่ป่าในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตามระดับความลาดชัน	40
3-4	พื้นที่ยางพาราในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตามระดับความลาดชัน	41
3-5	เปรียบเทียบค่าร้อยละของ ค่า C-factorวิธีอ้างอิงประเภทการใช้ที่ดิน ดัชนีพรรณพืช(NDVI)และดัชนีTransformation index.	50
3-6	ความสัมพันธ์ของแผนที่ค่า C-factorจาก 3 วิธี	50
3-7	ค่าตัวแปรที่มีความแปรผันตามเนื้อดิน (Soil texture)	57
3-8	ค่าตัวแปรที่ผันแปรตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน	62
3-9	ปริมาณสูญุดินในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	75
3-10	ระดับความรุนแรงของการสูญุดินในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ตามเกณฑ์การจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน	76
3-11	ระดับความรุนแรงของการสูญุดินในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ตามเกณฑ์การจำแนกของ Morgan (1995)	77
3-12	ค่าค่าสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และปริมาณการสูญุดินในพื้นที่ป่าไม้(กก./ไร่/ปี)	77

### รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3-13	ค่าเฉลี่ยของปริมาณการสูญเสียดินในแต่ละพื้นที่ความลาดชันและอายุของยาพารา (ตัน/ไร่/ปี)	78
3-14	ปริมาณการสูญเสียดินในแต่ละพื้นที่ความลาดชันและอายุของยาพารา (ตัน/ปี)	79
3-15	คอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion matrix) จากข้อมูลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	80
3-16	ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของแบบจำลอง (Sensitivity analysis)	81
3-17	พื้นที่วิกฤติ (Critical zone) ที่มีการใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่ป่าตามความลาดชัน	84
3-18	พื้นที่วิกฤติ (Critical zone) ที่มีการใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่ยางพาราตามความลาดชัน	84
4-1	เกณฑ์การจำแนกระดับความรุนแรงของการสูญเสียดิน (ตัน/ไร่/ปี)	88
ข-1	จุดตรวจสอบในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน	104

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1-1	รูปแบบการกร่อนโดยน้ำ	3
1-2	แบบจำลอง Revised Morgan- Morgan- Finney (RMMF)	11
1-3	ลักษณะภูมิประเทศลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	14
2-1	ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสูญดิน โดยแบบจำลอง Revised Morgan- Morgan- Finney (RMMF)	21
2-2	การทำพื้นที่เสี่ยงที่มีแนวโน้มที่จะเกิดกร่อนดินแบบร่องลึกชั่วคราว	33
3-1	การจำแนกการใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินปี 2552	36
3-2	การจำแนกการใช้ที่ดินโดยจำแนกพื้นที่ยางพาราตามช่วงอายุต่างๆ	39
3-3	สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 17 สถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	42
3-4	ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนในลุ่มน้ำคลองอุตะเถาในช่วงปี พ.ศ. 2548-2552	43
3-5	ค่าเฉลี่ยจำนวนวันฝนตกในลุ่มน้ำคลองอุตะเถาในช่วงปี พ.ศ. 2548-2552	43
3-6	การแจกแจงความถี่ (Histogram) ของข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	44
3-7	ผลลัพธ์การตรวจสอบ normal QQ plot จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	44
3-8	การกระจายของปริมาณน้ำฝนในทิศตะวันออก-ตก (x axis) และในทิศเหนือ-ใต้ (y-axis)	45
3-9	ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Auto correlation, Morans I)	46
3-10	รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำคลองอุตะเถาโดยวิธี Kriging	46
3-11	ค่าC-factorที่ได้จากการระบุตามประเภทการใช้ที่ดิน โดยการวิธี SuperviseClassification(a) และกราฟแสดงการกระจายของข้อมูล (จำนวนPixels) (b)	47
3-12	ค่าC-factorที่ได้จากความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณ(a) และกราฟแสดงการกระจายของข้อมูล (จำนวนPixels) (b)	48

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า	
3-13	ค่าC-factor ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีTransformation index (a) และกราฟแสดงจำนวนPixels (b)	49
3-14	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (Annual rainfall)	51
3-15	จำนวนวันฝนตกในรอบปี (Rainy day)	52
3-16	ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม(Soil moisture content at field capacity)	53
3-17	ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density)	54
3-18	ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (Soil detachability index)	55
3-19	ค่าความเชื่อมแน่นของผิวดิน (Surface cohesion)	56
3-20	ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (Slope)	58
3-21	ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์ (Crop manage factor)	59
3-22	ร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover)	60
3-23	ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover)	61
3-24	ค่าความสูงของพืช (Plant height)	63
3-25	ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (Rainfall interception)	64
3-26	อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (Actual to potential evapotranspiration ratio)	65
3-27	ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth)	66
3-28	พลังงานจลน์รวม (Total kinetic energy) ในลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา	67
3-29	ปริมาณไหลบ่า (Annual runoff) ในลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา	69
3-30	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไหลบ่าของพื้นที่ปลูกยางพาราอายุมากกว่า 20 ปี (a) และยางพาราอายุ 0-7 ปี (b) โดยจำแนกตามระดับความลาดชัน	71
3-31	ปริมาณดินที่แตกกระจาย (Soil particle detachment) ในลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา	72
3-32	ปริมาณดินที่ถูกพัดพา (Soil transportation) ในลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา	74
3-33	ปริมาณการสูญเสียดินในลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา	75



**รายการภาพประกอบ (ต่อ)**

ภาพประกอบ		หน้า
3-34	ค่าระดับความอ่อนไหวของตัวแปรในแบบจำลอง RMMF พื้นที่ลุ่มน้ำคลอง- อุตะเกาโดยวิธี Average linear sensitivity	82
3-35	พื้นที่วิกฤติ (Critical zone) มีแนวโน้มในการเกิดร่องลึกชั่วคราวในลุ่มน้ำ คลองอุตะเกา	83

### สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

MMF	แบบจำลองMorgan- Morgan- Finney
RMMF	แบบจำลองRevised Morgan- Morgan- Finney
USLE	สมการสูญเสียดินสากล
FAO	องค์การอาหารและเกษตรแห่งชาติ
DEM	แบบจำลองความสูงเชิงเลข
R	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี
R <sub>n</sub>	จำนวนวันฝนตกในรอบปี
I	ค่าความหนักเบาของฝน
MS	ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม
BD	ความหนาแน่นรวมของดิน
K	ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน
COH	ค่าความเชื่อมั่นของผิวดิน
S	ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ
C-factor	ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์
GC	ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน
CC	ร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดิน
PH	ค่าความสูงของพืช
A	ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้
Et/Eo	อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด
EHD	ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้
NDVI	ดัชนีพืชพรรณ
KE <sub>total</sub>	พลังงานจลน์รวม
KE(DT)	พลังงานจลน์ของฝน
KE(LD)	พลังงานจลน์ฝนจากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ
LD	ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ

ER	ปริมาณฝนใช้การ
DT	ปริมาณน้ำฝนที่ตกกระทบโดยตรง
Q	ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน
$R_c$	ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้
$R_0$	น้ำฝนเฉลี่ยต่อวันในหนึ่งปี
H	ปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายโดยการไหลบ่า
Z	ค่าความต้านทานของดิน
F	อนุภาคดินที่แตกกระจายโดยฝนที่ตกลงมา
K	ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน
D	ปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายทั้งหมด
TC	ปริมาณเม็ดดินที่ถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่า
ALS	การความอ่อนไหว
$F_c$	Critical threshold
A	พื้นที่ต้นน้ำ
W	ความกว้างของการไหล

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำตั้งเรื่อง

ปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นจำนวนมาก เพื่อเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอ กับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมจะทำให้ดินเกิดความเสื่อมโทรม การกร่อนของดินเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดิน (Vargas, 2004) โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการกร่อนยิ่งขึ้น (FAO, 1994; Morgan, 1995) นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon content) โครงสร้างของดิน (Soil structure) คุณสมบัติการนำน้ำของดิน (Soil hydraulic properties) การกักเก็บน้ำของดิน (Water retention characteristics) และปริมาณธาตุอาหารพืชและสารอินทรีย์ในดินลดลง ทำให้ผลิตภาพของดิน (Soil productivity) ลดลงในระยะยาว

พื้นที่ที่มีปัญหาการกร่อนดินทั่วโลก มีประมาณ 1,100 ล้านเฮกแตร์ และร้อยละ 56 ของพื้นที่ที่เกิดการกร่อนดิน มีปัญหาการเสื่อมโทรมของดินทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ (Lichtfouse *et al.*, 2009) ทำให้ดินมีสภาพแปรเปลี่ยนไปจากเดิมไม่เอื้ออำนวยต่อผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากคุณสมบัติทางด้านต่างๆ ของดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น สมบัติทางเคมี ความอุดมสมบูรณ์ หรือปริมาณธาตุอาหารพืชลดลงและอยู่ในสภาวะไม่สมดุล กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เกิดขึ้นยาก ทางด้านกายภาพของดินสูญเสียโครงสร้างทำให้เกิดอัดตัวแน่น ขาดความโปร่งพรุน เป็นต้น การกร่อนของดินยังก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม เช่น การเคลื่อนที่ของมลพิษ ลดความหลากหลายทางชีวภาพในแม่น้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ การเปลี่ยนแปลงในร่องแม่น้ำ (River channel) (นิพนธ์, 2545) คุณภาพน้ำลดลง เกิดมลภาวะทางน้ำ ปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) และส่งผลให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ซึ่งในประเทศไทยมีปัญหาการตื้นเขินที่มีสาเหตุมาจากการกร่อนประมาณ 134.54 ล้านไร่ หรือร้อยละ 41.95 ของพื้นที่ทั้งประเทศ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

กรมพัฒนาที่ดิน (2545) รายงานว่า ประเทศไทยพบปัญหาการกร่อนของดินโดยน้ำถึง 108.87 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 34 เปอร์เซ็นต์ของดินทั่วประเทศ หากคำนวณต้นทุนการสูญเสียธาตุอาหารจากการกร่อนของดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5,015 ล้านบาทต่อปี จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของประเทศไทยโดยการแปลภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลดาวเทียม และการตรวจสอบในสนาม ในปี พ.ศ. 2523 2529 2541 และ 2544 พบว่าในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ลดลง พื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นรวมทั้งพื้นที่ชุมชนที่เพิ่มขึ้นประมาณ 8 เท่าตัวจาก พ.ศ. 2523 อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าตั้งแต่ พ.ศ. 2529- 2541 พื้นที่นาได้ลดลงประมาณ 3.5 ล้านไร่ พื้นที่นาที่ลดลงนั้นถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นโรงงานอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย สนามกอล์ฟ รีสอร์ท หรือที่พักผ่อนหย่อนใจจำนวนมาก แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2541-2544 พื้นที่นาได้เพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 ล้านไร่ เนื่องจากหลังวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจในปี พ.ศ. 2540 ได้มีการเคลื่อนย้ายแรงงานกลับสู่ภาคเกษตรมากขึ้น แต่ยังคงพบที่เกิดปัญหาการสูญดินยังอยู่ในระดับสูง

ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็ว เช่น การรุกป่าพื้นที่ป่าเพื่อทำการเกษตร ในปี 2525-2544 มีพื้นที่ป่าที่ถูกเปลี่ยนเป็นการปลูกยางพาราจำนวน 164,125.80 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นที่ลุ่มน้ำ (Tanavud *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเร่งการเกิดการกร่อนของดินจนทำให้ดินเกิดความเสื่อมโทรม จากการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2544 (อนิสรา, 2544) พบว่า อนุภาคดินในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าเป็นพื้นที่ปลูกยางพารามีอนุภาคขนาดหยาบมากขึ้น และปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มีปริมาณลดลง นั้นแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ยางพาราส่งผลต่อการกร่อนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ซึ่งมีหลายการศึกษาได้ทำการประเมินการกร่อนในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา และลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกันมากนัก เนื่องจากมีการศึกษาในพื้นที่ขนาดใหญ่ การศึกษาการกร่อนดินในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาจึงเป็นส่วนสำคัญที่สามารถนำผลลัพธ์ไปใช้เพื่อการจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ต่อไป

## 1.2 การตรวจเอกสาร

การกร่อนของดิน (Soil erosion) หมายถึง กระบวนการสูญเสียน้ำดินที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำให้อนุภาคบนผิวดินแตกแยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคดังกล่าวไปทับถมยังอีกที่หนึ่ง (นิพนธ์, 2545) โดยแรงที่มากระทบและเคลื่อนย้ายดังกล่าว อาจเป็น น้ำ ลม หรือแรงถ่วงของ

โลก แต่การกร่อนจากน้ำมีความสำคัญและมีผลกระทบรุนแรงในเขตร้อนชื้น โดยรูปแบบการกร่อนดินจากน้ำที่สำคัญ ๆ ในประเทศไทย สามารถจำแนกออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

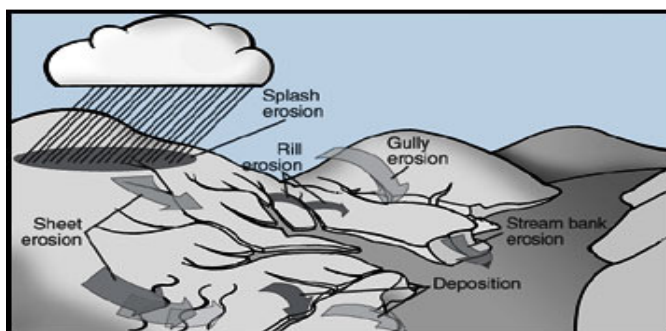
การกร่อนของดินแบบกระเด็น (Splash erosion) ในการตกกระทบของเม็ดฝนติดต่อกัน จากน้ำฝนนับหมื่นนับล้านเม็ดนั้น จะทำให้อนุภาคดินบนผิวหน้าแตกกระจาย และกระเด็นไปจากตำแหน่งเดิม

การกร่อนดินแบบผิวผ่าน (Sheet erosion) การกร่อนดินในลักษณะนี้เกิดจากเม็ดดินจะถูกพัดพาเคลื่อนที่ออกไปจากพื้นที่ลาดเขา โดยแรงน้ำไหลบ่าหน้าดินซึ่งไหลเอ่อเหนือผิวดินเป็นแผ่นบาง

การกร่อนดินแบบร่องริ้ว (Rill erosion) การกร่อนดินในลักษณะนี้เกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดินรวมกันเป็นทางน้ำเล็ก ๆ แล้วกัดเซาะลงไปบนเนื้อดิน การกัดกร่อนเป็นลักษณะร่องตื้นขนาดเล็กแนวเกือบเป็นเส้นตรงยาวติดต่อกันไปและขนานกันไปเป็นริ้ว ๆ กระจายทั่วผิวดิน

การกร่อนดินแบบร่องลึก (Gully erosion) การเกิดการกร่อนดินลักษณะนี้เกิดขึ้นโดยปล่อยให้ น้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินกัดกร่อนลึกลงไปเรื่อย ๆ จนร่องริ้วขยายตัวขึ้นเป็นร่องลึกลงไปถึงดินชั้นล่าง

การกร่อนดินโดยธารน้ำ (Stream-bank erosion หรือ Channel erosion) สำหรับการกร่อนดินแบบนี้เกิดขึ้นในลำน้ำ หากฝนตกหนักจะมีน้ำที่ไหลตามร่องหรือลำน้ำนี้จะกัดเซาะดินชายฝั่ง



ภาพประกอบ 1-1 รูปแบบการกร่อนโดยน้ำ

ที่มา : <http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx>

### 1.2.1 ปัจจัยที่ควบคุมการกร่อนของดินโดยน้ำ

อัตราการเกิดการกร่อนโดยน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ความเข้มของฝน (Rainfall intensity) และการไหลบ่า (Runoff) ความคงทนต่อการถูกกร่อนของดิน (Soil erodibility) ความลาดชัน (Slope) และพืช (Vegetation)

### ความเข้มของฝน (Rainfall intensity) และการไหลบ่า (runoff)

ปริมาณความหนาแน่นของฝนมีผลต่อพลังงานจลน์ที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน ทำให้โครงสร้างของก้อนดิน (Soil aggregate) หลุดออกจากกันเป็นอนุภาคอิสระ (Detachment) และเกิดการกระเด็น (Scatter) ออกจากกันของเม็ดดิน อนุภาคของเม็ดดินขนาดใหญ่ เช่น เม็ดทรายขนาดใหญ่และกรวด (Gravel) ต้องการค่าพลังงานที่มากในการ Detachment และถูกเคลื่อนย้ายมากกว่าเม็ดดินขนาดเล็ก ปริมาณและความเข้มของฝนยังเป็นตัวกำหนดปริมาณการไหลบ่าของน้ำ เมื่อปริมาณของฝนที่ตกในแต่ละครั้ง น้ำผิวดินมากกว่าศักยภาพของซึมผ่านน้ำของดิน (Infiltration capacity) ทำให้เกิดการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน และมีอัตราการไหลบ่ามากขึ้นในพื้นที่ลาดชันที่มีการซึมน้ำเข้าสู่ดินน้อย หรือน้ำถูกกักเก็บบนผิวดิน หรือดินที่แน่นทึบ และเกิดชั้นดินแข็งที่ผิวดิน (Crusting)

### ความคงทนต่อการถูกกร่อนของดิน (Soil erodibility)

ความคงทนต่อการถูกกร่อนของดิน และการเคลื่อนย้ายของดิน ซึ่งขึ้นกับผลรวมของสมบัติต่างๆ ของดิน ได้แก่ ขนาดอนุภาคดิน (Particle size distribute) ความเสถียรภาพของโครงสร้าง (Structural stability) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter content) ชนิดของแร่ดินเหนียว เป็นต้น โดยทั่วไปดินมีความคงทนต่อการกร่อนสูง หากมีอัตราการซึมและอินทรีย์วัตถุสูง โครงสร้างของดินที่มั่นคง ขนาดอนุภาคดิน เช่น ดินทรายละเอียดมาก (Very fine sand) และดินทรายแป้ง (Silt) มีแนวโน้มที่ค่าความคงทนต่อการถูกกร่อนของดินมากกว่าดินทราย (Sand) ส่วนในดินเหนียว (Clay) ดินที่มีโครงสร้างเลวที่เกิดจากการไถพรวนมากเกินไป และดินที่มีระดับอินทรีย์วัตถุต่ำ จะทำให้เกิดการกร่อนได้ง่าย ส่วนการเกิดชั้นดานใต้ผิวดิน หรือ ชั้นอัดแน่นบนผิวดินมีผลต่อการซึมผ่านน้ำลดลง และทำให้เกิดการไหลบ่ามากขึ้น

### ความลาดชัน (Slope)

ปัจจัยความลาดชัน (Slope gradient) ทิศของความลาดชัน (Slope aspect) ความยาวของความลาดชัน (Slope length) และ รูปแบบความลาดชัน (Pattern slope) มีผลโดยตรงต่อการกร่อนของดิน โดยทั่วไประดับความลาดชันที่สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำไหลบ่าและการกร่อนของดินมากขึ้น แนวโน้มในการเกิดการกร่อนดินแบบร่องริ้ว (Rill erosion) ได้มากกว่าในพื้นที่ที่มีระดับความลาดชันมากกว่าแต่ความยาวของความลาดชันน้อย

### **พืช (Vegetation)**

พืชคลุมดินทำหน้าที่ในการปกป้องดิน เนื่องจากการลดผลกระทบจากฝนที่ตกลงมา อีกทั้งยังลดอัตราการไหล และมันจะทำให้มีเวลาเพียงพอให้น้ำฝนซึมสู่ผิวดิน และน้ำฝนจะซึมสู่ผิวดินได้หมดหากสิ่งปกคลุมดินแน่นทึบทำให้สามารถสมมติได้ว่าไม่มีการกร่อน เพราะ แรงกระทบจากฝนที่ตกลงมาจะถูกสกัดไว้

#### **1.2.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อการกร่อน**

สภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เช่น การรुकกล้าพื้นที่ป่าไม้เพื่อปลูกพืชเชิงเดี่ยวที่มีสิ่งปกคลุมดินน้อยลง และการขยายตัวของเขตชุมชน มีผลต่อความคงทนของดินในการกร่อน รูปแบบการกร่อน และระดับความเข้มข้นและคุณลักษณะของตะกอนในแม่น้ำ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการไถพรวน หรือเกษตรกรรมที่มากเกินไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของดิน เช่น ความพรุน และ ความหนาแน่นรวม ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ผลกระทบต่อกร่อนให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) จากการลดลงของความคงทนของเม็ดดิน และความพรุนของดิน ความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุและความคงทนของโครงสร้างเม็ดดินลดลง

แต่หากมีการปลูกพืชปกคลุมผิวดินมากขึ้น จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการซึมน้ำในดิน ซึ่งเป็นผลของการเพิ่มของอินทรีย์วัตถุ และลดความหนาแน่นรวม ซึ่งพืชพรรณที่ปกคลุมผิวดินช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝน และยังมีระบบรากช่วยในการยึดเหนี่ยวเม็ดดิน เพิ่มปริมาณพื้นที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เพิ่มการซึมน้ำได้ดีและปรับ โครงสร้างของดิน นอกจากนี้ เศษซากพืชที่กำลังสลายตัวจะเพิ่มปริมาณของอินทรีย์วัตถุ

#### **1.2.3. การวิเคราะห์ตัวแปรสภาพภูมิประเทศ (Terrain analysis)**

การวิเคราะห์ตัวแปรสภาพภูมิประเทศเชิงเลข เป็นกระบวนการที่ใช้อธิบายสภาพภูมิประเทศในเชิงปริมาณ และหาตัวแปรด้านภูมิประเทศจากข้อมูล DEM ในระบบ GIS (Hengl *et al.*, 2003) ได้แก่ ทิศทางของความลาดชัน (Slope aspect), ทิศทางการไหลของน้ำ (Flow direction), การไหลสะสม (Flow accumulate) ตัวแปรเหล่านี้เมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเครือข่ายการระบายน้ำ



(Drainage network) ในพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำสามารถทำการกำหนดพื้นที่เสี่ยง (Critical zones) ของลุ่มน้ำที่มีแนวโน้มในการเกิดการกร่อนของดินแบบร่องลึก

#### **ทิศทางของความลาดเท (Slope aspect)**

ทิศทางของความลาดเท ระบุทิศทางที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงมากที่สุดระหว่างแต่ละกริดที่อยู่ข้างเคียง 8 กริด หรือก็คือทิศทางของความลาดชัน โดยแบ่งตามองศาของทิศ 0 ถึง 360 องศาตามเข็มนาฬิกาจากทิศเหนือ (Paron and Vargas, 2007) ทิศทางความลาดชันที่มีค่าเป็น 0 (พื้นที่ราบ) จะถูกกำหนดให้เป็นค่า -1

ทิศทางความลาดเทจะสามารถบอกถึงสภาพพื้นผิวที่มีโอกาสรับแสงแดดมากกว่า เช่น ความลาดชันทางด้านทิศตะวันตกมักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าทิศตะวันออก เนื่องจากมีแดดที่แรงกว่าในช่วงบ่าย ในตอนเช้า และในเขตอบอุ่น ความลาดชันในด้านทิศใต้ มักจะมีพืชพรรณที่ปกคลุมหนาแน่นกว่าด้านทิศเหนือ

#### **ทิศทางการไหลของน้ำ (Flow direction)**

ทิศทางการไหลของน้ำ เป็นทิศทางของน้ำที่ไหลแต่ละกริดไปยังกริดข้างเคียงที่มีความลาดชันสูงสุดในข้อมูล DEM โดยระบุทิศทางเป็น 8 ทิศทางเช่นเดียวกับ ทิศทางความลาดชัน (David, 1997)

#### **การไหลสะสม (Flow accumulation)**

การไหลสะสม หมายถึง จำนวนกริดทั้งหมดที่มีน้ำไหลมาสะสมในกริดที่กำหนด เป็นการระบุปริมาณพื้นที่ต้นน้ำที่มีการระบายน้ำสะสมไปสู่กริดที่อยู่ความลาดชันที่น้อยกว่า ผลลัพธ์สามารถใช้ในกำหนดระบบเครือข่ายการระบายน้ำ โดยคัดเลือกกริดที่มีการไหลสะสมสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ESRI, 2008)

#### **การวิเคราะห์เครือข่ายการระบายน้ำ (Drainage network extraction)**

การวิเคราะห์เครือข่ายการระบายน้ำ แสดงแผนที่ของเครือข่ายการไหลพื้นฐาน จากการกำหนดค่าเกณฑ์ปริมาณการไหลสะสม ในแต่ละกริดของข้อมูล DEM (ESRI, 2008).

#### **พื้นที่วิกฤติ (Critical zone)**

พื้นที่วิกฤติ เป็นพื้นที่ที่ไวต่อการเกิดการกร่อนแบบร่องลึกชั่วคราว โดยทั่วไปการเกิดการกร่อนแบบร่องลึก เมื่อพื้นที่ต้นน้ำ และความชันมีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์กำหนด (Jetten *et al.*, 2006)

โดยใช้ปัจจัยด้านความลาดชัน Flow direction Flow accumulation Catchment area และ Flow width ในการประเมินพื้นที่วิกฤติ

#### 1.2.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประเมินการกร่อนของดิน (Erosion model)

แบบจำลองการกร่อนของดิน เป็นการจำลองกระบวนการที่ซับซ้อนที่เกิดขึ้นจริงในสภาพธรรมชาติ (Shrestha *et al.*, 2004) การสร้างแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกร่อนของดิน จากการสังเกต วัด และการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติในสภาพพื้นที่จริง มีการพัฒนาแบบจำลองต่างๆ ตามวัตถุประสงค์และปัญหาที่แตกต่างกัน ผู้ใช้จำเป็นต้องมีความเข้าใจแนวคิด และความเหมาะสมเฉพาะของแต่ละแบบจำลองในแต่ละสภาพพื้นที่ (Gebrekirstos, 2003) โดยทั่วไปแบบจำลองการกร่อนของดินสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ แบบจำลองเอ็มไพริคอล (Empirical based) แบบจำลองมโนทัศน์ (Conceptual based) และแบบจำลองบนฐานฟิสิกส์ (Physical based) ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองเหล่านี้ ไม่ค่อยชัดเจนนักและค่อนข้างเป็นลักษณะเฉพาะ (Subjective) และมักจะมีการผสมผสานกันระหว่างแบบจำลองประเภทต่างๆ เหล่านี้ (Merritt *et al.*, 2003).

แบบจำลองเอ็มไพริคอล หมายถึงแบบจำลองที่หาคำตอบโดยไม่สนใจกลไก หรือกระบวนการที่แท้จริง โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ และค่าคงที่ (Empirical constant) กับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองในสภาพพื้นที่จริง (Observed output) แบบจำลองประเภทนี้นิยมใช้มาก เนื่องจากสามารถใช้ได้ง่ายและมีตัวแปรไม่มากนัก

แบบจำลองมโนทัศน์ หมายถึงแบบจำลองที่พิจารณาความเป็นไปในทุกขั้นตอนของกลไกต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อยๆ อย่างเป็นระบบตามกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงให้มากที่สุด สามารถประยุกต์และนำไปใช้กับพื้นที่อื่นๆ ได้ง่ายโดยเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้อง แต่ไม่นิยมใช้เพื่อประเมินการกร่อนของดินมากนักเนื่องจากแบบจำลองมีความซับซ้อนสูง และต้องการข้อมูลตัวแปรมาก (Shrestha, 2003)

แบบจำลองบนฐานฟิสิกส์ หมายถึงแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาบนฐานของกฎทางฟิสิกส์ โดยพยายามที่จะใช้กฎเหล่านั้นเลียนแบบกลไกของกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งในหลายกรณียังไม่สามารถสืบค้นได้ว่าอะไรทำให้เกิดกลไกนั้น และหลายกรณียังไม่สามารถวัดผลลัพธ์ของกลไกที่เกิดขึ้นได้

แบบจำลองที่นิยมใช้ในการประเมินการกร่อนของดินต่างๆ ที่ใช้กันมาก ได้แก่

#### **Universal Soil Loss Equation (USLE)**

USLE เป็นสมการที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้กันทั่วโลก และเป็นแบบจำลองเอ็มไพริคอลที่เป็นแบบจำลองพื้นฐานของแบบจำลองอื่นๆ พัฒนาโดย Wischmeier and Smith (1965) ได้จากข้อมูลการทดลอง และวิเคราะห์ทางสถิติในแปลงทดลองจำนวน 10,000 plots years ในประเทศสหรัฐอเมริกา การประเมินการกร่อนของดินโดยใช้ค่าตัวชี้วัดของปัจจัยหลักๆ ที่มีผลต่อการกร่อนของดิน ได้แก่ ดัชนีความสามารถของฝน (R) ดัชนีความคงทนของดิน (K) ต่อการถูกกัดชะด้วยพลังงานของฝน ความยาวของความลาดเท (L) ความลาดเท (S) การจัดการพืชพรรณ (C) และการอนุรักษ์ดิน (P) แบบจำลองนี้มีการปรับปรุงแก้ไขหลายครั้ง และปรับให้สามารถพิจารณาข้อมูลเพิ่มเติมได้มากขึ้น (Renard, 1997). แบบจำลองมีข้อจำกัดบางประการ และไม่สามารถประเมินการกร่อนของดินในระยะยาวได้ ความแม่นยำของแบบจำลองลดลง เมื่อใช้สถิติข้อมูลน้ำฝนในช่วงสั้น (Merritt *et al.*, 2003) และไม่สามารถใช้ในการประเมินการกร่อนแบบร่องลึก หรือการกัดเซาะของร่องน้ำ แบบจำลองมีการพิจารณาปริมาณการเคลื่อนย้ายของตะกอน แต่ไม่ได้คำนึงถึงการทับถมของตะกอน (ธวัช และคณะ, 2541)

#### **Rivised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**

RUSLE เป็นแบบจำลองที่ประยุกต์มาจากแบบจำลอง USLE มีการเพิ่มเติมองค์ประกอบบางอย่างที่ได้จากการทดลองบางงาน แต่ยังมีข้อจำกัดในลักษณะเดียวกัน USLE (Gebrekirstos, 2003) เช่น ค่าปัจจัยที่ใช้ต้องมาจากผลการทดลองในพื้นที่นั้นๆ

#### **แบบจำลอง Agricultural Non-Point Source Pollution (AGNPS)**

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองเพื่อประเมินการกร่อนของดินและการไหลบ่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยใช้ข้อมูล แบบกริด และเน้นการคำนวณปริมาณการเคลื่อนย้ายของตะกอนและธาตุอาหารพืชในดิน (Young *et al.*, 1989) แบบจำลองนี้สามารถเชื่อมโยงและนำเข้าข้อมูลตัวแปรต่างๆ จาก GIS เช่น ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ประเภทการใช้ที่ดินและปริมาณน้ำฝน เส้นชั้นความสูง เส้นทางระบายน้ำ และขอบเขตลุ่มน้ำ เป็นต้น (Merritt *et al.*, 2003) ข้อจำกัดของแบบจำลองได้แก่ ต้องการข้อมูลนำเข้าในปริมาณมาก

#### **แบบจำลอง Water Erosion Prediction Project (WEPP)**

เป็นแบบจำลองบนฐานฟิสิกส์ ออกแบบเพื่อทดแทนที่ USLE (Lafren *et al.*, 1991). ประกอบด้วยแบบจำลองย่อย 2 กระบวนการ ได้แก่ 1. การประเมินปริมาณการกัดชะของดิน การทับถมจากพื้นที่ลาดเขา (Hill slope) และปริมาณดินที่สูญเสียทั้งหมดในส่วนท้ายของพื้นที่ความ

ลาดชัน โดยไม่มีการพิจารณาการกร่อนของดิน และ 2. ประเมินการเคลื่อนย้าย กระบวนการทับถมของตะกอนในร่องน้ำถาวร ปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมด และการทับถมในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแบบจำลองสามารถประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่ที่มีการกร่อนแบบร่องลึกชั่วคราว การกร่อนของเครือข่ายของร่องน้ำ สามารถคำนวณเฉพาะฝนที่ตกในแต่ละครั้ง และการจำลองแบบต่อเนื่อง (นิพนธ์, 2545; Endale, 2003)

#### **แบบจำลอง Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS)**

CREAMS เป็นแบบจำลองสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำในพื้นที่เกษตรแบบเข้มข้นที่มีการใช้สารเคมีเกษตรสูง ประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ ส่วนที่พิจารณาด้าน อุทกวิทยา การกร่อน และสภาพทางเคมี โดยทำการประมาณค่าการกร่อนและตะกอนดินรายวัน หรือในระยะยาว แบบจำลองสามารถใช้ในการประเมินบางส่วนของลุ่มน้ำ หรือทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่ไม่ใหญ่มากนัก โดยใช้แนวเส้นระดับกำหนดทิศทางการไหลของน้ำไหลบ่า ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ลักษณะการจัดการพืช การอนุรักษ์ดินและน้ำ เป็นต้น (Knisel, 1980)

#### **แบบจำลอง Morgan – Morgan and Finney (MMF)**

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองเพื่อประเมินการสูญเสียดินจากพื้นที่ลาดเขา เป็นแบบจำลองผสมระหว่างฐานฟิสิกส์และมโนทัศน์โดยรวมเอาส่วนที่เป็นหลักการที่ง่ายของ USLE และส่วนที่คำนึงถึงกระบวนการกร่อนของดินจาก CREAM ข้อได้เปรียบของแบบจำลองได้แก่ ต้องการข้อมูลน้อยกว่าแบบจำลองการประเมินการกร่อนอื่นๆ แบ่งกระบวนการกร่อนออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ส่วนอุทกวิทยาและส่วนการทับถมของตะกอน แบบจำลองสามารถประยุกต์กับ GIS ใช้ข้อมูลในรูปแบบเวกเตอร์ (Omuto and Shrestha, 2007)

#### **แบบจำลอง Revised Morgan – Morgan and Finney (RMMF)**

RMMF เป็นแบบจำลองพัฒนามาจากแบบจำลอง MMF เพิ่มการวิเคราะห์กระบวนการกร่อนดินที่ละเอียดยิ่งขึ้น แยกออกเป็นกระบวนการทางน้ำ และกระบวนการทางตะกอน

กระบวนการทางน้ำแบ่งออกเป็นเป็นการประเมินพลังงานจลน์จากฝนที่ตกกระทบผิวดิน และการประเมินปริมาณน้ำที่ไหลบ่า

พลังงานจลน์จากฝนที่ตกกระทบผิวดิน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประเมินพลังงานจลน์ที่ตกกระทบใบพืชก่อนตกสู่ผิวดิน เป็นพลังงานจลน์จากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ ซึ่งสัมพันธ์

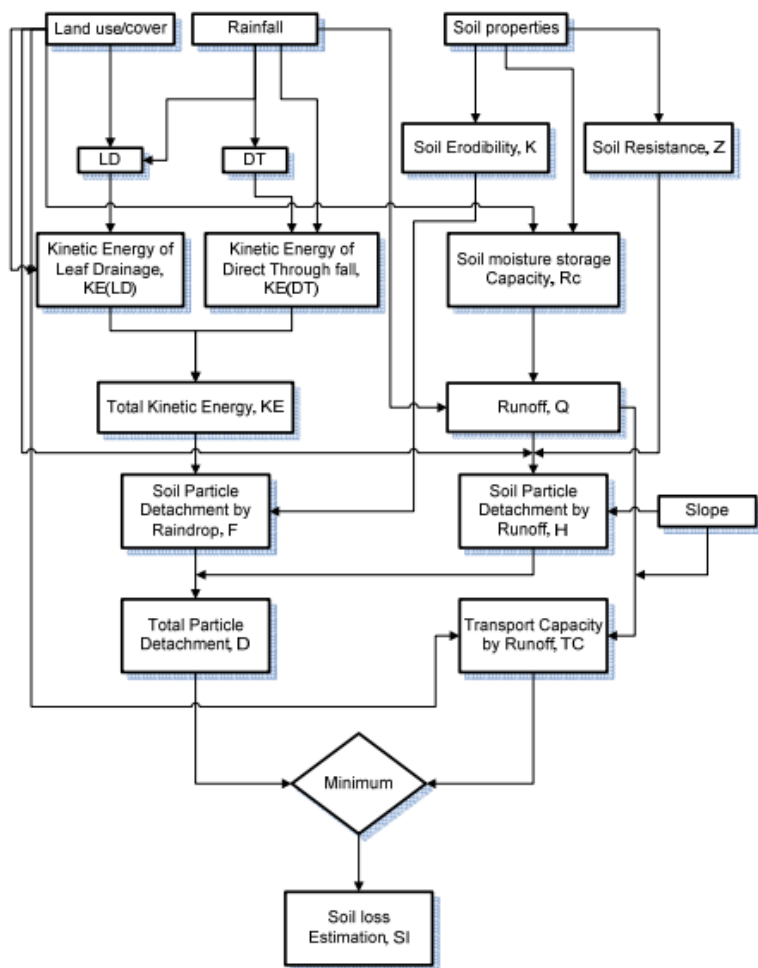
กับความสูงของพืช (Plant Height) ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ (Leaf drainage) ปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall) และร้อยละของพื้นที่เรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover) อีกส่วนเป็นพลังงานจลน์ที่เกิดจากแรงตกกระทบของเม็ดฝนบนผิวดินโดยตรง จะสัมพันธ์กับค่าความหนักเบาของฝน (Rainfall intensity) ปริมาณน้ำฝนใช้ (Effective rainfall) การส่วนที่ตกกระทบโดยตรง (Direct through fall)

การประเมินปริมาณน้ำไหลบ่า (Runoff) ซึ่งก่อให้เกิดแรงเฉือนหน้าดิน ได้จากน้ำส่วนที่เกินความสามารถในการเก็บกักของดิน และไหลตามทิศทางการลาดเอียง ทำให้เกิดแรงเฉือนหน้าดินจนเกิดการกัดเซาะและเคลื่อนย้ายตะกอน ซึ่งขึ้นกับความจุการกักความชื้นของดิน (Soil moisture storage capacity) ซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติต่างๆ ของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน ความจุความชื้นสนาม (Field capacity) และลักษณะของพืชที่กีดขวาง ปริมาณการไหลบ่าคำนวณได้จากตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (Ratio of actual to potential evapotranspiration) และความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth) ประสิทธิภาพการกักความชื้นของดินมาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ น้ำฝนเฉลี่ยต่อวันในหนึ่งปี และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

กระบวนการทางตะกอน ประกอบด้วยการหาปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจาย และประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายโดยการไหลบ่า

อนุภาคดินที่แตกกระจายเกิดได้โดยการไหลบ่า และเกิดจากเม็ดฝนที่ตกกระทบ ปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายโดยการไหลบ่า ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ความลาดชัน ความต้านทานของดิน สิ่งปกคลุมผิวดินที่เป็นตัวต้านทานแรงกัดเซาะของการไหลบ่า ในส่วนปริมาณอนุภาคดินที่เกิดจากน้ำฝนที่ตกกระทบ ประเมินจากค่าพลังงานจลน์รวมจากฝน คำนวณการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (Soil detachability index) ส่วนประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายโดยการไหลบ่า พิจารณาจากปริมาณน้ำไหลบ่า และปัจจัยแรงต้านจากการปกคลุมโดยพืช

ปริมาณการสูญเสียดินรายปี (Annual soil loss) ของแบบจำลอง RMMF หาได้โดยการเปรียบเทียบปริมาณการสูญเสียดินที่ได้จากกระบวนการแตกกระจายของดิน (Soil detachment) และกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจาย (Soil transportation) โดยถือเอาปริมาณการสูญเสียดินน้อยกว่าเป็นตัวจำกัดที่การกร่อนได้จริงในพื้นที่ (ภาพประกอบ 1-2)



ภาพประกอบ 1-2 แบบจำลอง Revised Morgan- Morgan- Finney (RMMF)

### 1.2.5 การจัดลำดับความรุนแรงการกร่อน

การจัดลำดับความรุนแรงของการกร่อนเป็นการแบ่งปริมาณการสูญดินในพื้นที่เพื่อให้เห็นผลกระทบกับพื้นที่ที่ศึกษาและยังทำให้ทราบถึงพื้นที่ที่มีระดับการสูญดินในระดับที่ยอมรับได้ (Soil erosion tolerance rate) และสามารถเป็นแนวทางในการเลือกชนิดพืชที่ปลูกและระบบจัดการในการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งอัตราการสูญดินที่ยอมรับได้เป็นปริมาณสูงสุดของการสูญดินรายปีที่เคลื่อนที่ก่อนเกิดผลกระทบต่อผลิตภาพจากดินในระยะยาวอย่างรุนแรง (Stone and Hiborn, 2000)

อัตราการสูญดินที่ยอมรับมักจะเปลี่ยนไปตามพื้นที่ศึกษา เช่น ประเทศแคนาดาที่เมือง Guelph พบว่าอัตราการสูญดินที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่า 3 ตันต่อเอเคอร์ต่อปี หรือ 0.48 ตันต่อไร่ต่อ

ปี (Stone and Hiborn, 2000) ส่วนในงานวิจัยของ USDA พบว่าอัตราการสูญดินที่ยอมรับในประเทศอเมริกาอยู่ในช่วง 1-5 ตันต่อเอเคอร์ต่อปี หรือ 0.16-0.8 ตันต่อไร่ต่อปี (Terrence *et al.*, 2002) และ FAO ระบุอัตราการสูญดินที่ยอมรับได้เท่ากับ 1-12 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี หรือ 0.16-1.92 ตันต่อไร่ต่อปี ทั้งนี้อัตราการสูญดินที่ยอมรับได้ในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ชนิดของหิน และความลึกของชั้นดิน (Stone and Hiborn, 2000 ; Roose, 1996)

กรมพัฒนาที่ดิน (2543) ได้กำหนดปริมาณการสูญดินสูงสุดที่ยอมรับได้ในประเทศไทยเท่ากับ 2 ตันต่อไร่ต่อปี หรือเท่ากับความลึกหน้าดิน 0.96 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งในการสูญดินระดับนี้จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับสมรรถนะของดินตลอดระยะเวลา 25 ปี หากค่าการสูญดินสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้จะทำให้คุณภาพดินและผลผลิตในระยะยาวเกิดความเสียหาย ส่งผลต่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจ และจำเป็นต้องมีการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสม ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้จำแนกการกร่อนออกเป็น 5 ระดับ ตามผลกระทบที่เกิดในพื้นที่ ได้แก่

ระดับที่ 1 น้อยมาก (Very slight) อัตราการสูญดิน 0-2 ตันต่อไร่ต่อปี (0-0.96 มิลลิเมตรต่อปี)

ระดับที่ 2 น้อย (Slight) อัตราการสูญดิน 2-5 ตันต่อไร่ต่อปี (0.96-2.4 มิลลิเมตรต่อปี) เกิดการกร่อนในพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งหมด

ระดับที่ 3 ปานกลาง (Moderate) อัตราการสูญดิน 5-15 ตันต่อไร่ต่อปี (2.4-7.2 มิลลิเมตรต่อปี) ต้องมีการเปลี่ยนแปลงแผนการจัดการดิน และมีค่าใช้จ่ายในการจัดการดิน แต่ดินยังมีความสามารถในการปลูกพืชชนิดเดิมอยู่

ระดับที่ 4 รุนแรง (Severe) อัตราการสูญดิน 15-20 ตันต่อไร่ต่อปี (7.2-9.6 มิลลิเมตรต่อปี) ขีดความสามารถของดินในการปลูกพืชเลวลงกว่าเดิม เช่น ดินไม่สามารถปลูกข้าวโพดได้อย่างเดิม แต่ต้องเปลี่ยนมาทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์แทน และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดการดินสูงมากเกินกว่าที่ยอมรับได้ออกและต้องใช้เวลาเพื่อปรับปรุงดินให้มีคุณภาพเช่นเดิม

ระดับที่ 5 รุนแรงมาก (Very severe) อัตราการสูญดินมากกว่า 20 ตันต่อไร่ต่อปี (มากกว่า 9.6 มิลลิเมตรต่อปี) เกิดการกร่อนแบบร่องลึก (Gully) ในพื้นที่ทั่วไป

### 1.2.6 พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา เป็นลุ่มน้ำย่อยที่สำคัญที่สุดลุ่มน้ำหนึ่งของทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 2,400 ตารางกิโลเมตร อาณาเขตด้านทิศเหนือติดกับอำเภอรัตภูมิ อำเภอกวนเนียง จังหวัดสงขลา และทะเลสาบสงขลา ทิศใต้ติดกับประเทศมาเลเซีย ทิศตะวันออกติดกับอำเภอจะนะ และอำเภอนาทวี จังหวัดสงขลา และทิศตะวันตกติดกับอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา (ภาพประกอบ 1-3) ครอบคลุมอำเภอสะเดา อำเภอนาหม่อม อำเภอหาดใหญ่ อำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอบางกล่ำ และอำเภอเมืองจังหวัดสงขลา พื้นที่ลุ่มน้ำมีชุมชนเทศบาล 11 แห่ง คือ เทศบาลนครหาดใหญ่เทศบาลเมืองบ้านพรุ เทศบาลเมืองสะเดา เทศบาลตำบลปาดังเบซาร์ เทศบาลตำบลคลองแงะ เทศบาลตำบลสำนักขาม เทศบาลตำบลพะตง เทศบาลตำบลคอกหงส์เทศบาลตำบลควนลัง เทศบาลตำบลคลองแห และเทศบาลตำบลปรัง (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

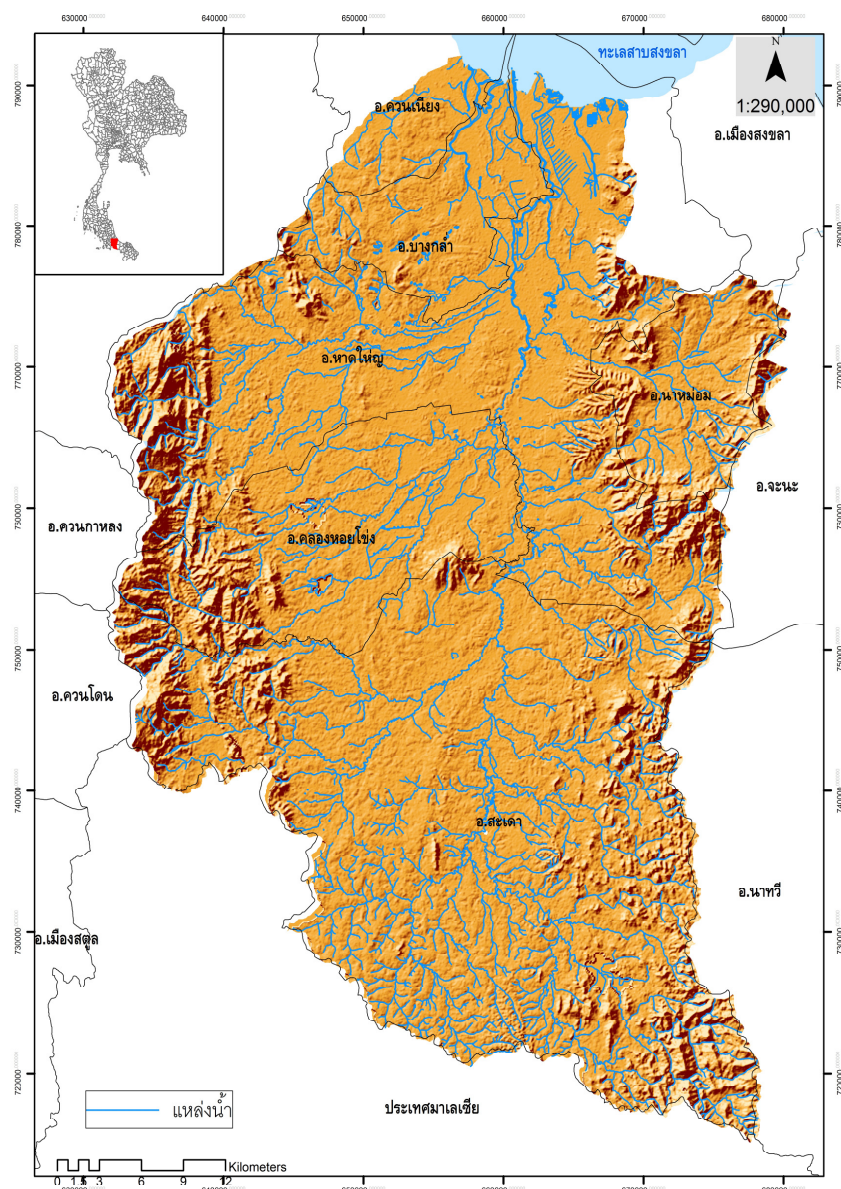
#### ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำคลองอุตะเถาความลาดชันจากทิศใต้ลาดลงมาสู่ทิศเหนือด้านทะเลสาบสงขลา มีระดับความสูงของพื้นที่โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10-50 เมตร และมีจุดสูงสุดของยอดเขาอยู่ระหว่าง 800-920 เมตร ลักษณะพื้นที่แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะหลัก คือ พื้นที่ภูเขา พื้นที่ราบลูกคลื่น และพื้นที่ราบ พื้นที่ภูเขาอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาบรรทัด ส่วนทางทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศใต้เป็นส่วนหนึ่งของแนวเทือกเขาสันกาลาคีรี พื้นที่ส่วนที่เป็นภูเขานี้มีความสูงลดหลั่นกันไป พื้นที่บริเวณนี้เป็นแหล่งกำเนิดต้นน้ำลำธารหลายสายที่ไหลลงสู่คลองอุตะเถา พื้นที่ถัดจากพื้นที่ภูเขาลงมาเป็นพื้นที่ราบลูกคลื่น มีลักษณะเป็นเนินเขาลูกคลื่นลอนลาดและลอนชันสลับกันไป กระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่ตอนกลางถึงตอนใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ และพื้นที่ราบทางทิศเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ ส่วนใหญ่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำอุตะเถาและลำน้ำสาขา

ต้นน้ำตอนบนสุดมีคลองสะเดายาวประมาณ 35.50 กิโลเมตร ต่อเชื่อมคลองอุตะเถาซึ่งยาวประมาณ 94.20 กิโลเมตร รวมเป็นคลองยาวทั้งสิ้นประมาณ 129.70 กิโลเมตร เนื่องจากสภาพพื้นที่ทางทิศตะวันตก ทิศตะวันออก และทิศใต้มีลักษณะพื้นที่เป็นที่สูง ลาดเอียงลงสู่ที่ราบลุ่มตอนกลางและทางทิศเหนือ ดังนั้นโดยทั่วไปจะไม่มีปัญหาการระบายน้ำ แต่จะมีปัญหาเฉพาะพื้นที่ราบลุ่มตอนกลางซึ่งเป็นที่ตั้งของอำเภอหาดใหญ่ เนื่องจากเป็นทางน้ำไหลผ่าน ประกอบกับมีการพัฒนา



ที่ดิน การถมที่เพื่อก่อสร้างอาคารสิ่งปลูกสร้างกีดขวางการระบายน้ำ เช่น ถนนเลี้ยงเมือง ทำให้ตัวเมืองหาดใหญ่มีลักษณะเป็นแอ่ง เมื่อเกิดฝนตกหนักน้ำจึงระบายไม่ทัน ส่งผลทำให้เกิดสภาวะน้ำท่วมฉับพลันได้ (นาคยา, 2546)



ภาพประกอบ 1-3 ลักษณะภูมิประเทศลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

### ภูมิอากาศ

พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตั้งอยู่ในเขตจังหวัดสงขลา อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมที่พัดประจำเป็นฤดูกาล 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม มีปริมาณฝน

ตกเฉลี่ยรวมประมาณ 562.5 มิลลิเมตร และลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือในเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม ประมาณ 1,401.2 มิลลิเมตร มรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีฝนตกน้อยกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเพราะมีภูมิประเทศมีแนวเทือกเขาตะนาวศรีปิดกั้นทำให้ได้รับกระแสลมจากมรสุมไม่เต็มที่ เช่น ในปี 2552 เดือนกรกฎาคมมีฝนตกเฉลี่ยประมาณ 63.8 มิลลิเมตร แต่เดือนพฤศจิกายนมีฝนตกเฉลี่ยประมาณ 857.0 มิลลิเมตร (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2553)

### ลักษณะทางธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาของกลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกานั้นส่วนมากจะเป็นหินยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) ประกอบด้วยหินทราย (Sandstone) หินดินดาน (Shale) ชั้นหินนี้เทียบเคียงอายุได้เท่ากับหน่วยหินแก่งกระจาน (Kaeng Krachan Formation) ซึ่งอยู่ในหมู่หินตะนาวศรี (Tanaosri Group) แต่ลักษณะหินบางชนิดแตกต่างออกไปจากหินแก่งกระจาน ได้ตั้งชื่อว่าหมู่หินภูเก็ต (Phuket Group) นอกจากนี้ยังมีหินยุคไทรแอสสิก (Triassic) เป็นแนวแคบๆ จากชายแดนไทย-มาเลเซีย ประกอบด้วย ชั้นหินทราย กรวดมน (Conglomerate) หินทรายแป้ง (Siltstone) หินดินดาน และหินทรายปนกรวด (Conglomerate sandstone) (อนิสรฯ, 2544 อ่างพิสิทธิ์, 2527)

ตาราง 1-1 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆ ในกลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ไร่	ร้อยละ
ป่าดิบรอสภาพฟื้นฟู	1,240.57	0.08
ป่าดิบสมบูรณ์	179,634.68	12.16
ป่าพรุสมบูรณ์	447.88	0.03
ยางพารา	988,972.01	66.96
สวนผลไม้	22498.37	1.52
นา	24,407.51	1.65
ป่าถ้ำน้ำมัน	15,189.70	1.03
อื่นๆ	244533.69	16.56
รวม	1,476,924.41	100.00

ที่มา : ปรับปรุงจากข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2552

หมายเหตุ : อื่นๆ หมายถึง พื้นที่สิ่งก่อสร้าง เมือง ย่านการค้า และแหล่งน้ำ

### การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ทางทิศเหนือบริเวณริมทะเลสาบสงขลาไปจนถึงเขตอำเภอหาดใหญ่ มีการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นนาข้าว ส่วนในเขตอำเภอหาดใหญ่ส่วนใหญ่พื้นที่ชุมชน และสวนผลไม้ ส่วนทางตอนใต้จากเขตอำเภอหาดใหญ่ถึงอำเภอสะเดา และบริเวณทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เป็นพื้นที่ภูเขา และพื้นที่ราบลูกคลื่น ส่วนใหญ่มีการปลูกยางพารา และพื้นที่ป่า

ในอดีต ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินค่อนข้างมาก ได้แก่ การรुक้าพื้นที่ป่าเพื่อปลูกยางพารา ปลูกน้ำมัน และสวนผลไม้ การขยายตัวของชุมชนเมือง หาดใหญ่ และโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานต่างๆ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีส่วนสำคัญในการเร่งการเกิดการกร่อนของดินและส่งผลกระทบต่อพื้นที่ แหล่งน้ำอุปโภคบริโภค เช่น น้ำท่วม การลดความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน ปัญหาการระบายน้ำ แหล่งน้ำคืนเงิน การเพิ่มตะกอนในลำน้ำ และการเปลี่ยนแปลงร่องน้ำ (Poudel *et al.*, 2000)

#### 1.2.7 การกร่อนของดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

การประเมินการกร่อนของดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีผู้ศึกษาไม่มากนัก ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน (2545), ชาญชัยและคณะ (2547), กิตติพงษ์, (2549) ผลการประเมินทั้งหมดสรุปว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีระดับการกร่อนของดินในระดับต่ำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมด และระดับความรุนแรงในอันดับต่างๆ ไม่ค่อยจะสอดคล้องกันนัก (ตาราง 1-2) โดยปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมดจากการศึกษาของชาญชัยและคณะ (2547) มีพื้นที่ในการศึกษาเท่ากับ 4,637,294 ไร่ เปรียบเทียบกับพื้นที่ 4,796,824 ไร่ โดยกรมพัฒนาที่ดิน, (2545) และ กิตติพงษ์, (2549) ส่วนอัตราการสูญเสียดินในระดับต่ำ (0-5 ตัน/ไร่/ปี) คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 87.4 เทียบกับ 93.9 และ 96.6 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด และในอัตราปานกลาง (5-20 ตัน/ไร่/ปี) คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 10.2 เปรียบเทียบกับ 3.6 และ 3.3 ส่วนในอัตราสูง (> 20 ตัน/ไร่/ปี) เท่ากับร้อยละ 2.4 เปรียบเทียบกับ 2.5 และ 0.11 ตามลำดับ

ตาราง 1-2 เปรียบเทียบระดับการกร่อนของดินที่ใช้แบบจำลองต่างๆ ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ความรุนแรง (ตัน/ไร่/ปี)	USLE (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)		USLE (ชาญชัยและ คณะ, 2547)		MMF (กิตติพงษ์, 2549)	
	เนื้อที่ (ไร่)	%	เนื้อที่ (ไร่)	%	เนื้อที่ (ไร่)	%
	น้อย (0-5)	4,505,912	93.9	4,053,052	87.4	4,635,730
ปานกลาง (5-20)	171,542	3.6	471,163	10.2	155,929	3.3
มาก (> 20)	119,370	2.5	113,079	2.4	5,165	0.11
รวม	4,796,824		4,637,294		4,796,824	

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาดังกล่าว ระหว่างแบบจำลอง USLE และ MMF (ตาราง 1-3) ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีพื้นที่ที่มีอัตราการกร่อนตรงกัน 3,535,936 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 73.71 ของพื้นที่ทั้งหมด ในระดับการกร่อนน้อยมาก (0-2 ตัน/ไร่/ปี) และปานกลาง (5-15 ตัน/ไร่/ปี) ค่าการประเมินของแบบจำลอง MMF จะมีค่าสูงกว่า USLE คิดเป็นร้อยละ 15.22 และ 1.13 ของพื้นที่ตามลำดับ แต่ในระดับน้อย (2-5 ตัน/ไร่/ปี) สูง (15-20 ตัน/ไร่/ปี) และ สูงมาก (>20 ตัน/ไร่/ปี) แบบจำลอง USLE กลับมีพื้นที่ที่มีระดับการกร่อนที่สูงกว่าคิดเป็นร้อยละ 12.52, 1.46 และ 2.38 ของพื้นที่ตามลำดับ

ความแตกต่างกันระหว่างแบบจำลอง USLE และแบบจำลอง MMF มีข้อดี ข้อด้อยแตกต่างกัน นิยมใช้ศึกษาในประเมินได้ดีในลักษณะการกร่อนพังทลายของดินแบบร่องริ้ว และค่าปัจจัยต่างๆ กำหนดจากค่าสถิติที่ได้มาจากแปลงทดลองมาตรฐานในอเมริกา ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศความแตกต่างกับพื้นที่ในประเทศไทยที่มีฝนตกชุก และสภาพการใช้ที่ดินมีความหลากหลายของพืชพรรณที่ปกคลุม ซึ่งได้มีการศึกษาปรับปรุงค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ เช่น ปัจจัยความคงทนของดิน ปัจจัยการจัดการพืชที่วิเคราะห์สิ่งปกคลุมพืชและระดับการจัดการที่หลากหลาย เป็นต้น (The Land Development Department, 2006)

ในการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพตัวแปรต่างๆ ที่ใช้การประเมินการกร่อนของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาในระดับที่ละเอียด จึงได้ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง RMMF (Mixed process model) ที่มีการพิจารณากระบวนการกร่อนของดินที่ที่เกิดขึ้นจริง เช่น กระบวนการแตกกระจายของเม็ดดินที่เกิดจากเม็ดฝน (Soil detachment phase) ที่แตกต่างกัน และกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจายไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Soil transportation phase) จากข้อมูลปริมาณน้ำไหล

ป่าประกอบด้วยความลาดชันของพื้นที่ รวมถึงชนิดพืชที่ปกคลุมพื้นที่อยู่ นอกจากนี้การศึกษาใช้รูปแบบข้อมูลในรูปแบบราสเตอร์ DEM (30 เมตร) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและเทคนิคด้าน RS และ GIS ในการประเมินผลัดพีชในแต่ละขั้นตอน และใช้เทคนิค Virtual field check เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของผลัดพีช (<https://sites.google.com/site/heromapmanual/hero-map-methodology/validation/performign-virtual-field-work>)

ตาราง 1-3 เปรียบเทียบพื้นที่การกร่อนของดินจากแบบจำลองMMF และ USLE ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาของกรมพัฒนาที่ดิน

		แบบจำลอง USLE (ไร่)					
		อัตราการกร่อนของดิน (ตัน/ไร่/ปี)					
	แบบจำลอง MMF (ไร่)	0-2	2-5	5-15	15-20	>20	รวม
	0-2	3,480,687	726,366	77,780	64,274	75894	4,425,001
	2-5	118,398	49,931	10,439	10,512	21,450	210,729
	5-15	87,566	31,576	4,787	3,266	20,724	147,919
	15-	4,991	2,057	203	9	750	8,010
	>20	3,140	1,201	271	2	522	5,165
	รวม	3,694,782	811,130	93,480	78,062	119,37	4,796,824

ที่มา : กิตติพงษ์, 2549

### 1.3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินหาปริมาณ และระดับพื้นที่การกร่อนของดินตามสภาพความรุนแรงโดยใช้แบบจำลอง RMMF (Revised Morgan – Morgan and Finney) ในพื้นที่ศึกษา โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านระบบภูมิสารสนเทศ และการสำรวจระยะไกลในการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง ประกอบการตรวจสอบ เก็บข้อมูลภาคสนาม
2. ศึกษาความอ่อนไหวของปัจจัย (Sensitivity analysis) การกร่อนของดินในพื้นที่ศึกษา
3. ประเมินพื้นที่วิกฤติการกร่อนแบบร่อง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการ อนุรักษ์ทรัพยากรที่ดินในพื้นที่ศึกษา

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

#### 2.1 วิธีดำเนินการ

การศึกษาการกร่อนดินในกลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาโดยใช้แบบจำลอง Revised Morgan- Morgan-Finney (RMMF) ร่วมกับภูมิสารสนเทศ มีขั้นตอนเริ่มจากการประมวลผลภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน การวิเคราะห์พื้นผิวเชิงเลข การวิเคราะห์การกร่อนดินโดยใช้แบบจำลอง และการประมวลผลผลลัพธ์ โดยในกระบวนการศึกษาสามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมข้อมูล การศึกษาการกร่อนดิน และการวิเคราะห์ผลลัพธ์การกร่อนดิน

1. การเตรียมข้อมูล เป็นการเตรียมกระบวนการและศึกษาขั้นตอนของงานวิจัย โดยเน้นการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งศึกษาแนวทางในการประเมินผล ได้แก่ การประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ และทำการตรวจสอบความถูกต้องของการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยหลัก Virtual field check การประเมินค่า C-factor และมีการติดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่ออนุเคราะห์ข้อมูลปฐมภูมิในการสังเคราะห์ตัวแปรเบื้องต้น

2. การศึกษาการกร่อนดินโดยใช้แบบจำลอง RMMF (ภาพประกอบ 2-1) ซึ่งประกอบด้วย การสังเคราะห์ตัวแปร 15 ตัวแปร (ตาราง 2-1) ก่อนเข้าสู่เงื่อนไขการวิเคราะห์ของแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม ArcGIS10 ในการประมวลผล

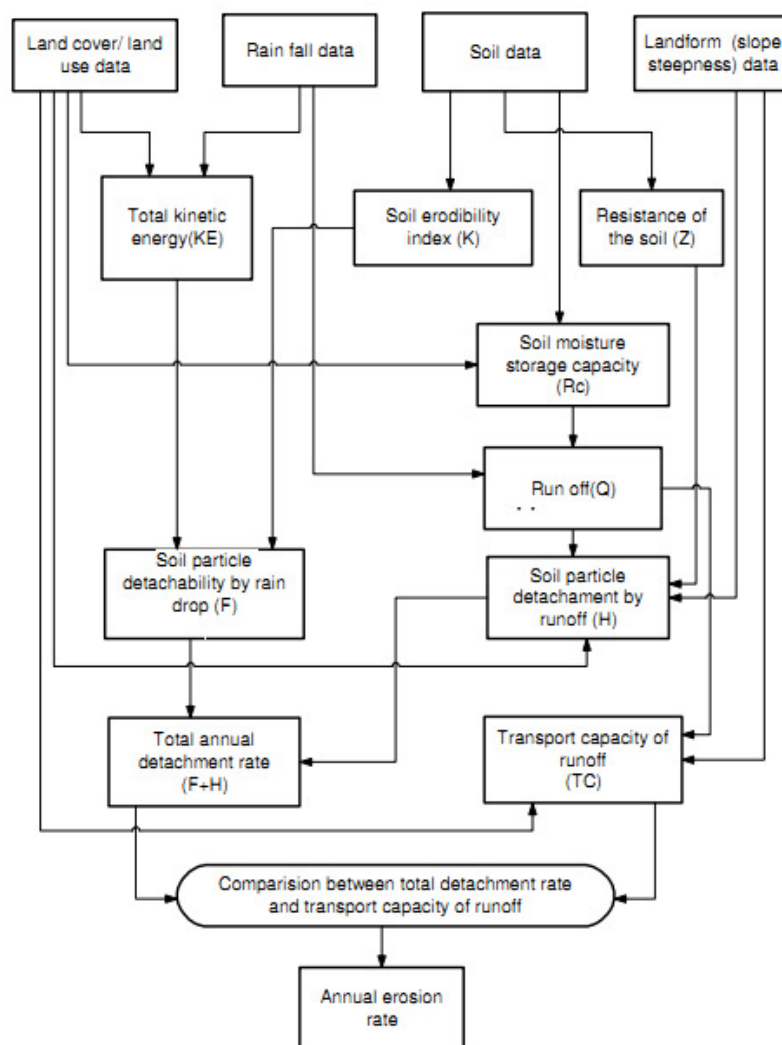
3. การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ โดยใช้หลักการการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) การหาพื้นที่ที่มีแนวโน้มการกร่อนดิน (Critical zone)

ตาราง 2-1 การเตรียมปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง Revised Morgan – Morgan and Finney (RMMF)

ตัวแปร	รายละเอียดของตัวแปร	แหล่งที่มา
ข้อมูลอุตุนิคมวิทยา		
R	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (มม.)	ข้อมูลจากศูนย์อุตุนิคมวิทยา
Rn	จำนวนวันฝนตกในรอบปี(วัน)	ภาคใต้ฝั่งตะวันออกและ สำนักชลประทานที่ 16 สงขลา

ตัวแปร	รายละเอียดของตัวแปร	แหล่งที่มา
I	ค่าความหนักเบาของฝน (มม./ชม.)	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร (Morgan, 2001)
ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของดิน		
MS	ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (% w/w)	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร (Morgan, 2001)
BD	ความหนาแน่นรวมของดิน(Mg/m <sup>3</sup> )	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร (Morgan, 2001)
K	ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (g/J)	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร (Morgan, 2001)
COH	ค่าความเชื่อมแน่นของผิวดิน (Surface cohesion)	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร (Morgan, 2001)
ข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ		
S	ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (องศา)	คำนวณจากแบบจำลองความสูง เชิงเลข(Digital elevation model : DEM)
ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน		
C	ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์	วิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม
GC	ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover)	วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้ เทคนิค Spectral Mixture Analysis (SMA)
CC	ร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover) (%)	วิเคราะห์จากสัดส่วนของพื้นผิวดิน ที่ถูกปกคลุมด้วยเรือนยอด ร่วมกับค่าความสูงของพืช
PH	ค่าความสูงของพืช (m.)	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร (Morgan, 2001)
A	ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้(%)	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร

ตัวแปร	รายละเอียดของตัวแปร	แหล่งที่มา
		(Morgan, 2001)
Et/Eo	อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร (Morgan, 2001)
EHD	ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (m.)	ใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร (Morgan, 2001)



ภาพประกอบ 2-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสูญดินโดยแบบจำลอง Revised Morgan- Morgan-Finney (RMMF)



### 2.1.1 การจำแนกชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use)

การจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน เป็นการ ปรับแก้ไขแผนที่การใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน (ปี 2552) ซึ่งมีการจำแนกในระดับค่อนข้างละเอียด อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สามารถสังเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ของแบบจำลอง RMMF

ได้แก่ การจำแนกประเภทการใช้ที่ดินที่เป็นสวนยางพารา ออกตามช่วงอายุได้แก่ ยางพาราแก่ (อายุมากกว่า 20 ปี) ยางพาราอายุ 10-20 ปี ยางพาราอายุ 7-10 ปี ยางพาราอ่อน (อายุ 0-7 ปี) ได้ใช้หลักการวิเคราะห์เชิงวัตถุ (Object – base image analysis) โดยกำหนดพื้นที่สวนยางตัวอย่าง (Training area) ของแต่ละช่วงอายุ และทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของทุกช่วงคลื่น และเพิ่มการจะพิจารณาความสัมพันธ์กับตำแหน่งและสิ่งแวดล้อม (Location and Association) ความหยาบละเอียดของเนื้อภาพ (Texture) ในพื้นที่จากพื้นที่ตัวอย่าง

### 2.1.2 การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ (NDVI)

การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ซึ่งเป็นการคำนวณอัตราส่วนของการสะท้อนแสงสีแดง และแสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) ใน Electronic spectrum เนื่องจากทั้งสองช่วงคลื่น สัมพันธ์กับการดูดซับคลอโรฟิลล์สีเขียวในใบพืช และความหนาแน่นของพืชสีเขียวบนพื้นผิว และสองช่วงคลื่นมีความต่างระหว่างการสะท้อนแสงของดินและพืชเป็นอย่างมาก โดยในช่วงคลื่นแสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) มีค่าสะท้อนแสงสูงเมื่อเป็นบริเวณที่มีพืชปกคลุม แต่ในช่วงการสะท้อนแสงสีแดงมีค่าต่ำ ซึ่งดัชนีพืชพรรณมีค่าสูงเมื่อพืชที่มีพืชปกคลุม แต่ค่าจะใกล้ 0 เมื่อพื้นที่เป็นดินเปล่า โดยดัชนีพืชพรรณ (NDVI) สามารถคำนวณได้จาก

$$NDVI = \frac{(TM4 - TM3)}{(TM4 + TM3)}$$

โดยที่ NDVI = ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index) ซึ่งมาจากการคำนวณค่าการสะท้อนแสงของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat TM โดย TM4 เป็น TM spectral band 4 (0.76 - 0.90  $\mu\text{m}$ ) หรือ ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นของแสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) และ TM3 เป็น TM spectral band 3 (0.63 - 0.69  $\mu\text{m}$ ) หรือ ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นของแสงสีแดง (Red)

### 2.1.3 ค่า C-factor

ในการศึกษานี้ ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินค่า C-factor 3 วิธี ได้แก่ Land cover classification, NDVI และ Transformation index เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม สอดคล้องกับสภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด

(1) วิธี Land cover classification โดยการอ้างอิงค่า C-factor ตามประเภทใช้ประโยชน์ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

(2) วิธีดัชนีพืชพรรณ (Normalized Vegetation Index, NDVI) (Suriyaprasit, 2008) ดัชนีพืชพรรณ หมายถึง อัตราส่วนของการสะท้อนของพื้นผิว ระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงมาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่น เพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ ซึ่งจะทำให้ NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงพื้นผิวมีพืชพรรณปกคลุม ซึ่งพื้นที่ผิวที่มีพืชปกคลุมค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดสูงกว่า ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก หากพื้นที่ผิวที่เป็นดินจะมีค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนพื้นผิวเป็นน้ำจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงทำให้ NDVI มีค่าติดลบ

กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างกับค่า NDVI และ C-factor ของประเภทการใช้ที่ดินต่างๆ ในลักษณะเชิงเส้น (Linear) โดย C-factor ของพื้นที่ดินเปล่า และพื้นที่ป่าสมบูรณ์ เท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ และค่า C-factor ของประเภทการใช้ที่ดินต่างๆ จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 (De Jong, 1994 ; มณฑลและคูบร้า, 2552 )

(3) วิธี Transformation index (Zihni, 2000) เป็นค่า Normalization ของช่วงคลื่นทั้ง 6 ช่วง ได้แก่ ช่วงคลื่นใน band ที่ 1 2 3 4 5 และ 7 ตามลำดับ จากจุดตัวอย่างในพื้นที่ป่าไม้ และว่างเปล่า ช่วงคลื่นละจำนวน 30 จุด และกำหนดความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear) ระหว่าง C-factor เพื่อใช้ในการหาค่า C-factor ของประเภทการใช้ที่ดินต่างๆ ดังสมการ

$$N_i = \frac{\bar{X}_i}{\sum_{i=1}^n X}$$

โดยที่  $N_i$  คือค่า Intensity normalized ของพื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ดิน  $\bar{X}_i$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่า Pixel value ของพื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ดิน และ  $\sum_{i=1}^n X$  คือผลรวมของค่า Pixel value ของช่วงคลื่น  $i$  ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้พื้นที่ป่าหนาแน่น (Density forest) และพื้นที่ดินเปล่า (Bare soil)

จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ค่า Transformation Vector (NFS) เพื่อเป็นการนำค่า Pixel value ของทุกช่วงคลื่นมาคำนวณค่า Index value ให้เหลือช่วงคลื่นเดียว ดังสมการ

$$NFS = NF - NS$$

โดยที่ NF และ NS เป็น ค่า Intensity normalized ของพื้นที่ป่าหนาแน่น (Density forest) และพื้นที่ดินเปล่า (Bare soil) ตามลำดับ จากนั้นทำการ Normalized ภาพ โดยสมการ

$$NTM_i = \frac{TM_i}{\sum_{i=1}^n TM}$$

โดยที่  $NTM_i$  เป็น ค่า Intensity normalized ของช่วงคลื่น  $i$   $TM_i$  เป็น ค่า Pixel value ของช่วงคลื่น  $i$  และ  $\sum_{i=1}^n TM$  เป็นผลรวมของค่า Pixel value ของทุกช่วงคลื่น จากนั้นวิเคราะห์ค่า index เพื่อสามารถนำไปวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของดัชนีภาพ ดัชนีป่าหนาแน่น (Density forest) และดัชนีพื้นที่ดินเปล่า (Bare soil) จากสมการ

$$\text{index image} = TM \times NFS$$

$$\text{index soil} = NFS \times NF$$

$$\text{index forest} = NFS \times NS$$

การวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง index image, index soil และ index forest เพื่อหา C-factor จะใช้ linear model โดยที่จะได้สมการ

$$y = -0.0421X + 0.0258$$

โดยที่ X เป็นค่า C-factor และ y เป็นค่า index image

#### 2.1.4 ค่าร้อยละที่เรือนยอดปกคลุมผิวดิน (Canopy cover)

ค่าร้อยละที่เรือนยอดปกคลุมผิวดินเป็นสัดส่วนของสิ่งที่ปกคลุมดินโดยเรือนยอดพืช โดยทั่วไปในงานสนามสามารถใช้ Cajanus tube ในการตรวจวัด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับจำนวนของจุดที่ไม่อยู่ภายใต้ช่องว่างของเรือนยอด แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาคลุ่มพื้นที่ประมาณ 2,400 ตารางกิโลเมตร และมีความหลากหลายของการใช้ประโยชน์ที่ดินมาก จึงได้ทำการศึกษาต่อพบว่า มีหลายงานวิจัยที่นำภาพถ่ายทางดาวเทียมมาเข้ามาวิเคราะห์ค่าร้อยละที่เรือนยอดปกคลุมผิวดิน ดังสมการ

$$CC=FC * e^{-0.1H}$$

โดยที่ FC เป็นสัดส่วนของผิวดินที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดและ H เป็นความสูงของเรือนยอด ซึ่งสามารถคำนวณค่า FC ยังมีความสัมพันธ์กับค่า NDVI ดังสมการ (Rwasokac *et al.*, 1999)

$$FC = \frac{(NDVI - NDVI_{\min})^2}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

### 2.1.5 การประเมินการกร่อนดินโดยแบบจำลอง Revised Morgan- Morgan- Finney (RMMF)

แบบจำลอง RMMF ได้พิจารณาถึงกระบวนการการเกิดการกร่อนออกเป็น กระบวนการแตกกระจายอนุภาคดิน (Soil particle detachment) และกระบวนการอนุภาคดินที่ถูกพัดพา (Soil transport) กระบวนการใดที่ก่อให้เกิดปริมาณการสูญเสียดินน้อยกว่า ก็จะเป็นตัวกำหนดปริมาณการสูญเสียดินที่เกิดขึ้น โดยแบบจำลอง RMMF มีขั้นตอนการวิเคราะห์การสูญเสียดินดังนี้

#### (1) การประเมินพลังงานจลน์จากน้ำฝน

แรงกระทำที่เกิดจากแรงตกกระทบของฝนจะมีผลต่อการแตกกระจายตัวของอนุภาคดิน เนื่องจากการที่ฝนตกในแต่ละครั้งจะเกิดแรงกระทำกับผิวดินให้แตกกระจาย ก่อเกิดความง่ายในการพัดพาอนุภาคดินต่อไป

พลังงานจากฝนที่ได้ มาจากแรงปะทะจากฝนลงสู่ผิวดิน โดยตรงและแรงที่ตกกระทบกับเรือนยอดพืชก่อนไหลลงสู่พื้นดิน ส่วนที่เกิดจากแรงปะทะจากฝนลงสู่ผิวดิน โดยตรงซึ่งเราพลังงานนั้นเรียกว่าพลังงานจลน์จากฝนที่ตกกระทบโดยตรง (Kinetic energy of direct thought fall) และพลังงานจากฝนอีกส่วนจะเกิดการปะทะกับเรือนยอดพืช และไหลจากใบลงสู่ผิวดิน ซึ่งเราจะเรียกพลังงานนั้นว่าพลังงานจลน์จากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ (Kinetic energy of leaf drainage)

ในการวิเคราะห์ค่าพลังงานจลน์จากฝน (Rainfall kinetic energy) ได้มาจากพลังงานจลน์จากฝนที่ตกกระทบโดยตรง (Kinetic energy of direct thought fall) ร่วมกับการวิเคราะห์พลังงานจลน์จากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ (Kinetic energy of leaf drainage) โดยรายละเอียดของการดั่งสมการ

$$KE_{\text{total}} = KE(DT) + KE(LD)$$

โดยที่

$$KE_{total} = \text{พลังงานจลน์รวม (Total kinetic energy)(J/m}^2\text{)}$$

$$KE(DT) = \text{พลังงานจลน์ของฝน (kinetic energy of rainfall ; J/m}^2\text{)}$$

$$KE(LD) = \text{พลังงานจลน์ฝนจากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ(J/m}^2\text{)}$$

การวิเคราะห์พลังงานจลน์จากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ (Kinetic energy of leaf drainage) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ (Leaf drainage) กับความสูงของพืช (Plant Height) โดยความสูงของพืชมาจากการแปลความหมายภาพถ่ายทางอากาศและงานสำรวจในภาคสนามดังสมการ (Morgan and Duzant, 2008)

$$KE(LD) = LD \times (1.58 \times PH^{0.5}) - 5.87 \quad \text{หาก } PH \geq 0.15$$

$$KE(LD) = 0 \quad \text{หาก } PH < 0.15$$

โดยที่

$$PH = \text{ความสูงของพืช (Plant height; m.)}$$

$$LD = \text{ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ (Leaf drainage: mm.)}$$

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ออกไหลออกจากใบมาจากความสัมพันธ์ของปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall) กับร้อยละของพื้นที่เรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover) ดังสมการ

$$LD = ER \times CC$$

โดยที่

$$CC = \text{เรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover; \%)}$$

$$ER = \text{ปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall : mm.)}$$

การวิเคราะห์ค่าปริมาณฝนใช้การสามารถคำนวณได้จากค่าปริมาณน้ำฝนรายปี (Annual rainfall) ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) จากสำนักงานชลประทานที่ 16 สงขลาและศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก ร่วมกับปริมาณน้ำที่พืชดักไว้ (Rainfall interception) ที่ได้ค่าจากการทบทวนเอกสาร ซึ่งปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$ER = R \times A$$

โดยที่

$$R = \text{ปริมาณน้ำฝนรายปี (Annual rainfall : mm)}$$

$$A = \text{ร้อยละของน้ำฝนที่พืชดักไว้ (0-1)}$$

การวิเคราะห์ค่าพลังงานของฝนที่ตกกระทบโดยตรงลงสู่พื้นดินซึ่งจะมีความสัมพันธ์ปริมาณฝนที่ตกกระทบ (Direct thought fall) กับความเข้มข้นของฝน (Rainfall intensity) ซึ่งค่าความเข้มข้น

ของฝนได้ใช้ค่าในการจากการทบทวนเอกสาร ซึ่งการวิเคราะห์ค่าพลังงานของฝนที่ตกกระทบ โดยตรงลงสู่พื้นดินสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ

$$KE(DT) = DT (11.9 + 8.7 \log I)$$

โดยที่ I = ค่าความหนักเบาของฝน (Rainfall intensity)

DT = ปริมาณน้ำฝนที่ตกกระทบโดยตรง (mm.)

ปริมาณน้ำฝนที่ตกกระทบโดยตรงเป็นปริมาณน้ำฝนที่ตกกระทบเป็นปริมาณน้ำฝนใช้การ (Effective rainfall) ที่เหลือจากส่วนที่ตกกระทบลงสู่พืชก่อนลงสู่พื้นดิน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$DT = ER - LD$$

## (2) การประเมินการไหลบ่า

การไหลบ่าหน้าดินเป็นตัวการที่สำคัญในการเกิดการกร่อน และการเคลื่อนที่ของหน้าดิน โดยพลังงานจากการไหลบ่าหน้าดินจะก่อให้เกิดแรงที่กระทำกับหน้าดิน ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่

ประสิทธิภาพการกักความชื้นของดิน (Soil moisture storage capacity) ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ฝนตกในแต่ละครั้งน้ำฝนส่วนหนึ่งจะถูกกักเก็บโดยพืชในรูปของสัดส่วนการใช้น้ำของพืชและน้ำฝนบางส่วนจะทำการซึมลงสู่ดิน และเมื่อพืชกักเก็บน้ำได้ถึงขีดสุดอีกทั้งดินอุ้มน้ำอย่างเต็มที่ ทำให้ปริมาณน้ำที่เหลือจะเกิดการไหลบ่า

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการกักความชื้นของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) กับความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (Soil moisture content at field capacity) ที่มาจากการเก็บตัวอย่างจากภาคสนามมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (Ratio of actual to potential evapotranspiration) และ Effective hydrological depth จากค่าอ้างอิงจากการตรวจเอกสาร โดย ค่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = R \times e^{-\frac{R_c}{R_o}}$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (mm.)

R = ปริมาณน้ำฝนรายปี (mm.)

$R_c$  = ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ (mm.)

$$R_0 = \text{น้ำฝนเฉลี่ยต่อวันในหนึ่งปี (meanfall rain per rainy day)}$$

ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R_c = 1000 \times MS \times BD \times EHD \times (Et/E_o)$$

โดยที่	$R_c$	=	ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ (mm.)
	MS	=	ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (%w/w)
	BD	=	ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) (g/cm <sup>3</sup> )
	EHD	=	ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth) (m.)
	Et/E <sub>o</sub>	=	อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด

การหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวันในหนึ่งปี (Mean rainfall per rainy day) เป็นสัดส่วนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ต่อจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายปีที่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R_0 = \frac{R}{R_n}$$

โดยที่	$R_0$	=	น้ำฝนเฉลี่ยต่อวันในหนึ่งปี
	R	=	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (mm.)
	R <sub>n</sub>	=	จำนวนวันฝนตกในรอบปี (days)

### (3) การประเมินปริมาณการแตกกระจายอนุภาคดิน(Soil particle detachment)

การหาปริมาณอนุภาคดินที่หลุดออกโดยการไหลบ่าหน้าดิน (Soil particle detachment by runoff) และแรงตกระทบจากน้ำฝน โดยการพิจารณาจากปริมาณการไหลบ่า ร่วมกับความลาดชัน สิ่งปกคลุมดิน และค่าความต้านทานของดิน ซึ่งปริมาณการไหลบ่าจะมากหรือน้อยจะมีความสัมพันธ์กับความลาดชัน สิ่งปกคลุมดิน และค่าความต้านทานของดินจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความยากง่ายของอนุภาคดินในการหลุดลอก เช่น เนื้อดิน เป็นต้น สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$H = Z \times Q^{1.5} \times \sin S \times (1-GC) \times 10^{-3}$$

โดยที่	H	=	ปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจาย (Soil particle detachment) โดยการไหลบ่า (Runoff)(kg/m <sup>2</sup> )
	Z	=	ค่าความต้านทานของดิน (Soil resistance)
	S	=	ค่าความชันของความลาดเท (Slope) (degree)
	GC	=	ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover)

ความชันของความลาดเทได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ภัยจ้ำจมิประเทศ โดยได้จากข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital elevation model) ส่วนร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover) ใช้การตีความจากภาพถ่าย และค่าความต้านทานของดิน (Soil resistance) สามารถคำนวณได้จากค่าความเชื่อมแน่นของผิวดิน (Surface cohesion) จากสมการ

$$Z = \frac{1}{(0.5 \times \text{COH})}$$

โดยที่ COH = ค่าความเชื่อมแน่นของผิวดิน (Surface cohesion) (kpa)

การประเมินอนุภาคดินที่หลุดออกจากพื้นดินโดยแรงตกกระทบจากน้ำฝน สามารถทำการพิจารณาจากพลังงานจากฝนและดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน ซึ่งค่าความคงทนของดินจะเป็นค่าความยากง่ายในการถูกกัดชะ ซึ่งในกรณีนี้พิจารณาจากแรงกระทำจากน้ำฝน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = K \times \text{KE}_{\text{total}} \times 10^{-3}$$

โดยที่	F	=	อนุภาคดินที่แตกกระจาย (Soil particle detachment) โดยฝนที่ตกลงมา (Raindrop) (kg/m <sup>2</sup> )
	K	=	ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (Soil detachability index)

การประเมินอนุภาคดินที่หลุดออกจากพื้นดินโดยแรงตกกระทบจากน้ำฝนและการไหลบ่า โดยการรวมกันของอนุภาคดินที่แตกกระจาย (Soil particle detachment) โดยฝนที่ตกลงมา (Raindrop) และอนุภาคดินที่แตกกระจาย (soil particle detachment) โดยการไหลบ่า (Runoff) ดังสมการ

$$D = F+H$$



โดย  $D =$  ปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจาย (Soil particle detachment) ทั้งหมด ( $\text{kg/m}^2$ )

#### (4) การประเมินประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายโดยการไหลบ่า

การประเมินประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายโดยการไหลบ่า เป็นการประเมินในกรณีที่การไหลบ่าสามารถเคลื่อนย้ายตะกอนในปริมาณเท่าใดการหาปริมาณเม็ดดินที่ถูกพัดพา (soil transportation) สามารถทำได้โดยนำค่าของปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน มาพิจารณาพร้อมกับข้อมูลปัจจัยการปกคลุมของพืช (crop cover factor) ดังรูปที่ 11 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่า NDVI รวมถึงค่าความลาดชันของภูมิประเทศในหน่วยองศา (slope gradient) โดยรายละเอียดของการคำนวณดังสมการ

$$TC = C \times Q^2 \times \sin S \times 10^{-3}$$

เมื่อ  $TC =$  ปริมาณเม็ดดินที่ถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่า (Soil transportation) ( $\text{kg/m}^2$ )  
 $C =$  ปัจจัยการปกคลุมของพืช (Crop cover factor)  
 $Q =$  ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Overland flow) (mm.)  
 $S =$  ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (Slope gradient) (องศา)

#### (5) การประเมินการสูญดินรายปี

การประเมินการสูญดินรายปีเป็นการพิจารณาระหว่างอนุภาคดินที่หลุดออกจากพื้นดินและประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายดิน โดยการไหลบ่า หากค่าประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน มีค่าสูงกว่าปริมาณตะกอนดินที่แตกกระจายของอนุภาคดินแล้ว ค่าปริมาณตะกอนดินที่แตกกระจายจะถูกพิจารณาเป็นค่าปริมาณการกร่อนของดิน ในทางกลับกันหากปริมาณตะกอนดินที่แตกกระจาย มีค่าสูงกว่าค่าประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน แล้วค่าประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายตะกอนดิน จะถูกพิจารณาเป็น ค่าปริมาณการกร่อนของดิน ค่าปริมาณการกร่อนของดินโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{Annual soil loss} = \text{MIN} (D, TC)$$

เมื่อ  $TC =$  ค่าความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ( $\text{kg/m}^2$ )  
 $D =$  อัตราการแตกกระจายของดิน ( $\text{kg/m}^2$ )

การคำนวณการสูญดินรายปีเป็นการนำข้อมูลทั้งสองมาวิเคราะห์ และประมวลผลตามเงื่อนไขของแบบจำลอง และเมื่อได้ผลปริมาณการกร่อนของดินที่ประเมินจากแบบจำลอง RMMF จะนำชั้นข้อมูลปริมาณการกร่อนดินดังกล่าว มาทำการแบ่งระดับความรุนแรงของการกร่อนดิน ออกเป็นระดับความรุนแรง 5 ระดับ (Morgan, 1995) คือ ตั้งแต่ระดับที่มีการกร่อนดินน้อยมาก จนถึงระดับที่มีการกร่อนดินรุนแรงมาก ตามอัตราการสูญเสียดินต่อปีหลังจากได้ชั้นข้อมูลระดับความรุนแรงของการกร่อนดินแล้ว ก็จะนำชั้นข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการจัดทำแผนที่ระดับความรุนแรงของการกร่อนดินต่อไปสำหรับการจัดระดับความรุนแรงของการกร่อนของดิน ดังตาราง 2-2

ตาราง 2-2 การจัดระดับความรุนแรงของการกร่อนดิน

ระดับความรุนแรงของการกร่อนของดิน	อัตราการสูญเสียดิน(ตัน/ไร่/ปี)
1 : น้อยมาก (very slight)	0-0.8
2 : น้อย (slight)	0.8-1.6
3 : ปานกลาง (moderate)	1.6-4.0
4 : รุนแรง (severe)	4.0-7.2
5 : รุนแรงมาก (very severe)	มากกว่า 7.2

ที่มา: Morgan, 1995

### 2.1.6 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การตรวจสอบความถูกต้องในการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินที่กำหนด ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ และสวนยางพารา ซึ่งแบ่งออกตามช่วง ได้แก่ อายุ 0-7 ปี 7-10 ปี 10-20 ปี และ >20 ปี โดยใช้เทคนิค Virtual field work (Polsky and Pontius, 2012 ) โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงจาก Google Earth 4.3 เทคนิคนี้มีข้อได้เปรียบวิธีการตรวจสอบในพื้นที่จริงหลายประการ ได้แก่ ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย สามารถตรวจสอบจำนวนตัวอย่างให้ครอบคลุมในสภาพพื้นที่ต่างๆ ให้เป็นไปตามหลักการทางสถิติได้ดีกว่า การกำหนดจุดตัวอย่างเป็นแบบสุ่มอิสระ และมีจำนวนตัวอย่างผันแปรตามสัดส่วนกับขนาดของพื้นที่ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน ทำให้มีการครอบคลุมพื้นที่ได้ดีกว่า การตรวจสอบจริงในภาคสนาม ซึ่งอาจจะไม่สามารถเข้าถึงบางพื้นที่ได้ง่าย

ในการศึกษาได้กำหนดจำนวนจุดตรวจสอบในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินที่กำหนดประเภททั้งหมด 235 จุด โดยการสุ่มอิสระ จากฟังก์ชัน Sampling ในโปรแกรม ArcGIS10 ในการตรวจสอบความถูกต้องในแต่ละตัวอย่าง และทำการซ้อนทับตำแหน่งจุดตัวอย่างบนภาพถ่ายดาวเทียมใน Google

Earth 4.3 จัดทำความแม่นยำในทางสถิติ และ Confusion matrix ของผลการจำแนกที่ได้ โดยใช้ Pivot table tool ใน Microsoft excel 2007

### 2.1.7 การวิเคราะห์การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เป็นการทดสอบการทำงาน ความเหมาะสมของแบบจำลอง และระดับของปัจจัยต่างๆ ต่อการกร่อนของดินที่ได้จากแบบจำลอง สามารถใช้เป็นแนวทางข้อเสนอในการจัดการลดปริมาณการกร่อนให้เฉพาะพื้นที่ที่ได้ชัดเจนมากขึ้น การวิเคราะห์ Sensitivity analysis เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่า Normalized ของการเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ที่ได้ จากระดับปัจจัยดั้งเดิมเทียบกับระดับปัจจัยที่กำหนดหรือต้องการ ว่าแตกต่างกันไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด หากผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างกันไปจากเดิมมากนัก หรือแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในระดับที่ไม่มีผลในทางปฏิบัติ อาจกล่าวได้ว่าปัจจัยนั้นๆ ไม่มีความอ่อนไหวต่อการกร่อนดินในสภาพพื้นที่จริง

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการศึกษานี้ใช้แนวทางของ Average linear sensitivity (ALS) (Nearing *et al.*, 1980 อ้างโดย Morgan and Duzant, 2008) ดังนี้

$$ALS = \frac{\left[ \frac{o_2 - o_1}{\bar{o}} \right]}{\left[ \frac{I_2 - I_1}{\bar{I}} \right]}$$

โดยที่  $o_1$  และ  $o_2$  เป็นค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง  $I_1$  และ  $I_2$  เป็นค่าที่ได้จากข้อมูลตัวแปรที่นำเข้า ส่วน  $\bar{o}$  และ  $\bar{I}$  เป็นค่าเฉลี่ยของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง และค่าเฉลี่ยจากข้อมูลตัวแปรที่นำเข้าตามลำดับ การใช้ ALS ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความไวของตัวแปรที่มีผลต่อการกร่อน การวิเคราะห์ค่า ALS อาศัยค่าของทุกตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง

### 2.1.8 การประเมินพื้นที่วิกฤติ (Critical zone)

พื้นที่วิกฤติ เป็นพื้นที่ที่ไวต่อการเกิดการกร่อนแบบร่องลึกชั่วคราว การวิเคราะห์ตัวแปรทางสภาพภูมิประเทศ (Terrain parameters) จากข้อมูล DEM เช่น ค่าความชัน (Slope gradient) และทิศทางการลาดชัน (Slope aspect) ทิศทางการไหล (Flow direct) การไหลสะสม (Flow accumulate) และพื้นที่รับน้ำ (Catchment area) ร่วมกับควากว้างของร่องน้ำ Flow width (Jetten *et*

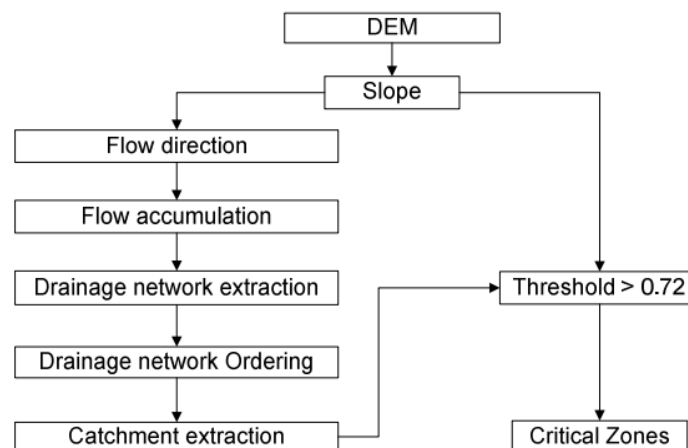
al., 2006). ซึ่งสามารถนำไปประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดการกร่อนแบบร่องลึกชั่วคราวในพื้นที่ลุ่มน้ำได้จากสมการ (Desmet and Govers, 1997) การกำหนดพื้นที่เสี่ยงเป็นแนวทางในการเสนอแนะการจัดการทรัพยากรดิน ร่วมกับระดับการกร่อนของดินที่ประเมินจากแบบจำลอง

พื้นที่การกร่อนสามารถวิเคราะห์ได้จาก DEM โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความชัน พื้นที่ต้นน้ำ ความกว้างของการไหล เพื่อหาตำแหน่ง Critical threshold (Jetten, 2002) โดยใช้สมการ

$$F_c = s * \left( \frac{A}{W} \right)^{0.4} > 0.72$$

โดยที่	F <sub>c</sub>	=	Critical threshold
	S	=	ความชัน (slope) (m./m.)
	A	=	พื้นที่ต้นน้ำ (upstream) (m <sup>2</sup> )
	W	=	ความกว้างของการไหล (m.)

จำแนกพื้นที่เสี่ยงออกเป็น gully erosion และพื้นที่ไม่เกิด gully erosion โดยใช้ระดับเกณฑ์เท่ากับ 0.72 (Desmet and Grover, 1996) จากขั้นตอนการประเมิน รายละเอียดดังภาพประกอบ 2-2



ภาพประกอบ 2-2 การหาพื้นที่เสี่ยงที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการกร่อนดินแบบร่องลึกชั่วคราว (Monton, 2008)

## 2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

### 2.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- แผนที่ภูมิประเทศ L7018 มาตรฐาน 1: 50,000 จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร
- ภาพถ่ายทางดาวเทียม Landsat 5 TM วันที่ 7 พฤษภาคม 2553 คลอบคลุมพื้นที่จังหวัดสงขลา
- แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital elevation model : DEM) ขนาด 30 เมตร

### 2.2.2 โปรแกรม

- โปรแกรม Arc GIS 10
- โปรแกรม Erdas 9.1
- โปรแกรม Microsoft office excel 2007
- โปรแกรม Google Earth 4.3

## บทที่ 3

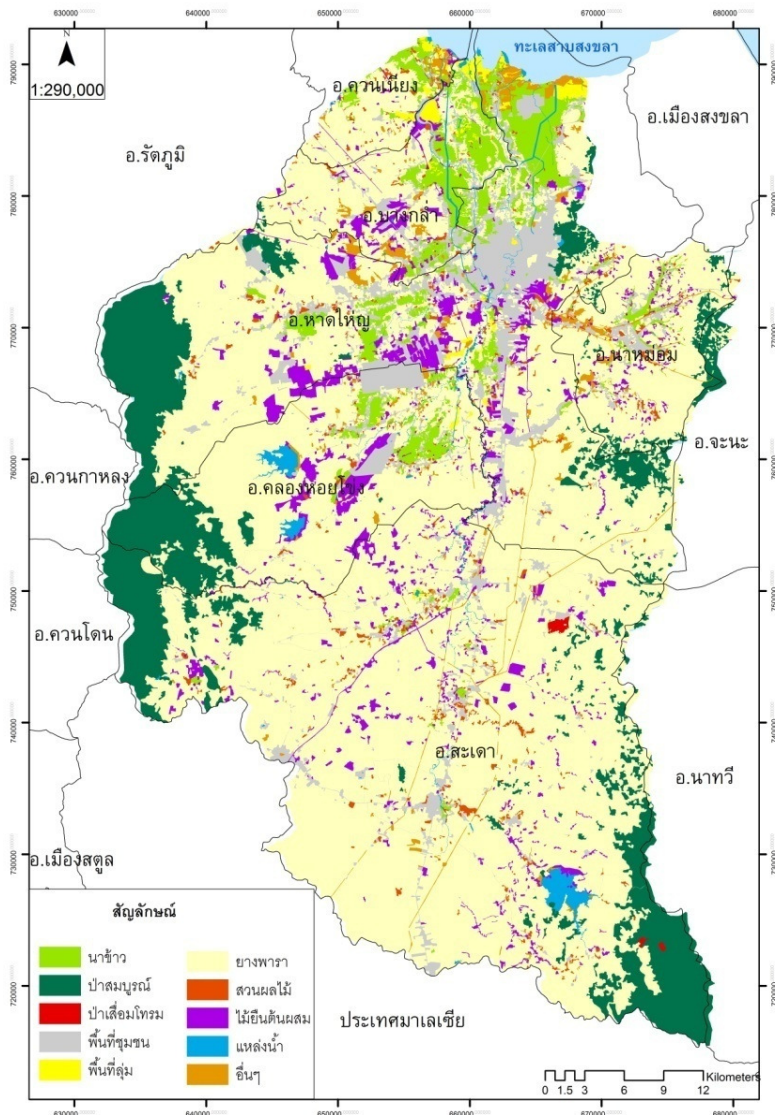
### ผลการศึกษา

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้ เพื่อทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการกร่อนของดิน และเปรียบเทียบกับพื้นที่วิกฤติ Critical zone ของการเกิดการกร่อนแบบร่องลึกในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา โดยใช้เทคนิคด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์และการสำรวจระยะไกล การวิเคราะห์สภาพภูมิประเทศจาก DEM และการตรวจสอบข้อมูลพื้นที่แบบ virtual field works นอกจากนี้ ในการประเมินการกร่อนของดินจากแบบจำลอง RMMF มีการปรับปรุงตัวแปรของแบบจำลองให้มีความสอดคล้องกับพื้นที่จริง เช่น การใช้ NDVI เพื่อวิเคราะห์ค่า C-factor และตัวแปรในแบบจำลองอื่นๆ ให้มีระดับมาตรฐานที่รายละเอียด สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงมากขึ้น เพื่อให้สามารถวางแผนทางการจัดการด้านทรัพยากรธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

#### 3.1 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ในการศึกษานี้ ได้จากการปรับปรุงเพิ่มเติมจากแผนที่การจำแนกการใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินปี 2552 (ภาพประกอบ 3-1)

การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเนื้อที่การใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน (2552) แสดงในตาราง 3-1 พบว่า สภาพการใช้ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ร้อยละ 66.44 ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา รองลงมาคือพื้นที่ป่าและพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 12.18 และ 7.37 ของพื้นที่ทั้งหมดตามลำดับ จากผลการศึกษาเห็นได้ว่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ยางพารา แต่เนื่องจากยางพาราในแต่ละช่วงอายุจะส่งผลกระทบต่อปัจจัยการกร่อนที่แตกต่างกัน ในการศึกษานี้ได้ทำการจำแนกพื้นที่ยางพาราเพื่อหาค่าปัจจัยที่ผันแปรตามการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความถูกต้องยิ่งขึ้น



ภาพประกอบ 3-1 การจำแนกการใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินปี 2552

ในการศึกษานี้ เพื่อให้สามารถประเมินค่าตัวแปรในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยต่อการกร่อนของดินให้ถูกต้องมากขึ้น ได้แก่ ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover) ค่าความสูงของพืช ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด นอกจากนี้ บางตัวแปรจะได้จากการประเมินโดยการเก็บข้อมูลและตรวจสอบภาคสนาม เช่น ร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover) ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์

โดยการจำแนกในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในส่วนของยางพาราออกตามอายุ ความหนาแน่นของทรงพุ่ม และประเภทของพื้นที่ป่าไม้ ในระดับรายละเอียดมากขึ้น จากการวิเคราะห์

ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM 2553 โดยใช้หลักการวิเคราะห์เชิงวัตถุ (Object – based image analysis)

หลักการวิเคราะห์เชิงวัตถุ (Object – based image analysis) เป็นการวิเคราะห์จำแนกภาพตามข้อมูลจากชุดของ pixel ที่คล้ายกันเรียกว่าวัตถุ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ทุกวัตถุจะถูกจำแนกโค่นเข้าสู่ Image object hierarchy ชั้นบนจะแบ่งชนิดอย่างหยาบและละเอียดลงเรื่อยๆ ในแต่ละลำดับชั้นจำแนก โดยการจำแนกอยู่บนพื้นฐานของการวัดคุณสมบัติทางสเปกตรัม เช่น สี ขนาด รูปร่าง และพื้นผิวบริบทรวมทั้งจากพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบ pixel

ตาราง 3-1 พื้นที่การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆ ในลุ่มน้ำคลองอุตะเขาตามกรมพัฒนาที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่	
	ไร่	ร้อยละ
นาข้าว	69,902.04	4.70
ป่าสมบูรณ์	179,832.03	12.09
ป่าเสื่อมโทรม	1,240.57	0.08
พื้นที่ชุมชน	114,232.14	7.68
พื้นที่ลุ่ม	8,774.46	0.59
ไม้ยืนต้นผสม	65,808.93	4.42
ยางพารา	988,972.01	66.48
สวนผลไม้	16,819.11	1.13
แหล่งน้ำ	16,365.92	1.10
อื่นๆ	25,740.89	1.73
รวม	1,487,688.10	100.00

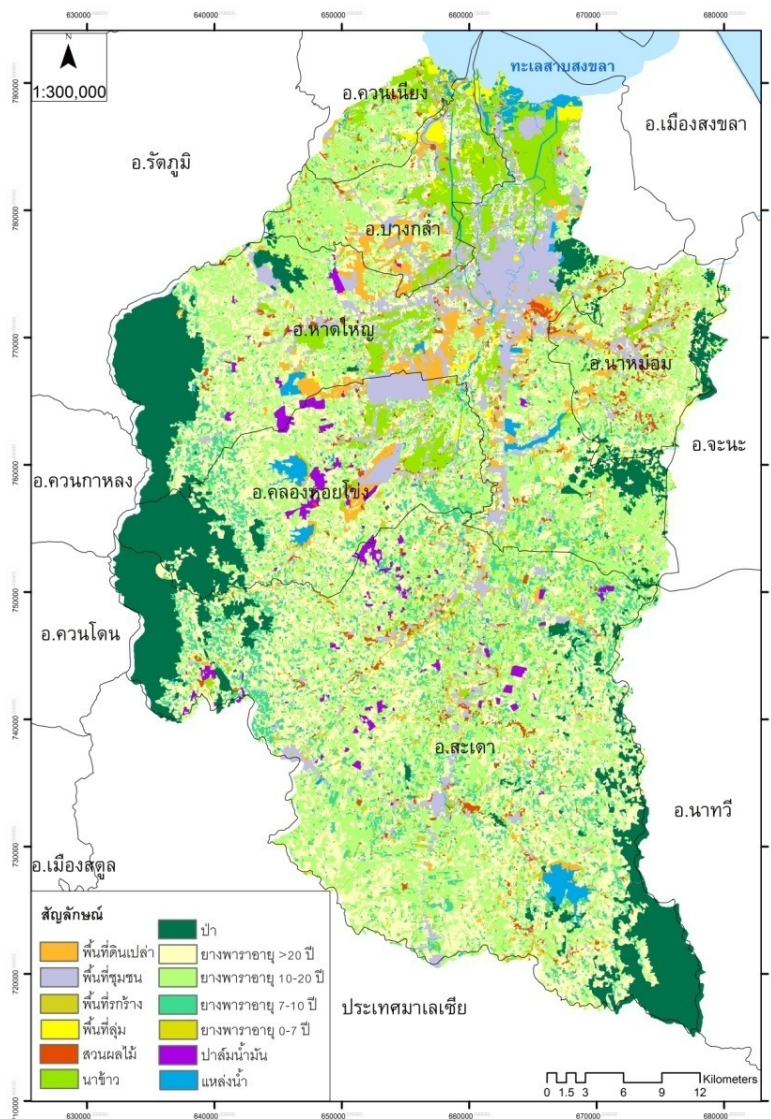
ผลการศึกษาสามารถแยกพื้นที่เพาะปลูกยางพาราออกได้เป็น 4 ระดับอายุ ได้แก่ ยางอายุ 0-7 ปี 7-10 ปี 10-20 ปี และมากกว่า 20 ปี ได้พบว่า พื้นที่ยางพาราอายุ 0-7 ปี มีพื้นที่ 23,987.50 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 2.42 ของพื้นที่ยางพาราทั้งหมด พื้นที่ยางพาราอายุ 7-10 ปีมีพื้นที่ 396,181.25 ไร่



คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 40.10 ของพื้นที่ยางพาราทั้งหมด พื้นที่ยางพาราอายุ 10-20 ปี มีพื้นที่ 133,200.00 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 13.47 ของพื้นที่ยางพาราทั้งหมด และพื้นที่ยางพารามากกว่า 20 ปีมีพื้นที่ 435,600.00 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 44.05 ของพื้นที่ยางพาราทั้งหมด (ตาราง 3-2)

ตาราง 3-2 พื้นที่การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆ ในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา เพื่อการวิเคราะห์การกร่อนดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่	
	ไร่	ร้อยละ
ดินเปล่า	54,212.50	3.64
สิ่งปลูกสร้าง	109,500.00	7.36
ป่า	181,075.00	12.17
พื้นที่ห้วยารกร้าง	10,906.25	0.73
พื้นที่ลุ่ม	8,775.00	0.59
สวนผลไม้	22,500.00	1.51
นา	69,900.00	4.70
ป่าล้ม	15,187.50	1.02
ยางพาราอายุ 0-7 ปี	23,987.50	1.61
ยางพาราอายุ 7-10 ปี	396,181.25	26.63
ยางพาราอายุ 10-20 ปี	133,200.00	8.95
ยางพาราอายุ >20 ปี	435,600.00	29.28
แหล่งน้ำ	26,656.25	1.79
รวม	1,487,681.25	100.00



ภาพประกอบ 3-2 การจำแนกการใช้ที่ดินโดยจำแนกพื้นที่ยางพาราตามช่วงอายุต่างๆ

การจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน โดยใช้แผนที่การใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ปีพ.ศ. 2552 ซึ่งมีการจำแนกในระดับละเอียด และผ่านการตรวจสอบในภาคสนาม ในการศึกษานี้ได้ทำการเพิ่มเติมการใช้ที่ดินบางประเภทเพื่อใช้ในการประเมินค่าตัวแปรในแบบจำลอง และเป็นแนวทางตรวจสอบปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกร่อนของดินใช้ถูกต้องชัดเจนมากขึ้น โดยการจำแนกการใช้ที่ดิน ป่าไม้ และพื้นที่สวนยางพารา ออกตามอายุยาง และระดับความลาดชันของพื้นที่

ผลการจำแนกพบว่าพื้นที่ป่าส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ระดับความลาดชันสูง (ตาราง 3-3) ได้แก่ ระดับ 20-35% และ > 35% ถึงร้อยละ 35.23 และ 39.11 ตามลำดับ และอยู่พื้นที่ลาดชันน้อย (slope

< 20%) เพียงร้อยละ 25.6 ของพื้นที่ทั้งหมด เนื่องจากในช่วงปี พ.ศ. 2525 -2539 พื้นที่ป่าลดลงร้อยละ 10.62 ของพื้นที่ (Tanavud *et al.*, 1999) เพราะมีการบุกรุกพื้นที่เพื่อทำการเกษตร โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สวนยางพารา

ตาราง 3-3 พื้นที่ป่าในกลุ่มน้ำคลองอุตะเกาะตามระดับความลาดชัน

ความลาดชัน	เนื้อที่ (ไร่)	เนื้อที่ (%)
0-2	868.56	0.51
2-5	3,212.89	1.89
5-10	14,714.45	8.65
10-20	24,874.91	14.62
20-35	59,956.09	35.23
>35	66,568.10	39.11
รวม	170,195.00	100.00

ในพื้นที่ยางพารา 4 ช่วงอายุ ตามพื้นที่ระดับความลาดชันสูง ได้แก่ (ตาราง 3-4) พบว่า พื้นที่ยางพารามีพื้นที่ทั้งหมด 962,125.34 ไร่ หรือ ร้อยละ 66.48 ของทั้งหมด โดยพื้นที่ปลูกยางพาราอายุ >20 ปี มีพื้นที่มากที่สุด มีเนื้อที่เท่ากับ 426,111.94 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 44.29 ของพื้นที่ยางพารา

พื้นที่ยางพาราส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ความลาดชัน <20% มีพื้นที่ 846,286.55 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 87.96 ของพื้นที่ยางพารา โดยพื้นที่ยางพาราส่วนใหญ่ในกลุ่มน้ำคลองอุตะเกาะมีพื้นที่กระจายอยู่ทางตอนใต้จนถึงตอนกลางของพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด แต่มีพื้นที่ส่วนน้อย ร้อยละ 4.05 ของพื้นที่ยางพาราที่ปลูกบนพื้นที่ความลาดชัน >35% ซึ่งส่วนใหญ่พื้นที่ที่ติดกับพื้นที่ป่าที่อยู่ทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก บริเวณพื้นที่เนินเขาโดยส่วนใหญ่เป็นการรुक้าพื้นที่ป่า

พื้นที่ยางพาราอายุ < 7 ปี มีพื้นที่ทั้งหมด 170,195 ไร่ หรือร้อยละ 16.38 ของพื้นที่ยางพารา พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ที่ความลาดชัน >12 % มีพื้นที่ 151,359.10 คิดเป็นร้อยละ 88.96 ของพื้นที่ยาง โดยพื้นที่ยางพาราอายุ < 7 ปี ส่วนใหญ่กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำในบริเวณพื้นที่ลูกคลื่นลอนชันถึงพื้นที่ลาดเชิงชัน

ตาราง 3-4 พื้นที่ยางพาราในกลุ่มน้ำคลองอุ้ตะเภาตามระดับความลาดชัน

ความลาดชัน (%)	พื้นที่ยางพารา (ไร่)						ร้อยละ
	อายุ >20	อายุ 10-20	อายุ 7-10	อายุ < 7	รวม	ละ	
	0-2	42,741.70	10,967.86	39,156.32	2,496.68	95,362.56	9.91
2-5	122,712.23	32,622.89	118,810.56	7,073.87	281,219.55	29.23	
5-12	163,986.52	47,680.47	155,647.66	9,229.87	376,544.52	39.14	
12-20	42,291.36	15,082.28	34,224.11	1,562.17	93,159.92	9.68	
20-35	35,901.20	13,076.99	27,033.19	837.94	76,849.32	7.99	
>35	18,478.95	7,280.42	12,839.66	390.45	38,989.47	4.05	
รวม	426,111.94	126,710.92	387,711.50	21,590.98	962,125.34		
ร้อยละ	44.29	13.17	40.3	2.24		100	

ยางพาราอายุ 7-10 ปี มีพื้นที่ทั้งหมด 387,711.50 ไร่ หรือร้อยละ 40.3 ของพื้นที่ยางพารา พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ที่ความลาดชัน 2-20 % มีพื้นที่ 347,838.65 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 36.15 ของพื้นที่ยางพารา โดยส่วนใหญ่อยู่ทางทิศตะวันตกและตะวันออกเฉียงบางส่วน ละตอนใต้บริเวณอำเภอสะดาคลองหอยโข่งนาหม่อม และบางส่วนของอำเภอหาดใหญ่ในบริเวณพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด

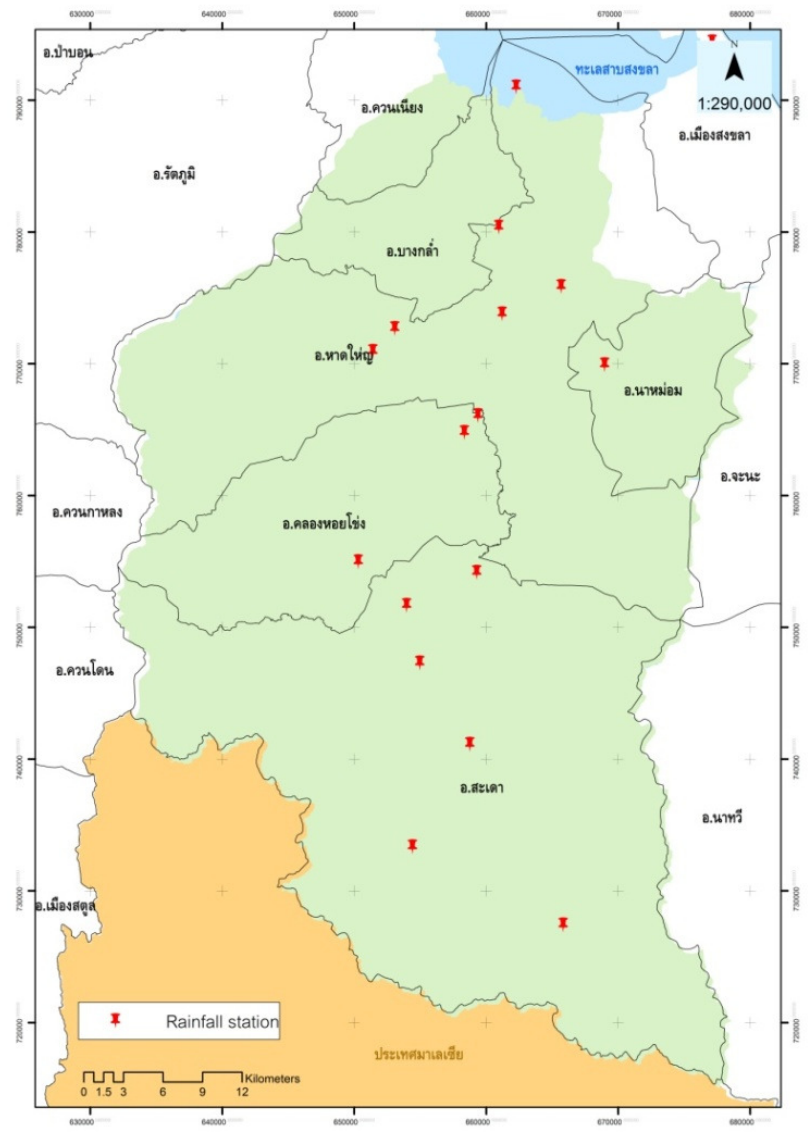
ยางพาราอายุ 10-20 ปี มีพื้นที่ทั้งหมด 126,710.92 ไร่ หรือร้อยละ 13.17 ของพื้นที่ยางพารา พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ที่ความลาดชัน 2-12 % มีพื้นที่ 80,303.36 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 63.37 ของพื้นที่ยางพารา โดยส่วนใหญ่อยู่ทั้งทั้งลุ่มน้ำยกเว้นทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกที่เป็นพื้นที่ป่า และบางส่วนในตอนกลางลุ่มน้ำที่เป็นพื้นที่ชุมชนจนถึงทางตอนเหนือบริเวณปากแม่น้ำในบริเวณพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด

ยางพาราอายุ >20 ปี มีพื้นที่ทั้งหมด 393,865.86 ไร่ หรือร้อยละ 37.90 ของพื้นที่ยางพารา ส่วนใหญ่อยู่ที่ความลาดชัน 0-12 % มีพื้นที่ 305,406.54 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 77.44 ของพื้นที่ยางพารา

โดยส่วนใหญ่อยู่ทั้งทั้งลุ่มน้ำเช่นเดียวกับพื้นที่ยางพาราอายุ 10-20 ปี ในบริเวณพื้นที่ราบเรียบถึงพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด

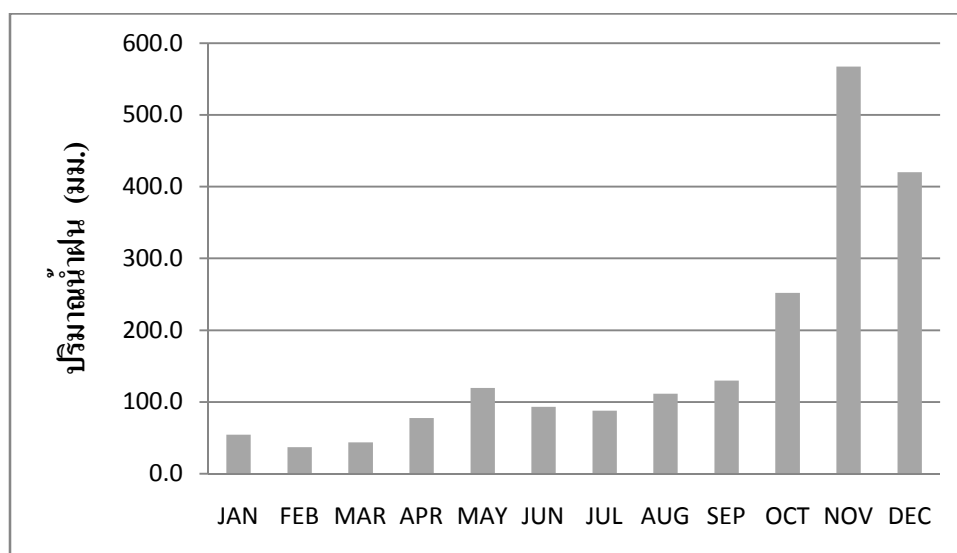
### 3.2 ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Annual rainfall)

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีได้จากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 17 สถานีที่กระจายในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา (ภาพประกอบ 3-3) ซึ่งผลการศึกษาเป็นค่าปริมาณน้ำฝน และจำนวนวันฝนตกเฉลี่ย



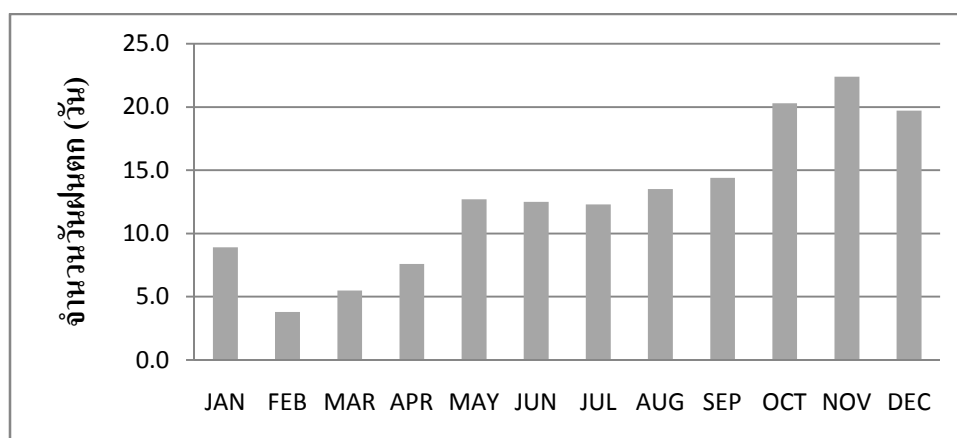
ภาพประกอบ 3-3 สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 17 สถานีที่ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ในพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน เท่ากับ 1,994.90 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 567.30 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุดอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ 37.00 มิลลิเมตร แสดงในภาพประกอบ 3-4



ภาพประกอบ 3-4 ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนในลุ่มน้ำคลองอุตะภายในช่วงปี พ.ศ. 2514-2543

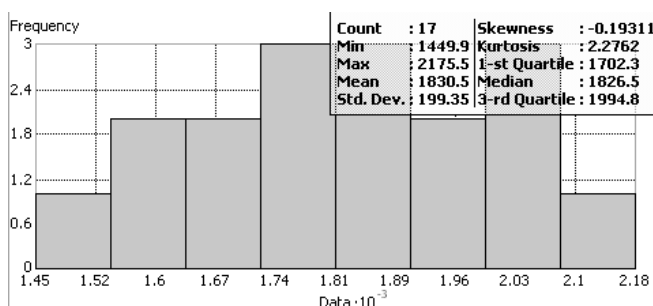
ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันฝนตกทั้งปีเท่ากับ 153.6 วัน จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 22.4 วัน จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ 3.8 วัน แสดงในภาพประกอบ 3-5



ภาพประกอบ 3-5 ค่าเฉลี่ยจำนวนวันฝนตกในลุ่มน้ำคลองอุตะภายในช่วงปี พ.ศ. 2514-2543

การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลน้ำฝน เพื่อประมาณค่า (extrapolate) ข้อมูลจุดเก็บ ตัวอย่างจากสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ให้อยู่ในรูปของข้อมูลพื้นผิวแบบต่อเนื่องทั้งลุ่มน้ำ สามารถทำได้ โดยใช้เทคนิค Exploratory Spatial Data Analysis หรือ ESDA ต่างๆ ได้แก่

### (1).การแจกแจงความถี่ (Histogram)

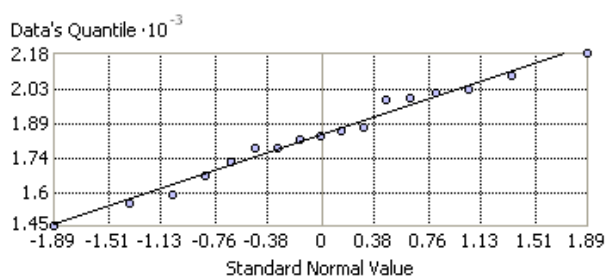


ภาพประกอบ 3-6 การแจกแจงความถี่ (Histogram) ของข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยในกลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา

พบว่าค่าเฉลี่ย (Mean) และค่ามัธยฐาน (Median) มีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ (Normally distribution) โดยมีการ skew เล็กน้อยไปทางขวาของกราฟ ซึ่งแสดงว่ามีแนวโน้มของค่าปริมาณฝนค่อนข้างสูงในหลายๆ สถานี

### (2). Normal QQ plot

การทดสอบโดยกราฟ Normal QQ plot เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการกระจายของข้อมูล และการกระจายแบบปกติ เพิ่มเติมจากการแจกแจงความถี่ พบว่าค่าปริมาณน้ำฝน จะใกล้เคียงเส้นทแยง 45 องศา แสดงถึงข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำมีการกระจายในรูปแบบปกติ สามารถนำไปประเมิน โดยวิธีเทคนิค Kriging ได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องมีการ Transform

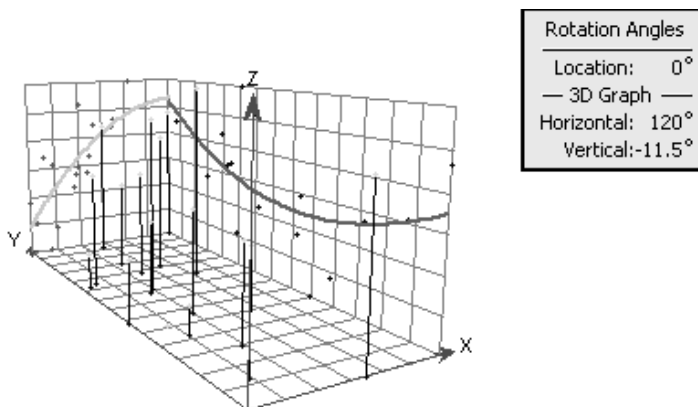


ภาพประกอบ 3-7 ผลการศึกษาการตรวจสอบ normal QQ plot จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนในกลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา

### (3). Identify global trends

การตรวจสอบแนวโน้มทั่วไป (Global trends) ของข้อมูล โดยวิธี Trend Analysis พบว่า ปริมาณฝนมีแนวโน้มมากในด้านตะวันออก และลดลงอย่างรวดเร็วในทางตะวันตก และมีปริมาณ ฝนมากในส่วนปลายของแนวเหนือ-ใต้ โดยมีปริมาณลดลงในบริเวณพื้นที่ตอนกลาง

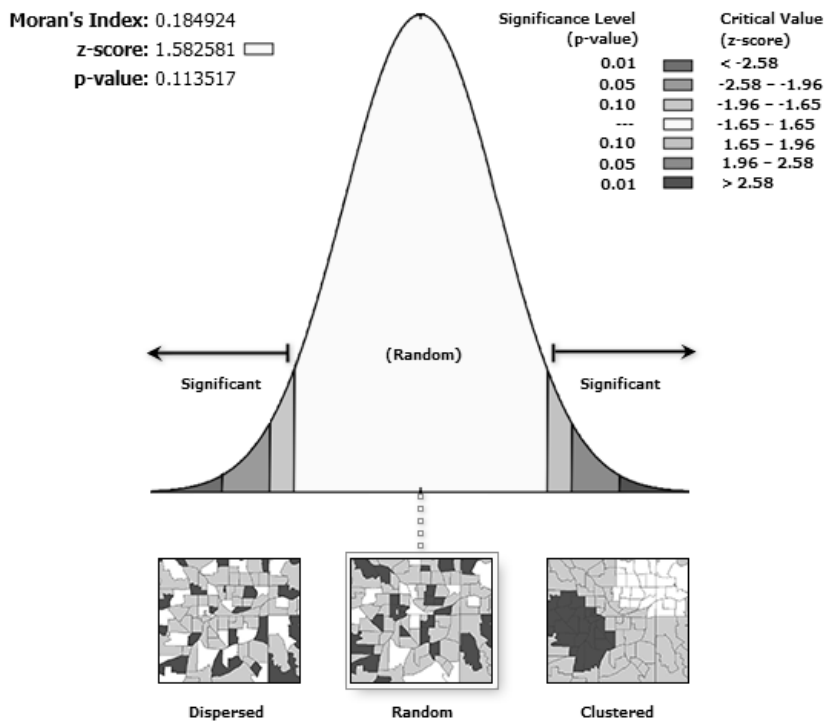
แนวโน้ม หรือความผันแปรเฉพาะตำแหน่ง (Local variation) ดังกล่าว สามารถจำลองได้ โดยสมการกำลังสอง (Second-order polynomial) เพื่อให้ทำให้การประมาณค่า โดยวิธี Kriging ได้ ถูกต้องมากขึ้น



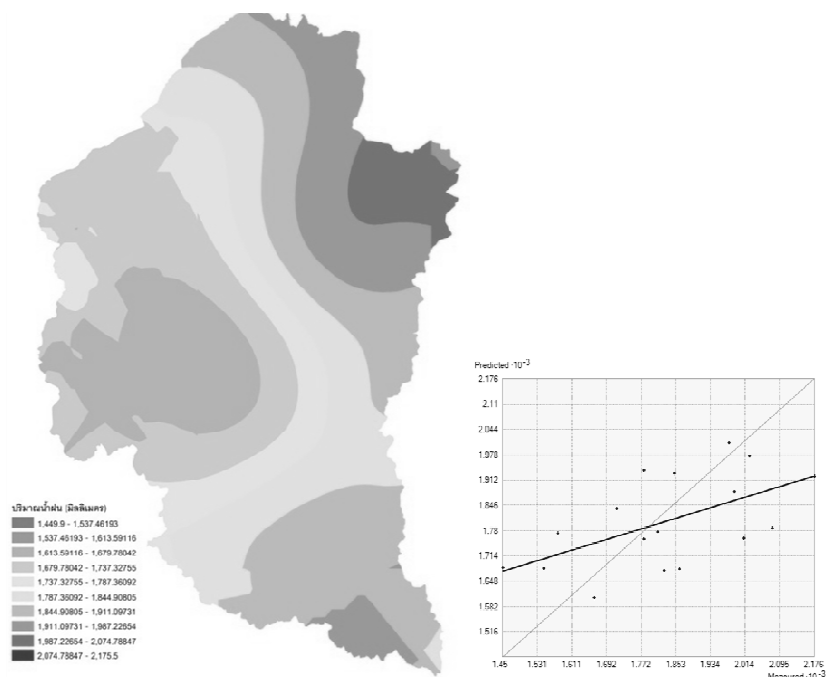
ภาพประกอบ 3-8 การกระจายของปริมาณน้ำฝนในทิศตะวันออก-ตก (x axis) และในทิศเหนือ-ใต้ (y-e-axis)

ผลการประมาณค่า (extrapolate) ข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างให้เป็นข้อมูลพื้นผิวแบบต่อเนื่อง ทั้งลุ่มน้ำ โดยวิธี Kriging แสดงในภาพประกอบ 3-8 พบว่า รูปแบบการกระจายของปริมาณฝน เฉลี่ยสูงในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้ และลดต่ำลงในพื้นที่ฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือ อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากจุดเก็บตัวอย่างและค่าคาดคะเน (predicted) มีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.26 ทั้งนี้เนื่องมาจากมีข้อจำกัดจำนวนสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพียง 17 สถานี จากการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Auto correlation, Morans I) พบว่า ปริมาณ น้ำฝนในแต่ละสถานีไม่มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ หรือมีรูปแบบการกระจายของข้อมูลไม่แตกต่าง จากการกระจายแบบอิสระ ดังภาพประกอบ 3-9





ภาพประกอบ 3-9 ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Auto correlation, Morans I)

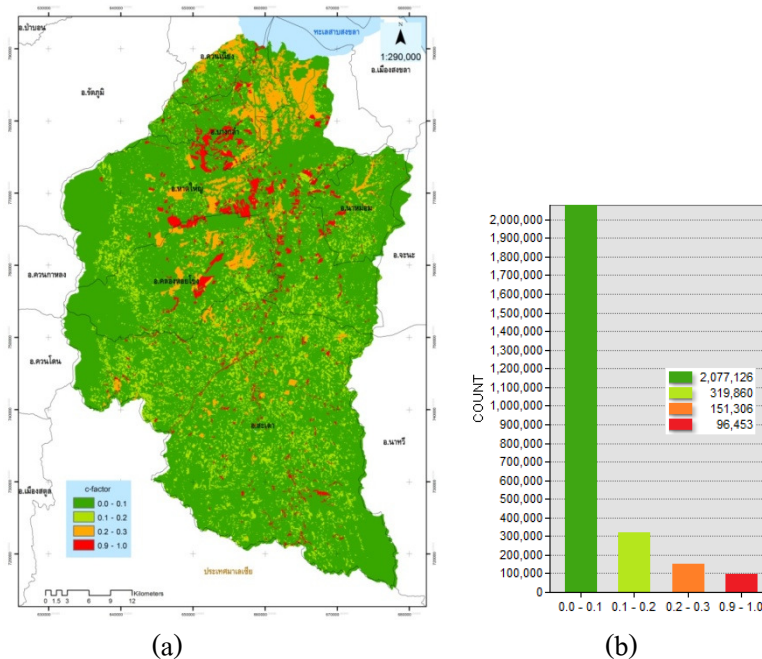


ภาพประกอบ 3-10 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาโดยวิธี Kriging

### 3.3 ค่าดัชนีพืชคลุมดิน (Crop manage factor ; C-factor)

ค่า C-factor เป็นค่าปัจจัยด้านพืชพรรณและสิ่งปกคลุมผิวดิน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงระบบการจัดการพืชหรือการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อการกร่อนของดิน การศึกษาวิธีการประเมินค่า C-factor โดยการทำการเปรียบเทียบ 3 วิธี ได้แก่ Land cover Classification, NDVI และ Transformation index โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat TM 5 เมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2553 ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

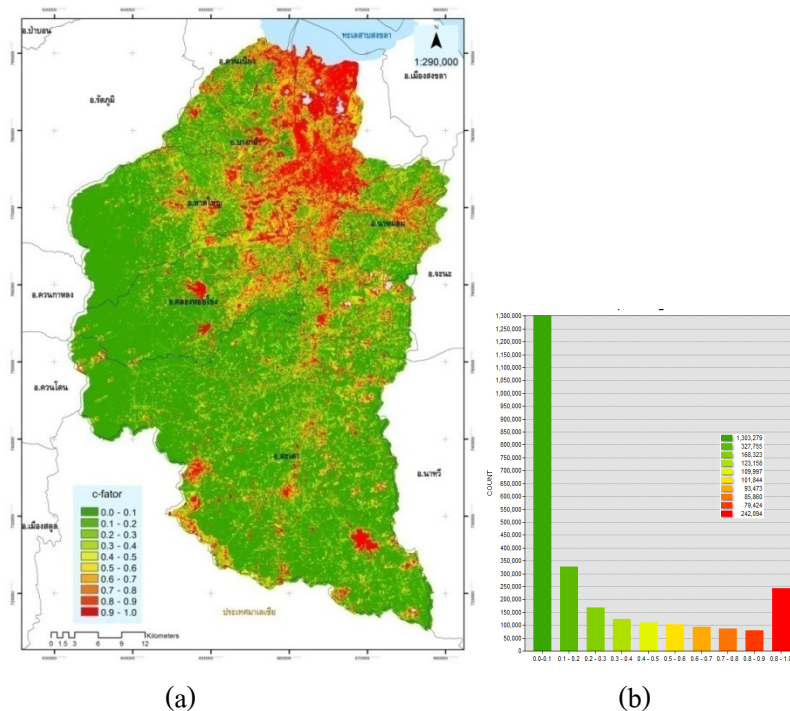
(1) วิธี Land cover Classification เป็นการกำหนด ค่า C-factor ตามประเภทการใช้ที่ดิน/พืชคลุมดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) ข้อมูลแผนที่ประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในการศึกษาได้มีการเพิ่มเติมในส่วนของค่า C-factor ตามช่วงอายุของสวนยางพารา ได้แก่ อายุมากกว่า 20 ปี อายุ 10-20 ปี, 7-10 ปี และน้อยกว่า 7 ปี มีค่า C-factor เท่ากับ 0.15, 0.12, 0.09 และ 0.08 ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้พบว่า มีการกระจายของค่า C factor ในเชิงพื้นที่ค่อนข้างน้อยมาก (ภาพประกอบ 3-11) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.0 – 0.1 ซึ่งเป็นค่า C-factor ของยางพารา ซึ่งมีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 78.54 ส่วนที่เหลืออยู่ในช่วง 0.1 – 0.2, 0.2 – 0.3 และ 0.9 - 1.0 คิดเป็นร้อยละ 12.09 5.72 และ 3.65 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-11 ค่า C-factor ที่ได้จากการระบุตามประเภทการใช้ที่ดิน โดยการใช้วิธี Supervise Classification (a) และกราฟแสดงการกระจายของข้อมูล (จำนวน Pixels) (b)

(2) วิธีการกำหนดค่า C-factor จาก NDVI หรือดัชนีพืชพรรณ สามารถระบุถึงความสมบูรณ์ของพืชพรรณที่ปกคลุมดินได้ชัดเจนมากขึ้น โดยการอ้างอิงความสัมพันธ์ของค่า C-factor ของพืชพรรณปกคลุมดินหรือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินกับค่า NDVI ในลักษณะเชิงเส้น (Linear) โดยกำหนดค่า C-factor ของพื้นที่ดินเปล่า และพื้นที่ป่าสมบูรณ์ เท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ (Koolman, 1987 ; De jong, 1994)

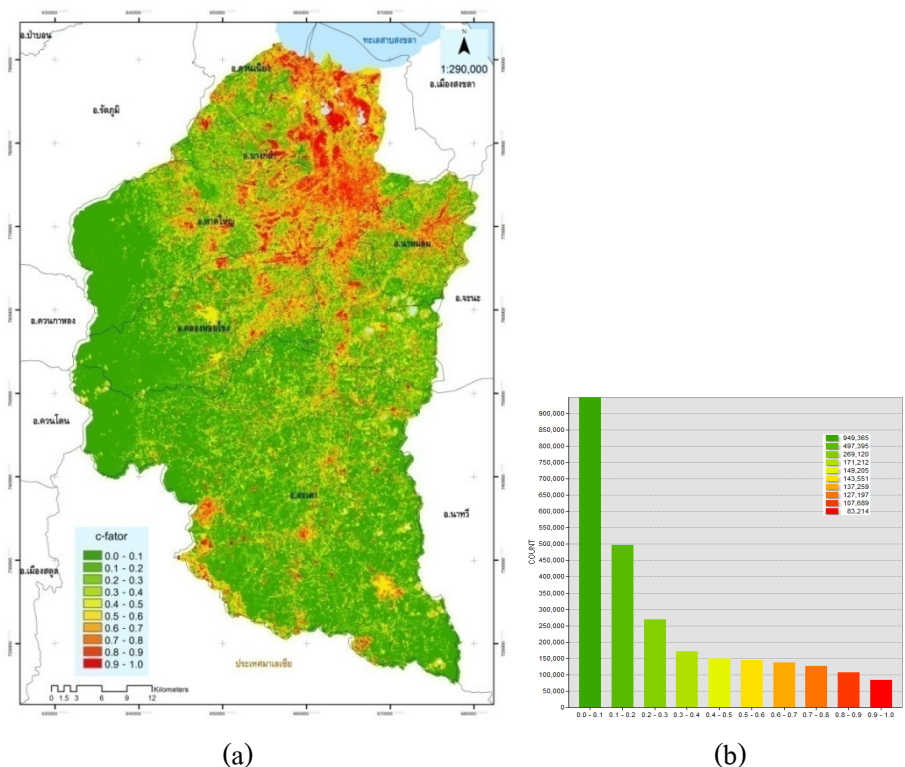
ผลการศึกษาที่ได้ค่า C-factor พบว่ามีการกระจายตัวเชิงพื้นที่มากขึ้น ส่วนใหญ่มีค่าระหว่าง 0.0-0.1 คิดเป็นร้อยละ 49.46 และรองลงมาเป็น 0.1-0.2 และ 0.2-0.3 คิดเป็นร้อยละ 12.44 และ 6.39 ตามลำดับ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ยางพารา ซึ่งมีระดับ NDVI ในช่วง 0.60-0.7 และได้ค่า C-factor ในช่วง 0.0-0.17 ทำให้ผลการศึกษามากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่อยู่ในช่วง 0.0-0.2 ดังภาพประกอบ 3-12



ภาพประกอบ 3-12 ค่า C-factor ที่ได้จากความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณ (a) และกราฟแสดงการกระจายของข้อมูล (จำนวนPixels) (b)

(3) วิธีกำหนดค่า C-factor โดย Transformation index ซึ่งเป็นค่า Normalization ของการสะท้อนแสงของพื้นที่ดินเปล่า และพื้นที่ป่าสมบูรณ์ใน 6 ช่วงคลื่น (แบนด์ 1-5 และ 7) ของภาพถ่ายดาวเทียม และอ้างอิงกับกับค่า C-factor

ค่า C-factor ที่วิเคราะห์ได้ การกระจายตัวของข้อมูลได้ใกล้เคียงกับวิธี NDVI ส่วนใหญ่จะอยู่ในค่า C-factor ระหว่าง 0.0-0.1 คิดเป็นร้อยละ 36.03 และรองลงมาเป็น 0.1-0.2 และ 0.2-0.3 คิดเป็นร้อยละ 18.88 และ 10.21 ตามลำดับ โดยค่า C-factor ของการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ชุมชน และพื้นที่ดินเปล่าไม่แตกต่างกันนัก อยู่ในช่วง 0.7-1.0 และค่า C-factor ในช่วง 0.9 – 1.0 ที่เป็นพื้นที่ลุ่ม ในวิธี Transformation index มีสัดส่วนที่น้อยกว่าวิธีวิเคราะห์จากค่า NDVI



ภาพประกอบ 3-13 ค่าC-factor ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีTransformation index (a) และกราฟแสดงจำนวนPixels (b)

การกระจายของค่า C-factor จากทั้ง 3 วิธี แสดงในตาราง 3-5 โดยมีค่า C-factor ของวิธี NDVI และ Transformation index มีการกระจายมากกว่าวิธี การอ้างอิงตามประเภทการใช้ที่ดิน และอยู่ในช่วงต่างๆ ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนใหญ่ (> 60%) อยู่ระหว่าง 0.0 – 0.2 และค่า C-factor โดยวิธี

NDVI ในช่วงค่าสูงๆ (0.8-0.9) ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มจะมากกว่าอีกสองวิธี (9% เทียบกับ 3%)

ตาราง 3-5 เปรียบเทียบค่าร้อยละของ ค่า C-factor วิธีอ้างอิงประเภทการใช้ที่ดิน ดัชนีพรรณพืช (NDVI) และดัชนี Transformation index.

C-factor	Land cover Classification (%)	NDVI (%)	Transformation index (%)
0.0 - 0.1	78.54	49.46	36.03
0.1 - 0.2	12.09	12.44	18.88
0.2 - 0.3	5.72	6.39	10.21
0.3 - 0.4	-	4.67	6.50
0.4 - 0.5	-	4.17	5.66
0.5 - 0.6	-	3.86	5.45
0.6 - 0.7	-	3.55	5.21
0.7 - 0.8	-	3.26	4.83
0.8 - 0.9	-	3.01	4.09
0.9 - 1.0	3.65	9.19	3.16

ผลการเปรียบเทียบค่า C-factor ดังกล่าว สรุปได้ว่า วิธี NDVI และ Transformation index มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด ( $r$  เท่ากับ 0.93) ดังตาราง 3-6 และมีการกระจายของข้อมูลในเชิงพื้นที่ได้ดีกว่าค่า C-factor โดยการอ้างอิงตามประเภทการใช้ที่ดิน นอกจากนี้ วิธี NDVI ยังสามารถประเมินค่า C-factor ได้ค่อนข้างง่าย และรวดเร็ว โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลเข้าถึงยาก อีกทั้งสามารถสะท้อนถึงความผันแปรเชิงพื้นที่ การจัดการของประเภทการใช้ที่ดิน/พืชพรรณที่ปกคลุมในพื้นที่ได้ดีกว่าการอ้างอิงค่าจากตารางที่กำหนด

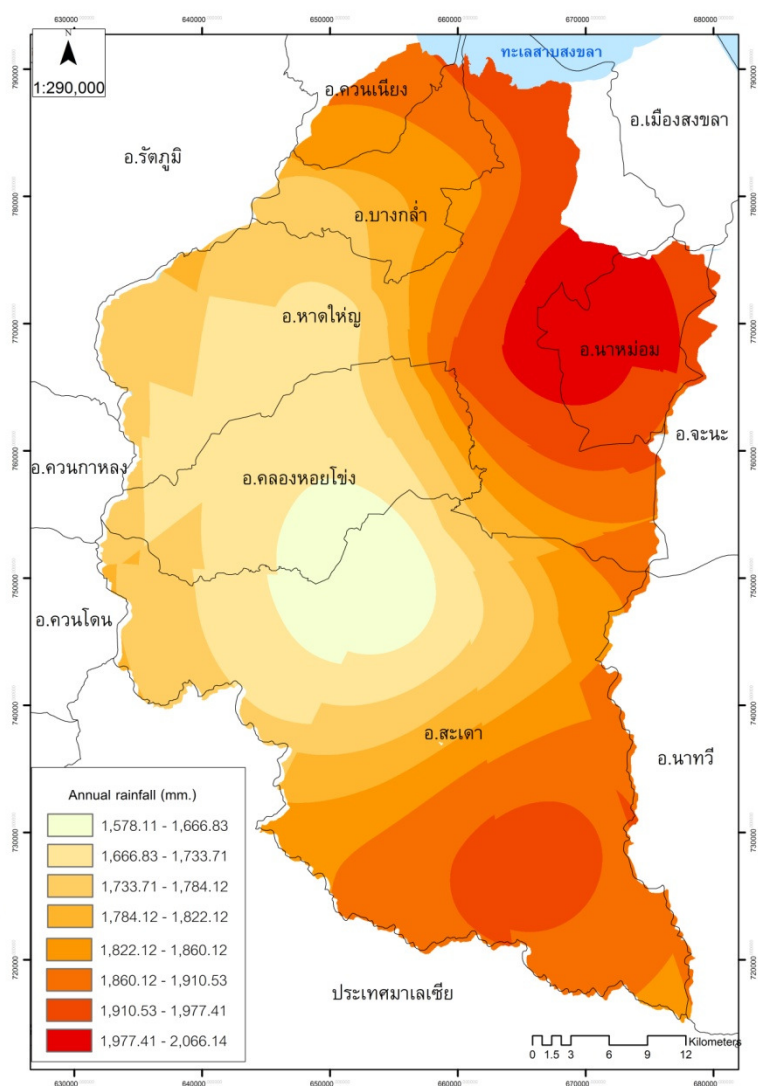
ตาราง 3-6 ความสัมพันธ์ของแผนที่ค่า C-factor จาก 3 วิธี

	Land cover Classification	NDVI	Transformation index
Land cover Classification	1.00	- 0.19	- 0.16
NDVI		1.00	0.93
Transformation index			1.00

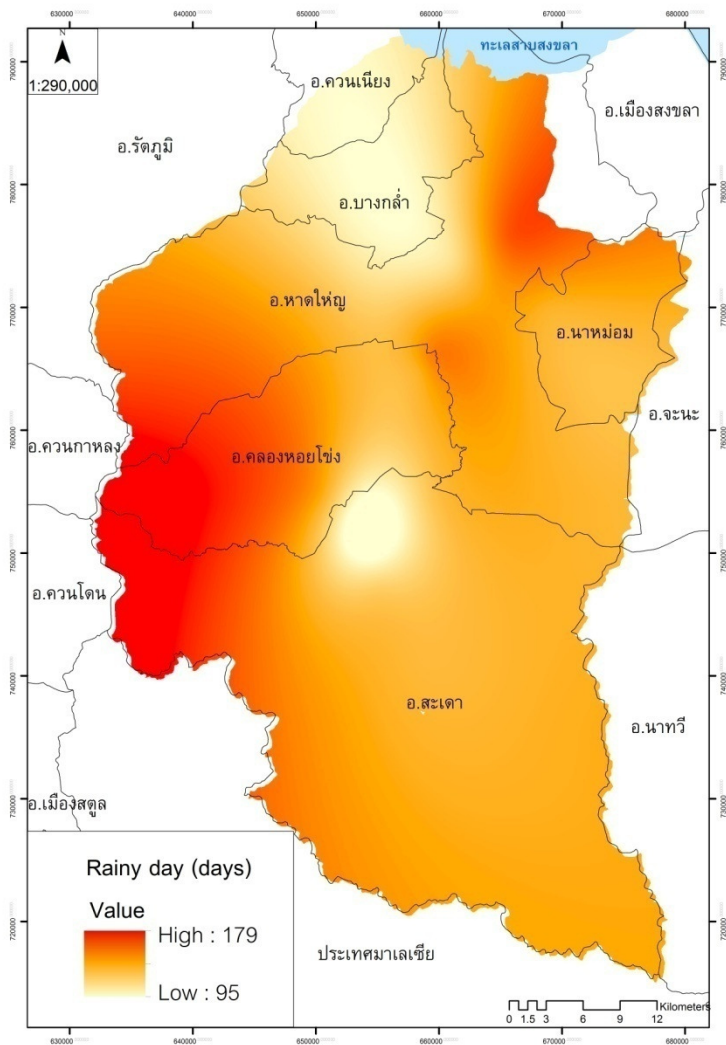
### 3.4 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง RMMF เพื่อประเมินการกร่อน

การประเมินการกร่อนโดยแบบจำลอง RMMF ใช้ข้อมูลเพื่อการประมวลผล ได้แก่ ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

(1) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา เป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับน้ำฝน โดยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่เข้าสู่แบบจำลอง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (Annual rainfall) จำนวนวันฝนตกในรอบปี (Rainy day) และค่าความหนักเบาของฝน (Rainfall intensity)



ภาพประกอบ 3-14 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (Annual rainfall)

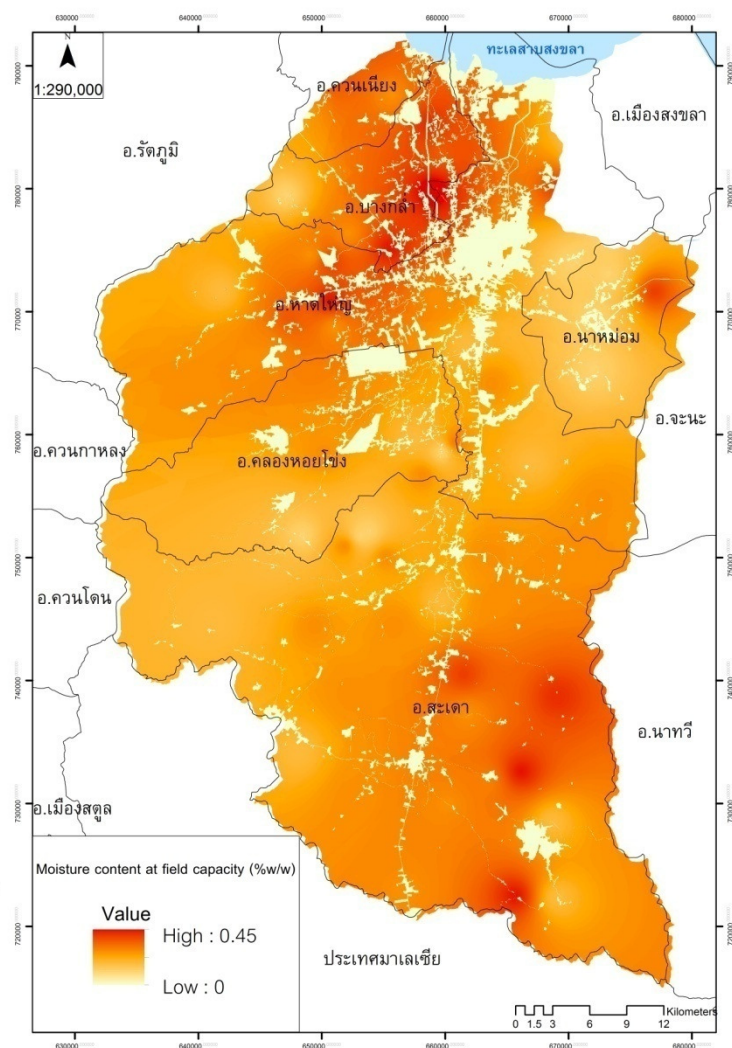


ภาพประกอบ 3-15 จำนวนวันฝนตกในรอบปี (Rainy day)

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (Annual rainfall) และจำนวนวันฝนตกในรอบปี (Rainy day) เป็นข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 17 สถานี ของสำนักชลประทานที่16 และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออกในช่วงเวลา 5 ปี (ปีพ.ศ. 2548-2552) โดยทำการประเมินค่าช่วง (Interpolation) ให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้เทคนิค Kriging ผลการศึกษาพบว่า ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภามีค่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรวมรายปี มีค่าระหว่าง 1578.11-2,066.14 มิลลิเมตร โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนรวมทั้งลุ่มน้ำเท่ากับ 1,816.30 มิลลิเมตร ซึ่งฝนมีความหนาแน่นทางทิศตะวันตกของพื้นที่ลุ่มน้ำ (ภาพประกอบ 3-14) และจำนวนวันฝนตกรายปีในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภามีค่าระหว่าง 95-179 วัน โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนรวมทั้งลุ่มน้ำเท่ากับ 137 วัน (ภาพประกอบ 3-15) โดยจำนวนวันฝนตกมีการกระจายตัวสูงในบริเวณทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ส่วนค่าความหนักเบาของฝน (Rainfall

intensity) ค่าความหนักเบาของฝนที่ใช้ค่า 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นค่าความหนักเบาของฝนสำหรับภูมิอากาศในเขตร้อน และมีค่าคงที่ทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ (Morgan, 2001)

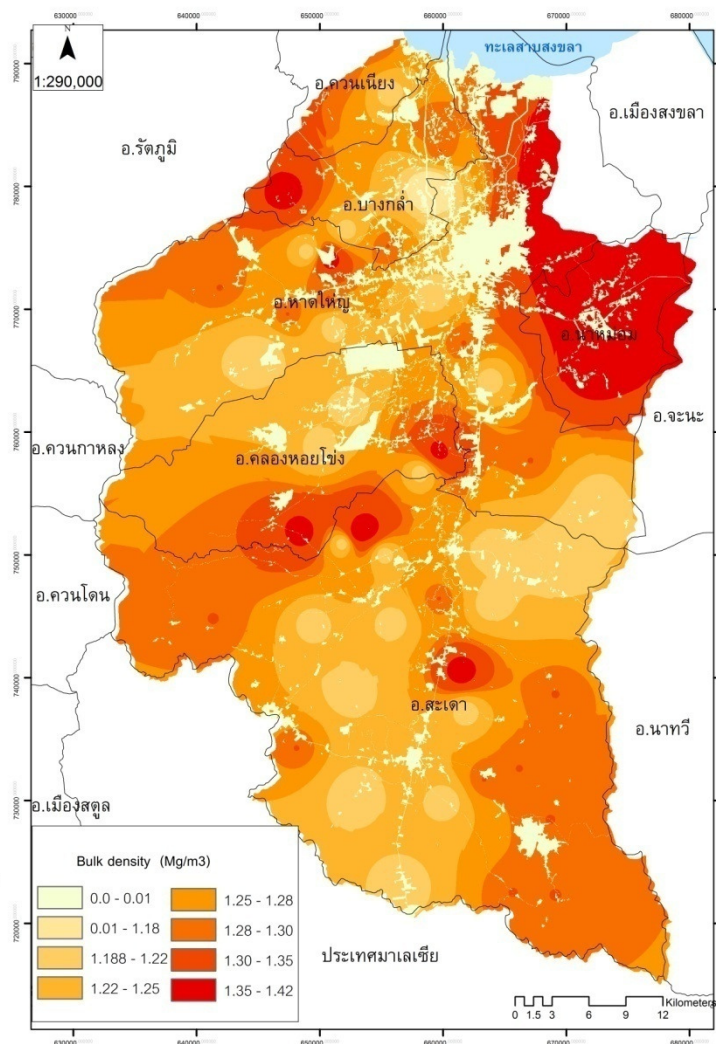
(2) ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เป็นข้อมูลที่มีความผันแปรกับเนื้อดิน ค่าตัวแปรอาศัยค่าจากการตรวจเอกสาร และนำค่าดังกล่าวมาอ้างอิงกับเนื้อดิน (Soil texture) จากการเก็บตัวอย่างเนื้อดินจำนวน 79 ตัวอย่าง (กัญจนิจ, 2549) ใช้เทคนิคการประเมินค่าช่วง (Interpolation) แบบ Kriging ดังรายละเอียดตามตาราง 3-7 โดยตัวแปรด้านคุณสมบัติของดินต่างๆ ได้แก่ ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (Soil moisture content at field capacity) ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (Soil detachability index) ค่าความเชื่อมแน่นของผิวดิน (Surface cohesion)



ภาพประกอบ 3-16 ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (Soil moisture content at field capacity)



ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามมีค่าระหว่าง ร้อยละ 0.00-0.45 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ซึ่งค่าเฉลี่ยของความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามในกลุ่มน้ำเท่ากับ 0.18 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (ภาพประกอบ 3-16) พื้นที่เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นแหล่งน้ำ แหล่งชุมชน (Built-up area) มีค่าความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามมีค่า 0.00 ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก หากค่าความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามมีค่าสูง จะส่งผลให้ดินการกักเก็บน้ำได้มากและทำให้เมื่อดินที่ถูกพัดพาโดยการไหลป่าลดลง

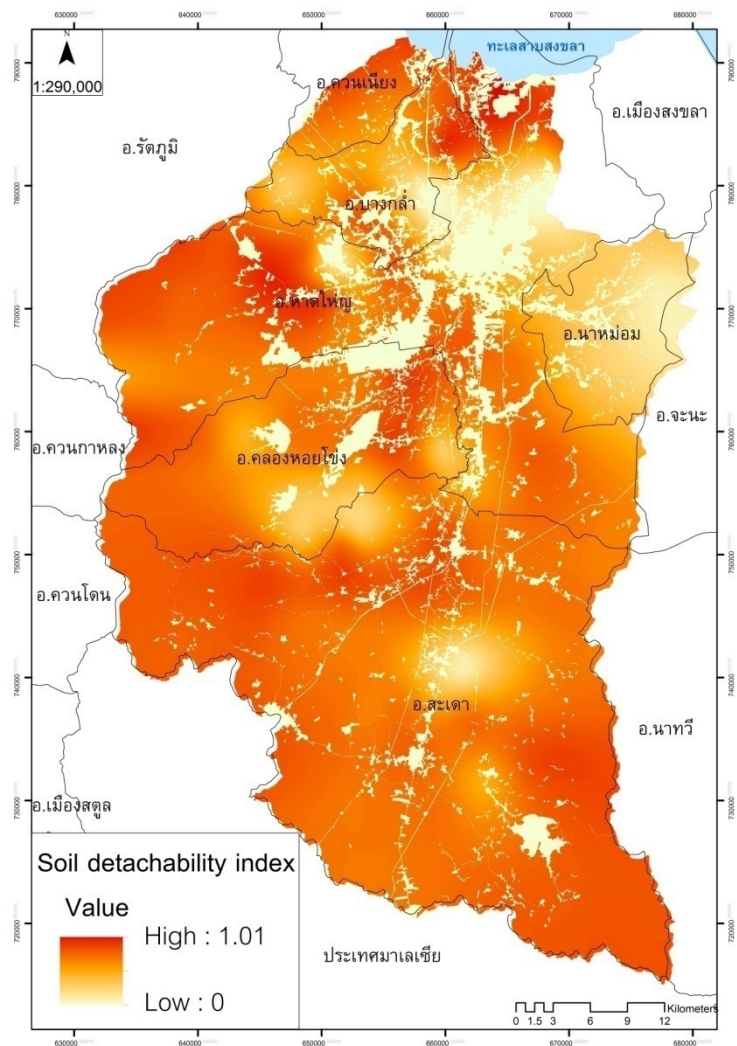


ภาพประกอบ 3-17 ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density)

ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) เป็นค่าตัวแปรที่อาศัยค่าจากการตรวจเอกสาร และนำค่าดังกล่าวมาอ้างอิงกับข้อมูลเนื้อดิน (Soil texture) (ตาราง 3-7) จากการศึกษพบว่า ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าระหว่าง 0.0-1.5 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นรวมของดินในกลุ่มน้ำเท่ากับ 1.15 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ภาพประกอบ 3-17) ใน

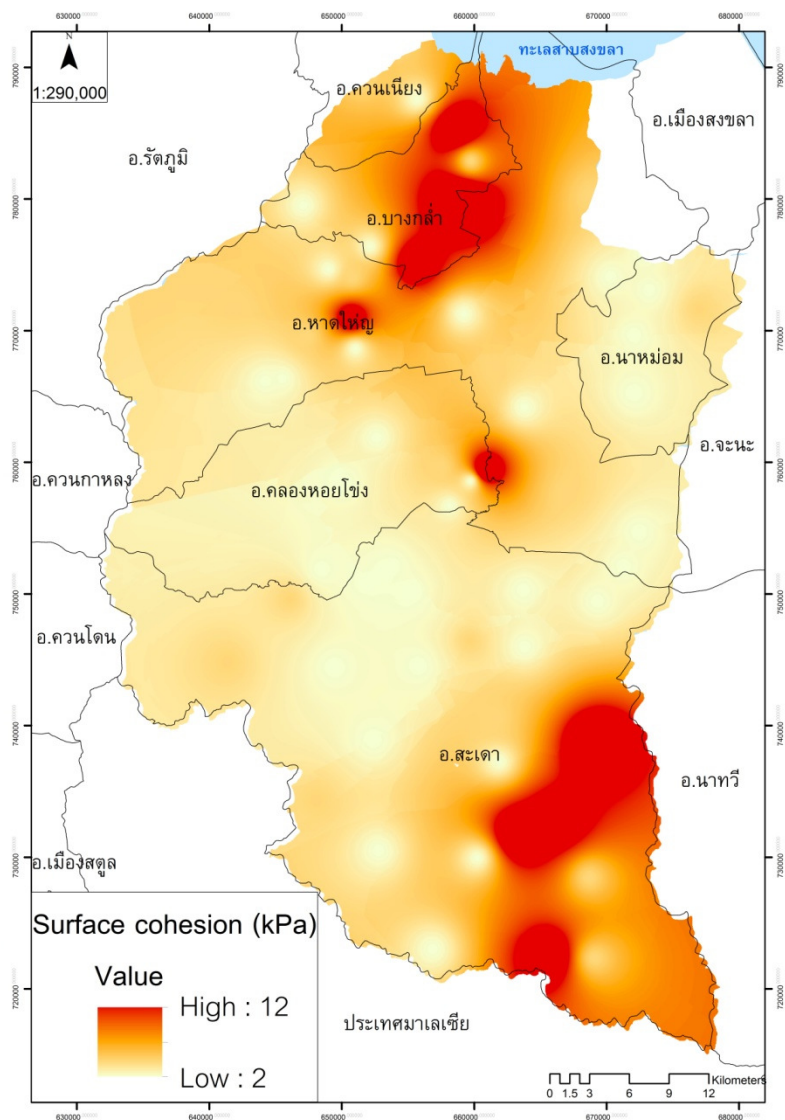
การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นแหล่งน้ำ แหล่งชุมชน (Built-up area) มีค่าความหนาแน่นรวมของดินมีค่าระหว่าง 0.0 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หากค่าความหนาแน่นรวมของดินมีค่าสูง จะส่งผลให้ดินการกักเก็บน้ำได้มาก ปริมาณน้ำที่ไหลบ่าลดลง และทำให้เมื่อดินที่ถูกพัดพาโดยการไหลบ่าลดลง

ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (Soil detachability index) ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน 0.0-1.3 กรัมต่อจุล ซึ่งค่าเฉลี่ยของดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนในลุ่มน้ำเท่ากับ 0.58 กรัมต่อจุล (ภาพประกอบ 3-18) ดินที่มีองค์ประกอบเป็นอนุภาคดินทรายและทรายแป้งมีดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนมีค่าสูงย่อมส่งผลให้เกิดอัตราการแตกกระจายของเม็ดดินสูง แต่หากดินมีองค์ประกอบเป็นอนุภาคดินดินเหนียว



ภาพประกอบ 3-18 ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (Soil detachability index)

ค่าความเชื่อมแน่นของผิวดิน (Surface cohesion) ค่าความเชื่อมแน่นของผิวดินในกลุ่มน้ำโคลงอยู่ตะกามีค่าระหว่าง 2-12 kPa ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าความเชื่อมแน่นของผิวดินในกลุ่มน้ำเท่ากับ 3.42 kPa (ภาพ3-19) ในพื้นที่ที่มีค่าความเชื่อมแน่นสูงอนุภาคดินบริเวณนั้นมักมีความต้านทานในการแตกกระจายสูง ส่งผลให้ลดอนุภาคดินที่ถูกพัดพาจากกระบวนการไหลบ่า

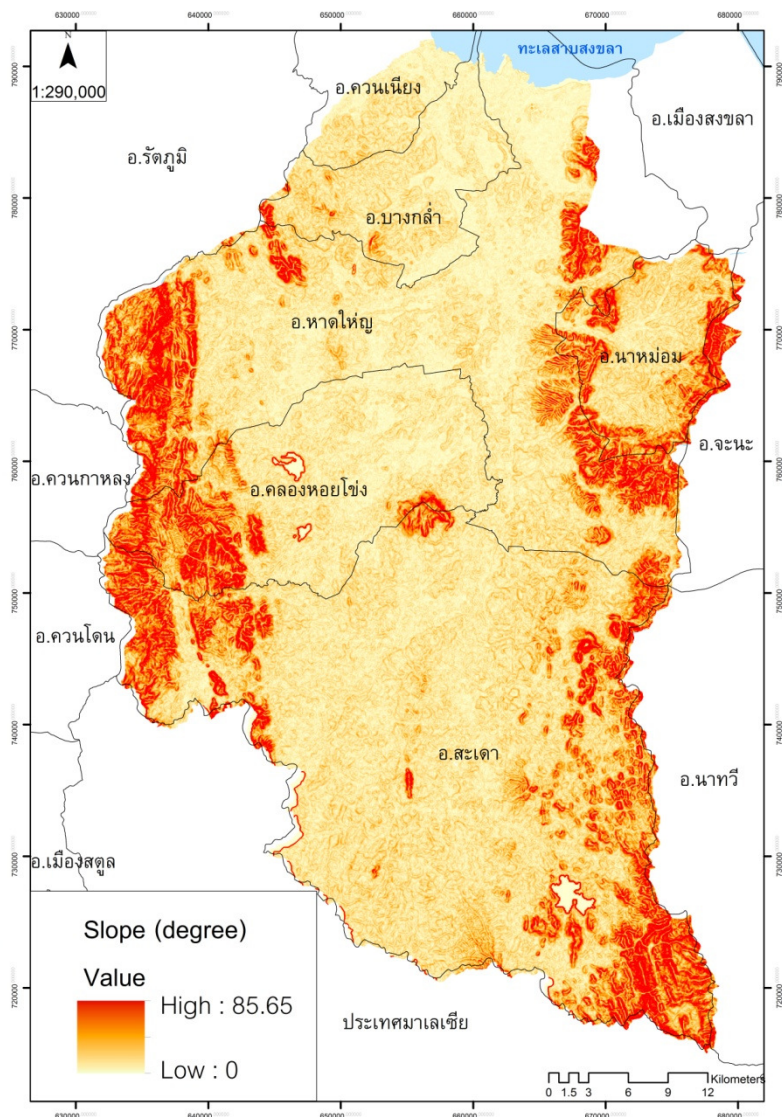


ภาพประกอบ 3-19 ค่าความเชื่อมแน่นของผิวดิน (Surface cohesion)

ตาราง 3-7 ค่าตัวแปรที่มีความแปรผันตามเนื้อดิน (Soil texture)

เนื้อดิน	ความจุความชื้น ของดินที่ระดับ สนาม (% w/w)	ความหนาแน่น รวมของดิน (mg/m <sup>3</sup> )	การแตกกระจาย ของเม็ดดินด้วย น้ำฝน	ความเชื่อม แน่นของผิว ดิน (kPa)
Sand	0.08	1.5	1.3	2
Loamy sand	0.15	1.4	0.3	2
Sandy loam	0.28	1.2	0.7	2
Loam	0.20	1.3	0.8	3
Silt	0.15	1.3	1	2.5
Silt loam	0.35	1.3	0.9	3
Sandy clay loam	0.38	1.4	0.1	3
Clay loam	0.40	1.3	0.7	10
Silty clay loam	0.42	1.3	0.8	9
Silty clay	0.30	1.3	0.5	10
Clay	0.45	1.1	0.05	12

(3) ข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ ได้แก่ ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (Slope) มาจากการวิเคราะห์ความสูงเชิงเลข (Digital elevation model หรือ DEM) จากการศึกษพบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีค่าความลาดชันเท่ากับ 0-82.77 องศา และมีค่าเฉลี่ยของความลาดชันในลุ่มน้ำเท่ากับ 6.02 องศา (ภาพ 3-20) โดยพื้นที่ทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกของพื้นที่ที่มีความชันสูง ซึ่งพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงอาจจะส่งผลให้มีอัตราการกร่อนสูงด้วย เนื่องจากพื้นที่ที่มีความชันมากส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ไหลบ่ามีความเร็วที่เพิ่มขึ้น และระยะลาดที่ยาวจะมีการสะสมของปริมาณน้ำที่ไหลบ่าสูง ทำให้มีอัตราการกร่อนที่สูง แม้ว่าจะมีความลาดชันต่ำ

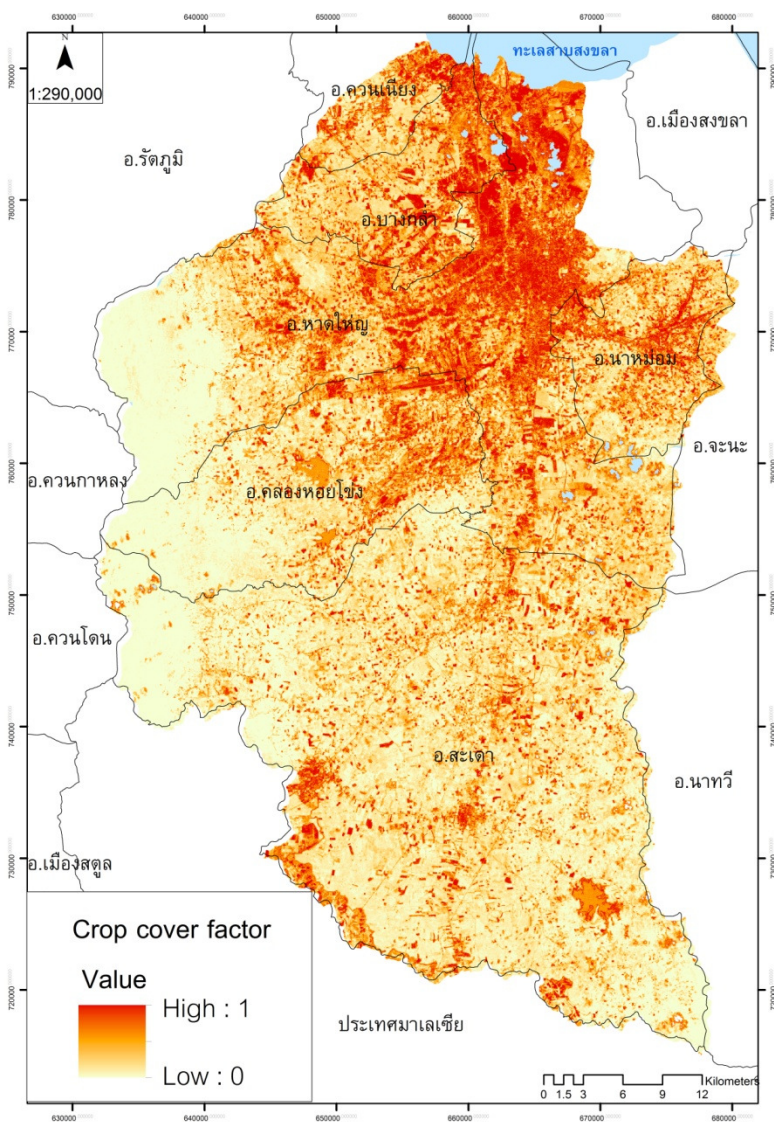


ภาพประกอบ 3-20 ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (Slope)

4. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นค่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อพืชพรรณในพื้นที่ศึกษา โดยตัวแปรมาจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางดาวเทียมร่วมกับการตรวจสอบจริงในงานสนาม และอาศัยค่าจากการตรวจเอกสาร แล้วนำค่าดังกล่าวมาอ้างอิงกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยตัวแปรด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธ์ (Crop manage factor) ร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover) ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover) ค่าความสูงของพืช (Plant height) ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (Rainfall interception) อัตราส่วนระหว่างการคายระเหย

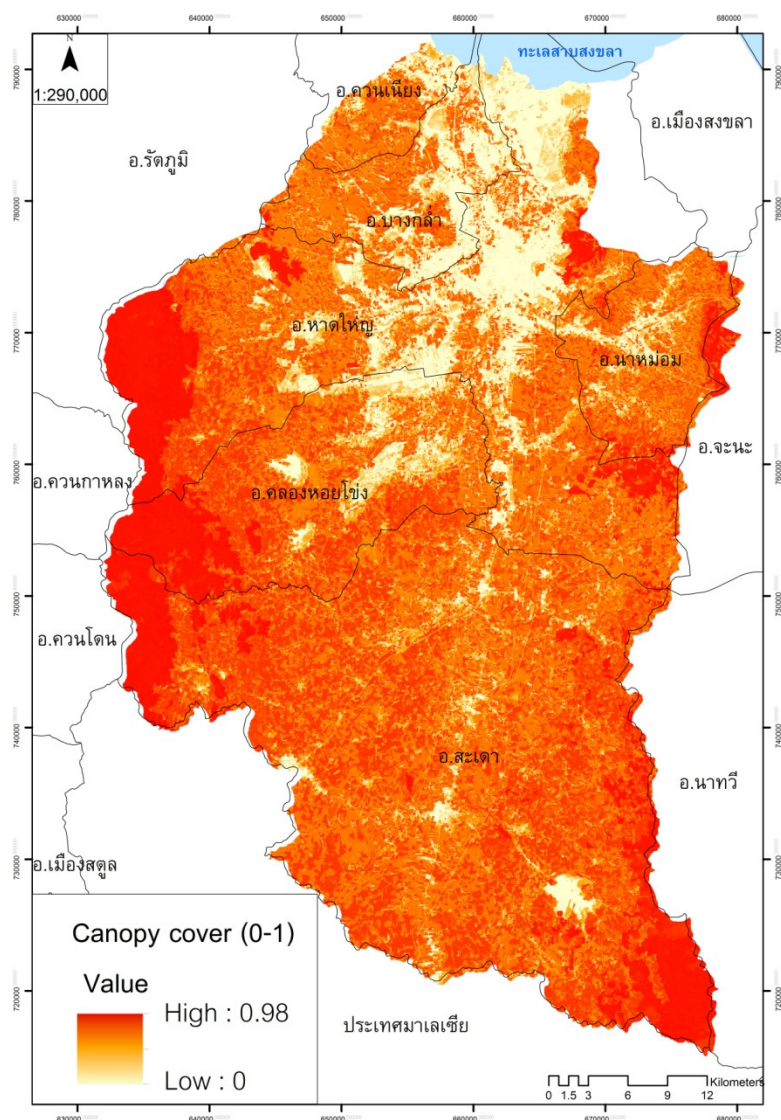
จริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (Ratio of actual to potential evapotranspiration) และความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth)

ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์ (Crop manage factor) มาจากการสำรวจพื้นที่และพิจารณา ร่วมกับค่าดัชนีพรรณพืช ซึ่งพื้นที่ที่มีค่าปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์สูง จะส่งผลให้พื้นที่นั้นเกิด ปริมาณดินที่ถูกพัดพาจากกระบวนการไหลบ่าสูง จากการศึกษาพบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีค่า ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์ระหว่าง 0-0.99 โดยค่าเฉลี่ยของปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์ทั้งลุ่ม น้ำเท่ากับ 0.27 (ภาพประกอบ 3-21)



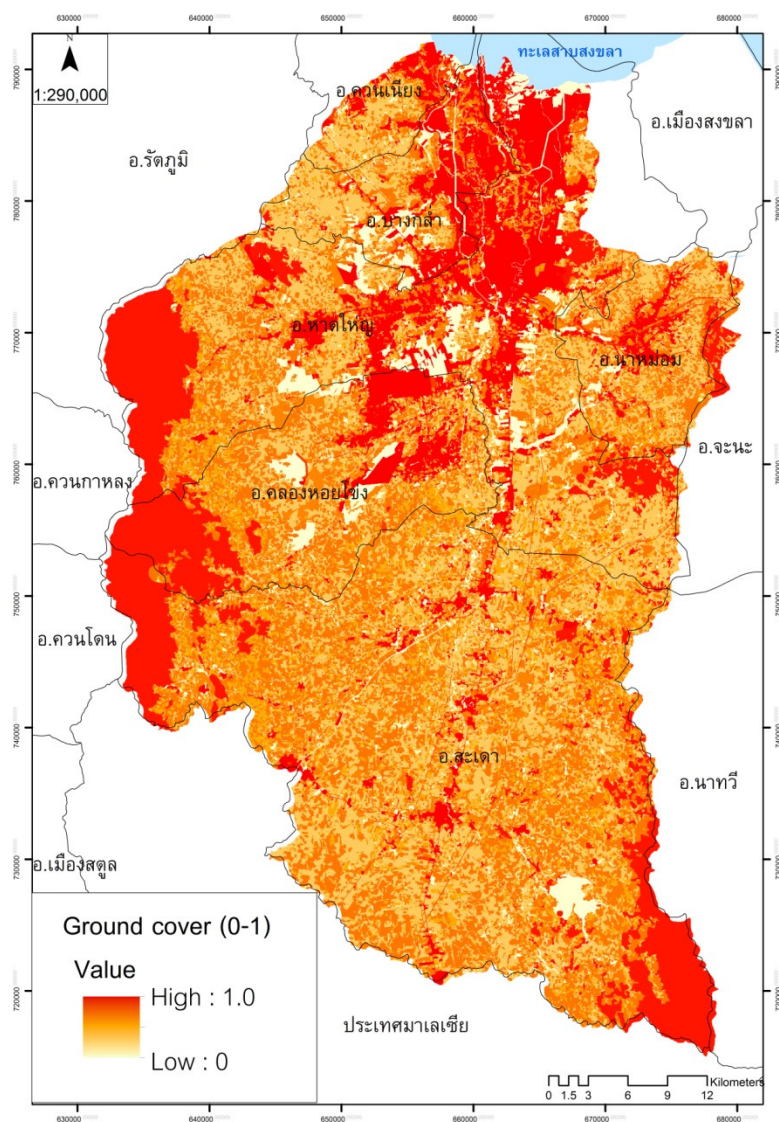
ภาพประกอบ 3-21 ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์ (Crop manage factor)

ร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover) เป็นค่าตัวแปรที่อาศัยค่าจากการตรวจเอกสาร และนำค่าดังกล่าวมาอ้างอิงกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตาราง 3-8) จากการศึกษาพบว่า ร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover) ในลุ่มน้ำคลองอุตะเกษามีค่าระหว่าง 0-0.99 โดยค่าเฉลี่ยของร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดินทั้งลุ่มน้ำเท่ากับ 0.58 (ภาพประกอบ 3-22) เรือนยอดปกคลุมดินช่วยลดความรุนแรงของฝนก่อนตกถึงพื้น ทำให้ลดอัตราการกร่อนดินในพื้นที่ได้



ภาพประกอบ 3-22 ร้อยละเรือนยอดที่ปกคลุมดิน (Canopy cover)

ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover) เป็นค่าตัวแปรที่อาศัยค่าจากการตรวจเอกสาร และนำค่าดังกล่าวมาอ้างอิงกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตาราง 3-8) จากการศึกษาพบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีค่าร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดินอยู่ระหว่าง 0-1.0 โดยค่าเฉลี่ยของร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดินทั้งลุ่มน้ำเท่ากับ 0.59 (ภาพประกอบ 3-23) ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดินช่วยป้องกันให้เกิดการกร่อนได้ เนื่องจากสิ่งปกคลุมผิวดินช่วยชะลออัตราการไหลบ่าของน้ำ ทำให้น้ำมีเวลาในการซึมสู่ผิวดินมากขึ้น

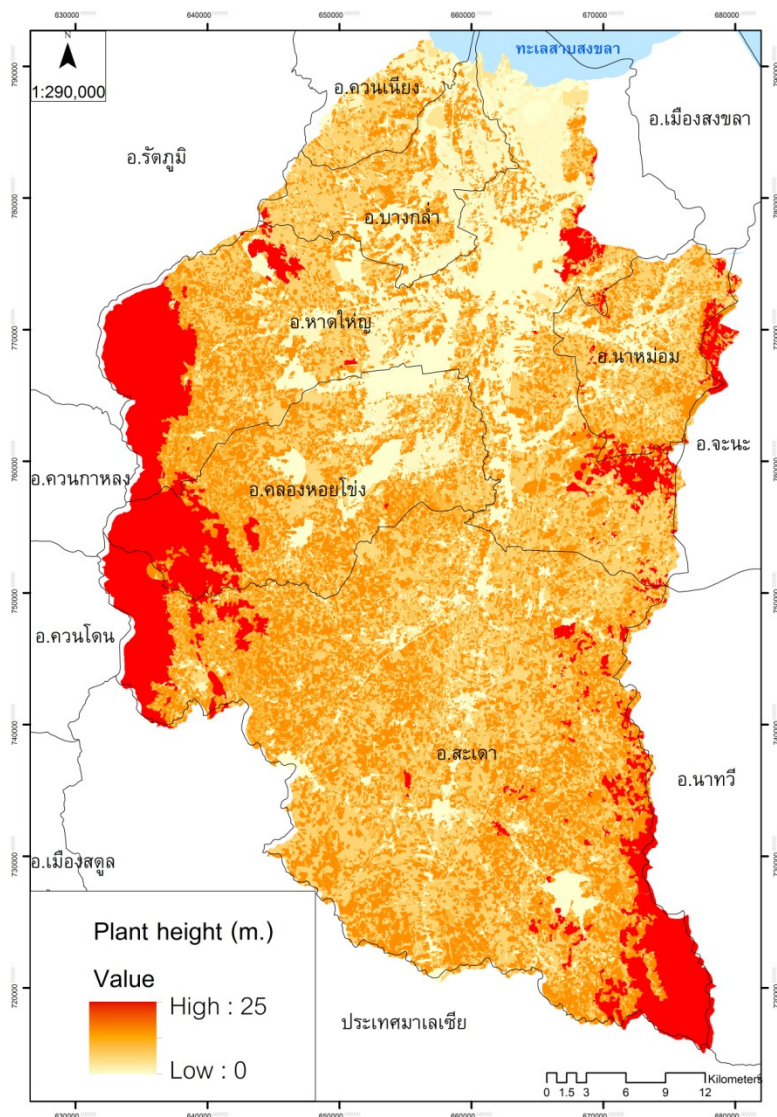


ภาพประกอบ 3-23 ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover)



ตาราง 3-8 ค่าตัวแปรที่ผันแปรตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ ที่ดิน	Ground cover (%)	Plant height (m.)	Rainfall interception (%)	Actual to potential evapotranspiration ratio	Effective hydrological depth (m.)
ยางพารา อายุ มากกว่า 20 ปี	0.7	15	0.20	0.9	0.25
ยางพาราอายุ 10-20 ปี	0.5	10	0.20	0.8	0.17
ยางพาราอายุ 7-10 ปี	0.3	6	0.15	0.7	0.12
ยางพาราอายุ 0-7 ปี	0.1	2	0.15	0.6	0.1
พื้นที่รกร้าง	0.95	0.1	0.30	0.86	0.12
ปาล์ม	0.65	5	0.15	0.8	0.12
สวนผลไม้	0.65	4	0.25	0.8	0.15
ป่า	0.98	25	0.30	0.95	0.2
นา	1	0	0	0	0
พื้นที่ลุ่ม	1	0	0	0	0
พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง	1	0	0	0	0
พื้นที่ดินเปล่า	0.1	0	0	0.05	0

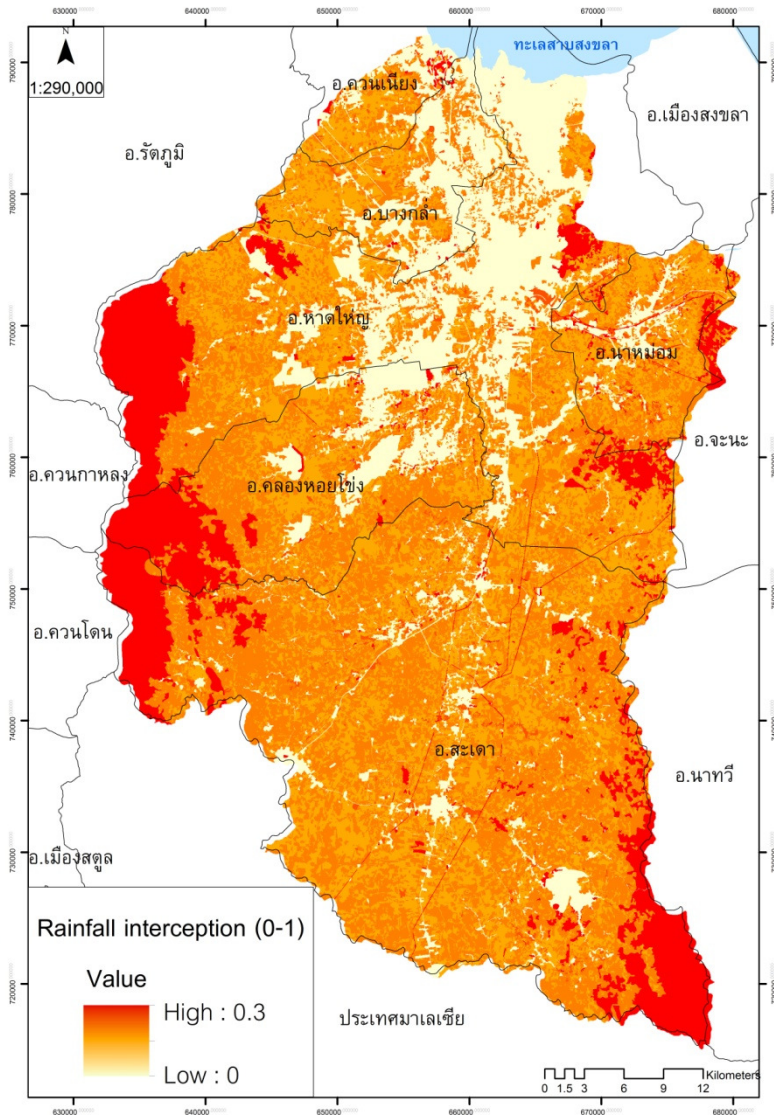


ภาพประกอบ 3-24 ค่าความสูงของพืช (Plant height)

ค่าความสูงของพืช (Plant height) เป็นค่าตัวแปรที่อาศัยค่าจากการตรวจเอกสาร และนำค่าดังกล่าวมาอ้างอิงตามพืชที่ปลูกในแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตาราง 3-8) จากการศึกษพบว่า ค่าความสูงของพืชในกลุ่มน้ำคลองอยู่ระหว่าง 0-25 เมตร (ภาพประกอบ 3-24) ค่าความสูงของพืชมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานจลน์ ในพื้นที่ที่พืชมีความสูงมากส่งผลให้ค่าพลังงานจลน์ลดลงอีกด้วย

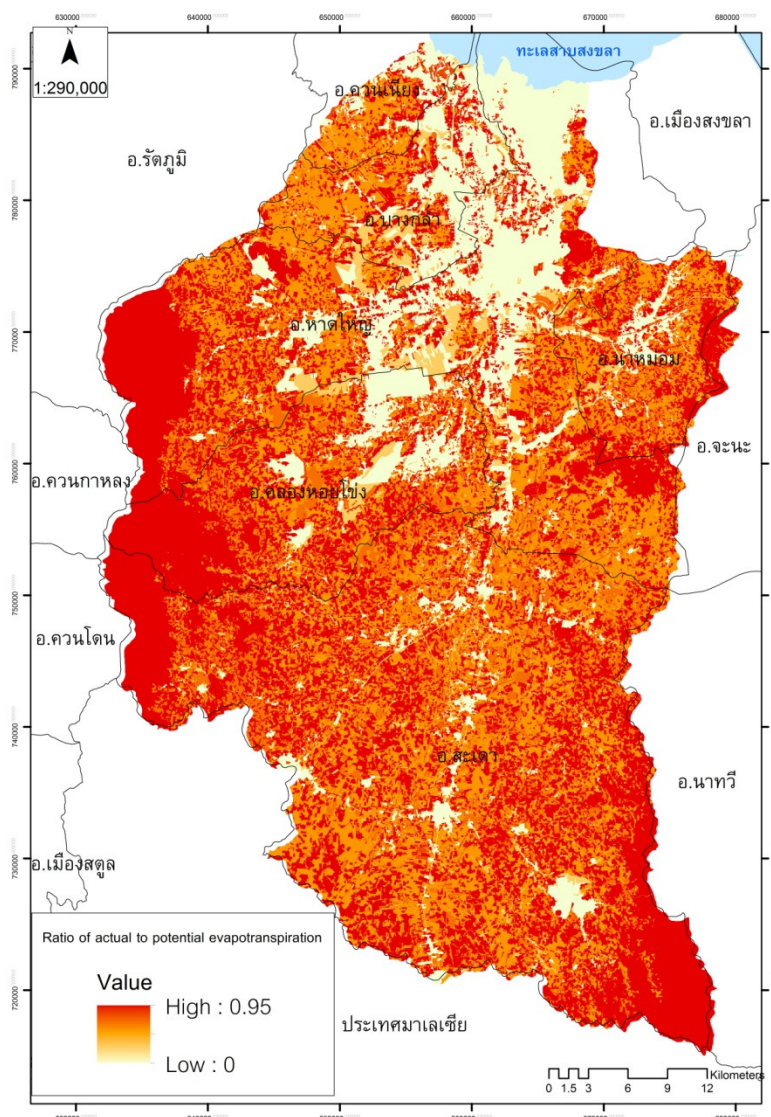
ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (Rainfall interception) เป็นปริมาณน้ำฝนที่พืชสามารถยึดไว้ได้ ค่าตัวแปรในการศึกษามาจากการตรวจเอกสารและอ้างอิงกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตาราง 3-8) จากการศึกษพบว่า ในกลุ่มน้ำคลองอยู่ระหว่างมีค่าร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ในช่วง 0-0.35

(ภาพประกอบ 3-25) หากค่าร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้มีค่าต่ำจะส่งผลให้พลังงานจลน์มีค่าสูงและปริมาณดินที่การแตกกระจายด้วยฝนจะมีมากขึ้นด้วย



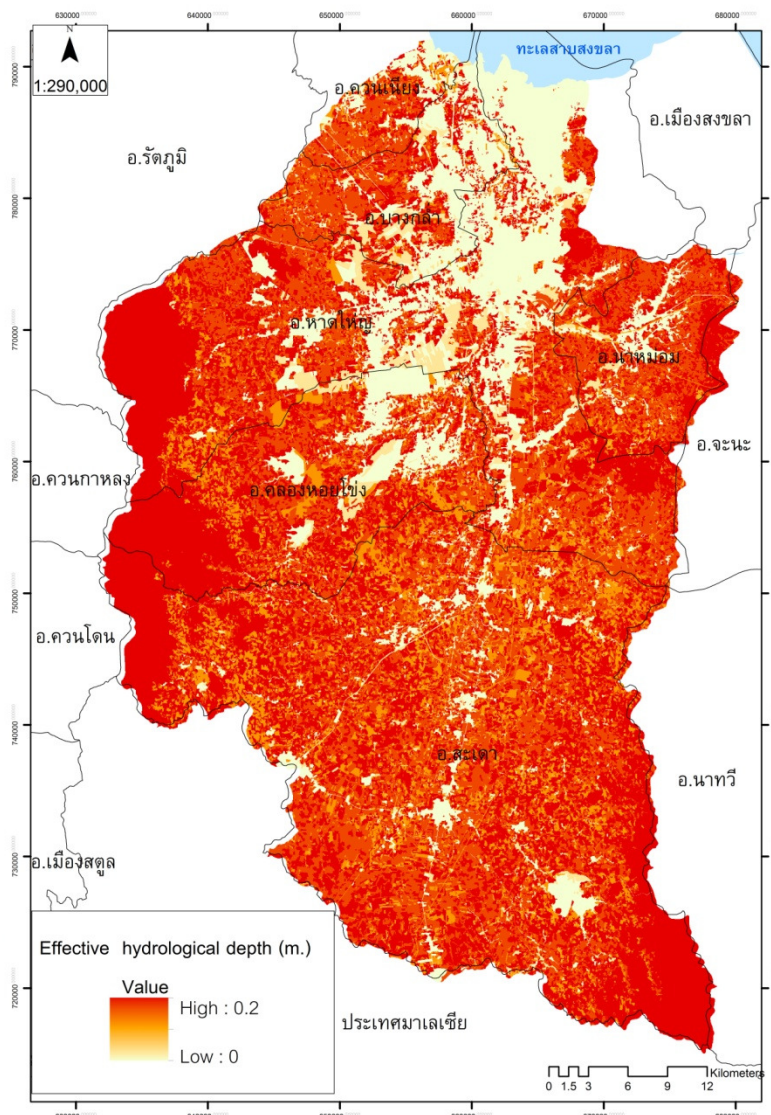
ภาพประกอบ 3-25 ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (Rainfall interception)

อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (Actual to potential evapotranspiration ratio) เป็นค่าตัวแปรที่มาจาก การตรวจเอกสารและอ้างอิงกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตาราง 3-8) จากการศึกษพบว่า อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุดในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีค่า 0-0.95 (ภาพประกอบ 3-26) พื้นที่ที่มีอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุดมาก หมายถึงพืชในพื้นที่นั้นสามารถดึงน้ำไปใช้ได้มาก ย่อมส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลบ่าลดลง



ภาพประกอบ 3-26 อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (Actual to potential evapotranspiration ratio)

ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth) เป็นปริมาณน้ำในดินที่รากพืชสามารถดึงไปใช้ได้ โดยในการศึกษานี้ นำมาจากค่าการตรวจเอกสารที่อ้างอิงกับพืชที่ปลูกและการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตาราง 3-8) ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา โดยความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้มีค่า 0-0.25 เมตร (ภาพประกอบ 3-27) พื้นที่ที่มีความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ ย่อมส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลบ่าลดลง



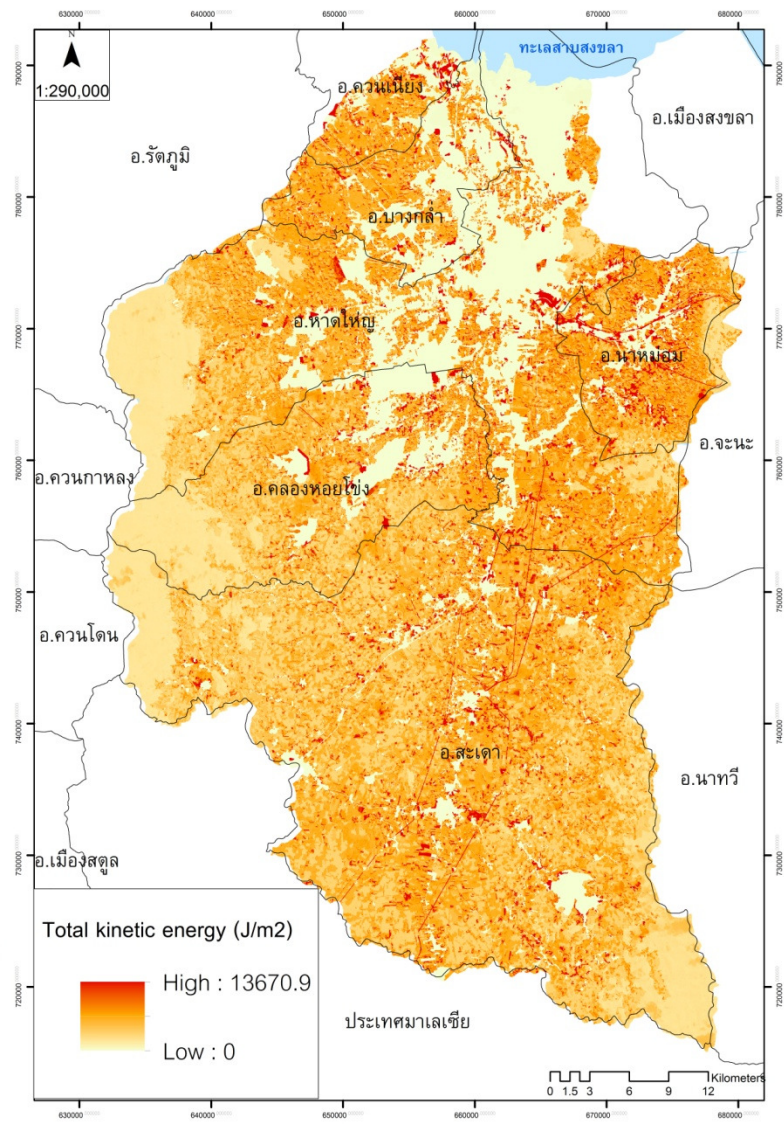
ภาพประกอบ 3-27 ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth)

### 3.5 การประเมินการกร่อนโดยแบบจำลอง RMMF ในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

การศึกษาการกร่อนของดินโดยแบบจำลอง RMMF ประกอบด้วย 15 ตัวแปร โดยพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยต่อระดับความรุนแรงของการกร่อนดินจาก 2 กระบวนการได้แก่ กระบวนการแตกกระจายอนุภาคดิน (Soil particle detachment) และกระบวนการอนุภาคดินที่ถูกพัดพา (Soil transport) เริ่มจากการหาค่าพลังงานรวมจากฝน ปริมาณน้ำไหลบ่า ปริมาณดินที่ถูกกร่อนเปรียบเทียบกับปริมาณดินที่ถูกพัดพาโดยน้ำที่ไหลบ่า เพื่อหาปริมาณการสูญุดินในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ผลการประเมินปัจจัยของแบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำสามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

### 3.5.1. ค่าพลังงานรวม

กระบวนการหาค่าพลังงานรวม (Total kinetic energy of rainfall) ได้ผลลัพธ์เป็นพลังงานจลน์ที่ก่อให้เกิดแรงกระทำกับผิวดิน (Surface) โดยพลังงานรวม มาจากการวิเคราะห์พลังงานจลน์ 2 ส่วน ได้แก่ พลังงานจลน์ฝนจากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ (Kinetic energy of leaf drainage) เป็นพลังงานจลน์จากน้ำฝนที่เกิดการปะทะกับผิวใบก่อนที่จะไหลลงมาปะทะผิวดิน และพลังงานจลน์ของฝนโดยตรง (Kinetic energy of direct thought fall) เป็นพลังงานจลน์จากน้ำฝนที่มีแรงปะทะกับผิวดินโดยตรง



ภาพประกอบ 3-28 พลังงานจลน์รวม (Total kinetic energy) ในลุ่มน้ำคลองอุตู่ตะเภา

พลังงานจลน์ฝนจากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากใบ ใช้ค่าปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0-619.70 มิลลิเมตรและปริมาณน้ำฝนที่เหลือจากพืชซึบซับไว้ (Interception) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 เพื่อประเมินปริมาณน้ำฝนที่ตกกระทบบนสิ่งปกคลุม/ใบก่อนไหลลงสู่พื้นดิน

พลังงานจลน์ฝนจากปริมาณน้ำที่มีแรงปะทะกับผิวดินโดยตรง ใช้ปริมาณฝนใช้การที่เหลือจากส่วนที่ปะทะใบพืช หรือเป็นปริมาณฝนที่ตกกระทบ (Direct thought fall) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0-568.15 มิลลิเมตร และความเข้มข้นของฝน (Rainfall intensity) ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าความเข้มข้นของฝนเท่ากับ 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมในเขตเส้นศูนย์สูตร (Morgan, 2001)

จากการศึกษานี้ พบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภามีค่าพลังงานรวม (Total kinetic energy) อยู่ในช่วง 0.0-13,670.90 จูลต่อตารางเมตร (ภาพประกอบ 3-28)

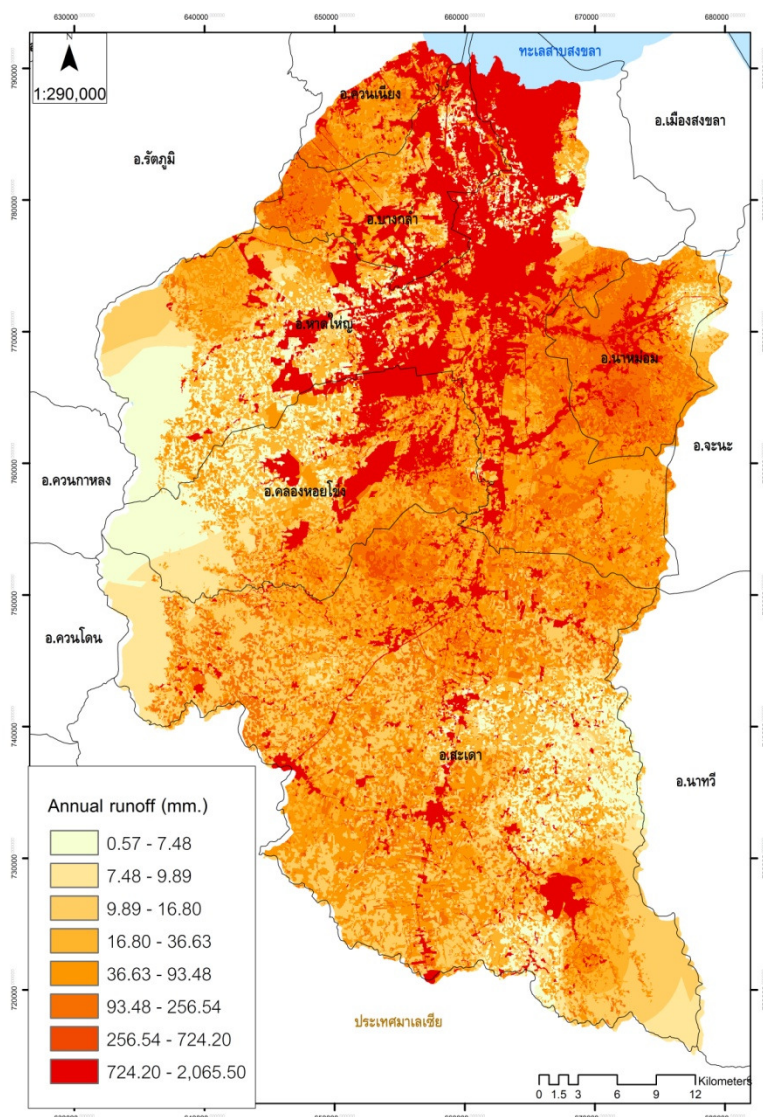
ในพื้นที่ลุ่มน้ำทางทิศตะวันตกและทิศใต้เป็นที่ลาดเชิงซ้อนมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ป่า มีค่าพลังงานรวมอยู่ในช่วง 73.13-1,105.87 จูลต่อตารางเมตร เป็นพื้นที่ที่มีช่วงของค่าพลังงานรวมน้อย เนื่องจากฝนใช้การส่วนใหญ่ถูกยึด (Interception) ไว้ด้วยเรือนยอด แต่พื้นที่ดินเปล่ามีค่าพลังงานรวมที่สูงโดยอยู่ในช่วง 0.0 – 12,649.50 จูลต่อตารางเมตร ซึ่งพลังงานรวมในพื้นที่ดินเปล่ามาจากพลังงานจลน์ฝนจากปริมาณน้ำที่มีแรงปะทะกับผิวดินโดยตรง เนื่องจากไม่มีพืชปกคลุม

ส่วนในพื้นที่ยางพาราในทุกช่วงอายุที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินกระจายอยู่ทางทิศตะวันตก ทิศตะวันออกและตอนกลางถึงทิศใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำในส่วนของลาดะพักลำน้ำระดับต่ำ กลางถึงสูง และบางส่วนของที่ลาดเชิงซ้อนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเรือนยอด โดยที่พื้นที่ยางพาราอายุมากมีผลลัพท์ค่าพลังงานรวมน้อย ซึ่งยางพาราอายุน้อยสุด (0-7 ปี) มีค่าพลังงานรวมมากที่สุด โดยอยู่ในช่วง 16.47 – 7,970.82 จูลต่อตารางเมตร และจะลดน้อยลงเรื่อยๆ ตามช่วงอายุยาง โดยที่ในพื้นที่ยางพาราอายุ 7-10 ปี 10-20 ปี และมากกว่า 20 ปี มีค่าพลังงานรวมอยู่ในช่วง 32.83-6,421.60 44.09-4,325.03 55.32-2,693.23 จูลต่อตารางเมตร ตามลำดับ

### 3.5.2 ปริมาณน้ำที่เกิดการไหลป่า (Runoff)

ปริมาณน้ำที่เกิดการไหลป่าเป็นปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดินก่อนกลายเป็นน้ำท่า ประเมินจากอิทธิพลของปริมาณน้ำฝน จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ย (Mean rainy days) และความจุความชื้นของดิน ซึ่งเป็นผลของคุณสมบัติต่างๆ ของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) กับความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (Soil moisture content at field capacity) อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (Ratio of actual to potential evapotranspiration) และความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth)

ผลการประเมินปริมาณน้ำไหลบ่าในพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาปริมาณน้ำที่เกิดการไหลบ่าอยู่ในช่วง 0.05-3453.43 ลูกบาศก์เมตร (ภาพประกอบ 3-29) ซึ่งมาจากปริมาณฝนเฉลี่ยต่อวันและปริมาณน้ำฝนที่คืนที่ดินที่สามารถซับไว้ได้เป็นความสามารถในการเก็บกักความชื้นในดิน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-103.59 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 3-29 ปริมาณไหลบ่า (Annual runoff) ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

หากพิจารณาตามการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก พบว่า ในพื้นที่ป่ามีแนวโน้มปริมาณการไหลบ่า น้อยที่สุด โดยเมื่อจำแนกตามค่าความลาดชัน ปริมาณน้ำไหลบ่าของทุกค่าความลาดชันอยู่ในช่วง



10-12 มิลลิเมตร โดยพื้นที่ที่มีความลาดชัน 0-2 2-5 5-12 12-20 20-35 และ >35 % มีปริมาณไหลบ่าเท่ากับ 10.55 11.00 10.74 10.60 11.00 และ 11.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ในพื้นที่ปลูกยางพาราอายุมากกว่า 20 ปี มีแนวโน้มปริมาณการไหลบ่าน้อย โดยเมื่อจำแนกตามค่าความลาดชัน ปริมาณน้ำไหลบ่าของทุกค่าความลาดชันอยู่ในช่วง 10-12 มิลลิเมตร โดยพื้นที่ที่มีความลาดชัน 0-2 2-5 5-12 12-20 20-35 และ >35 % มีปริมาณไหลบ่าเท่ากับ 16.90 17.73 19.16 20.72 22.32 และ 24.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ในพื้นที่ปลูกยางพาราอายุ 10-20 ปี เมื่อจำแนกตามค่าความลาดชัน ปริมาณน้ำไหลบ่าของทุกค่าความลาดชันอยู่ในช่วง 55-85 มิลลิเมตร โดยพื้นที่ที่มีความลาดชัน 0-2 2-5 5-12 12-20 20-35 และ >35 % มีปริมาณไหลบ่าเท่ากับ 56.10 57.41 62.69 72.81 80.06 และ 82.46 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ในพื้นที่ปลูกยางพาราอายุ 7-10 ปี มีเมื่อจำแนกตามค่าความลาดชัน ปริมาณน้ำไหลบ่าของทุกค่าความลาดชันอยู่ในช่วง 120-129 มิลลิเมตร โดยพื้นที่ที่มีความลาดชัน 0-2 2-5 5-12 12-20 20-35 และ >35 % มีปริมาณไหลบ่าเท่ากับ 120.10 128.09 126.19 122.23 122.75 และ 123.32 มิลลิเมตร ตามลำดับ

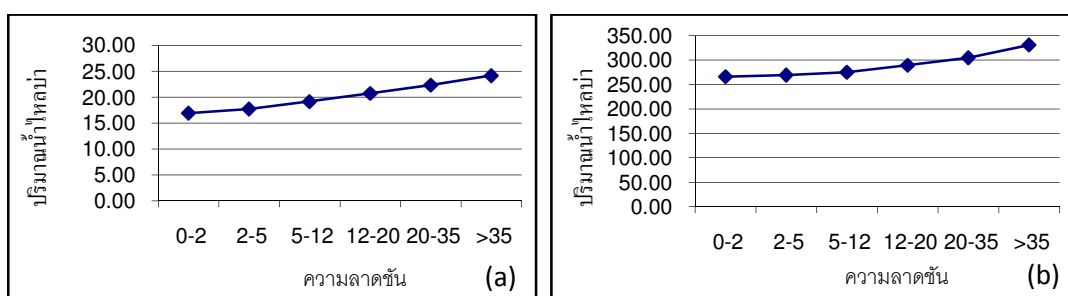
พื้นที่ปลูกยางพาราอายุ 0-7 ปี มีแนวโน้มปริมาณการไหลบ่ามาก โดยเมื่อจำแนกตามค่าความลาดชัน ปริมาณน้ำไหลบ่ามีค่าความลาดชันอยู่ในช่วง 250-335 มิลลิเมตร โดยพื้นที่ที่มีความลาดชัน 0-2 2-5 5-12 12-20 20-35 และ >35 % มีปริมาณไหลบ่าเท่ากับ 265.90 269.28 274.89 289.30 304.80 และ 331.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักใน 6 ช่วงความลาดชัน พบว่า ในพื้นที่การใช้ประโยชน์เดียวกัน ค่าปริมาณน้ำไหลบ่ามีแนวโน้มสูงขึ้นตามความลาดชัน ในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดเดียวกัน ซึ่งในทุกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีแนวโน้มปริมาณน้ำไหลบ่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความลาดชัน

ในพื้นที่ที่มีความลาดชันเท่ากันพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมดินมากส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลบ่าลดน้อยลง ถึงแม้พื้นที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดเดียวกัน แต่ความสามารถของการน้ำซึบน้ำและสิ่งปกคลุมดินต่างกันย่อมส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลบ่า

เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ปลูกยางพาราอายุมากกว่า 20 ปี กับพื้นที่ปลูกยางพาราอายุ 0-7 ปี พบว่า ในพื้นที่ที่มีความลาดชันเท่ากัน พื้นที่ปลูกยางพาราอายุมากกว่า 20 ปีมีปริมาณไหลบ่ามีค่าน้อยกว่าพื้นที่ปลูกยางพาราอายุ 0-7 ปี (ภาพประกอบ 3-30) ถึงแม้พื้นที่ปลูกยางพาราอายุมากกว่า 20 ปีที่มีค่า

ความชันสูง (>35%) มีปริมาณน้ำไหลบ่าเท่ากับ 24.16 มิลลิเมตร ก็ยังมีปริมาณไหลบ่าน้อยกว่าพื้นที่ปลูกยางพาราอายุ 0-7 ปีที่มีค่าความชันน้อย (0-2%) ที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าเท่ากับ 265.90 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ปลูกยางพาราอายุมากกว่า 20 ปีมีสิ่งปกคลุมดิน และรากพืชสามารถนำน้ำในดินไปใช้ได้มากกว่าจึงส่งผลให้พืชสามารถกักเก็บน้ำในดินได้มาก จึงส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลบ่าไหลจะชะลอการไหลและมีเวลาให้ดินตกตะกอนส่งผลต่อการกร่อนให้ช้าลง



ภาพประกอบ 3-30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไหลบ่าของพื้นที่ปลูกยางพาราอายุมากกว่า 20 ปี (a) และยางพาราอายุ 0-7 ปี (b) โดยจำแนกตามระดับความลาดชัน

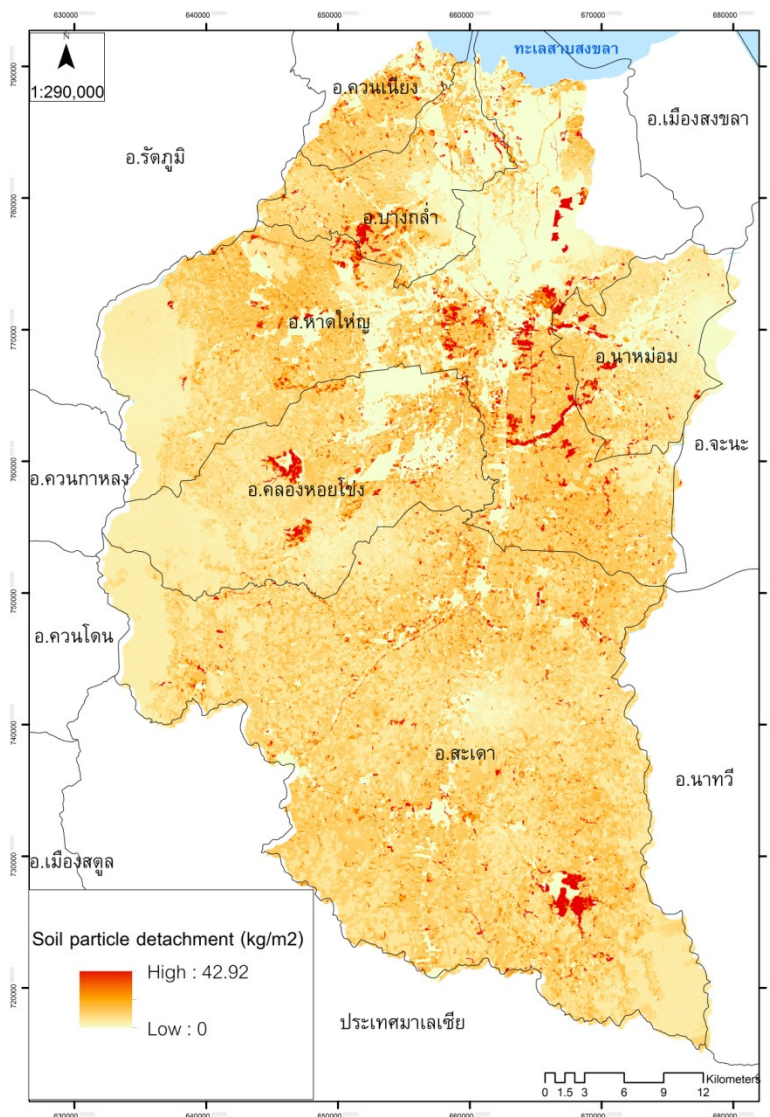
### 3.5.3 การประเมินปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายโดยน้ำฝนและน้ำไหลบ่า (Soil particle detachment)

ปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายในการศึกษานี้ได้พิจารณาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การพิจารณาการแตกกระจายของดินเนื่องจากน้ำฝน และการแตกกระจายของดินเนื่องจากน้ำไหลบ่า โดยการคำนวณอนุภาคดินที่แตกกระจายของดินเนื่องจากน้ำฝนได้คำนวณจากพลังงานจลน์รวมของฝน ค่าการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (Soil erodibility) จากการศึกษาพบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายด้วยน้ำฝนมีค่า 0-7.95 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

อนุภาคดินที่แตกกระจายของดินเนื่องจากน้ำไหลบ่าได้จากปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน ความลาดชัน ค่าร้อยละการปกคลุมของพืช (Ground cover) และค่าความต้านทานดิน (Soil resistance) โดยในแบบจำลองนี้พิจารณาถึงน้ำไหลบ่าจะเกิดขึ้นหากไม่มีการปกป้องของพืชคลุมดิน จากการศึกษาพบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายด้วยน้ำไหลบ่ามีค่า 0-42.92 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

อนุภาคดินรวมที่แตกกระจายได้จากการรวมกันของปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายโดยน้ำฝนและปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระจายโดยน้ำไหลบ่า จากการศึกษาพบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่

ตะเภาที่มีปริมาณอนุภาคดินรวมที่แตกกระจายมีค่า 0-42.92 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ดังภาพประกอบ 3-31



ภาพประกอบ 3-31 ปริมาณดินที่แตกกระจาย (Soil particle detachment) ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

ในพื้นที่ลุ่มน้ำทางทิศตะวันตกและทิศใต้เป็นที่ลาดเชิงชันมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ป่า มีค่าปริมาณดินที่แตกกระจาย (Soil particle detachment) เท่ากับ 0.00-0.84 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เป็นพื้นที่ที่มีเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณดินแตกกระจายน้อย เนื่องจากมีเรือนยอดที่หนาแน่นและสิ่งปกคลุมดินสูง ทำให้ช่วยลดแรงปะทะผิวดินจากฝนโดยตรง และการไหลบ่า

ส่วนในพื้นที่บางพาราในทุกช่วงอายุที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินกระจายอยู่ทางทิศตะวันตก ทิศตะวันออกและตอนกลางถึงทิศใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำในส่วนของลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ กลางถึง

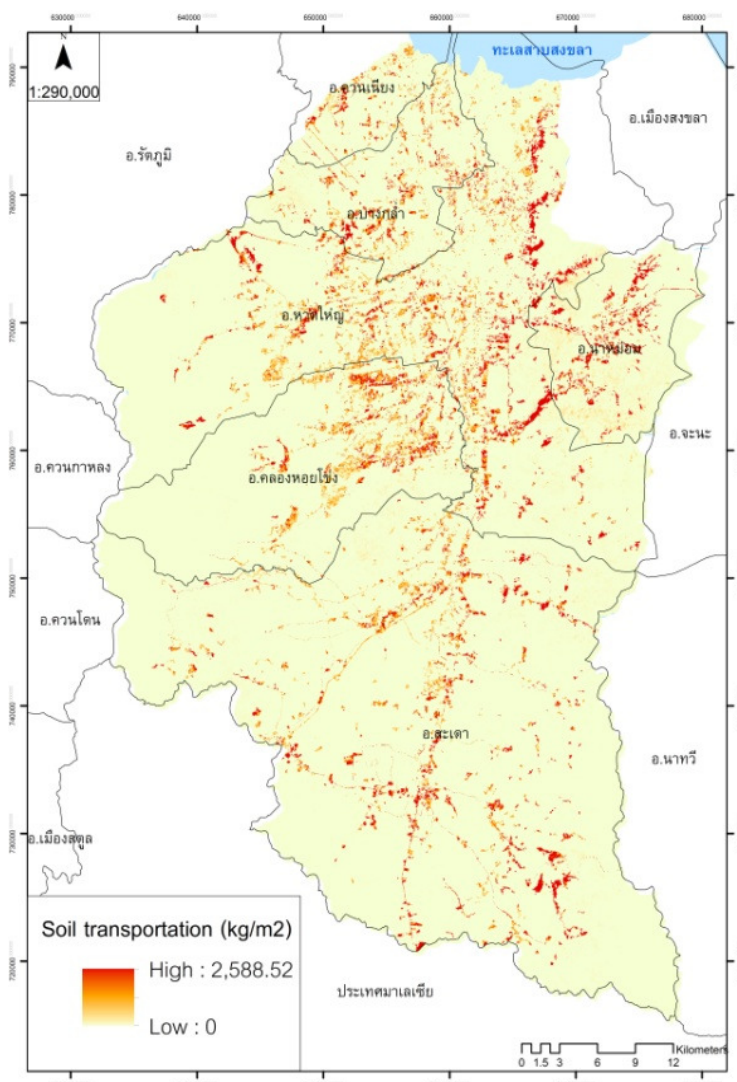
สูง และบางส่วนของที่ลาดเชิงชันมีปริมาณดินที่แตกกระจายขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเรือนยอด หากพื้นที่ยางพารามีอายุมากปริมาณดินที่แตกกระจายมีค่าน้อย ซึ่งยางพาราอายุน้อยสุด (0-7 ปี) มีค่าปริมาณดินที่แตกกระจายอยู่ในช่วง 0.01-6.59 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และจะลดน้อยลงเรื่อยๆ ตามช่วงอายุยาง โดยที่ในพื้นที่ยางพาราอายุ 7-10 ปี 10-20 ปี และมากกว่า 20 ปี มีปริมาณดินที่แตกกระจายอยู่ในช่วง 0.00-0.58 0.01-3.41 และ 0.00-2.03 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ

#### 3.5.4 การประเมินปริมาณดินที่ถูกพัดพา (Soil transportation)

การวิเคราะห์ปริมาณดินที่ถูกพัดพาโดยน้ำที่ไหลบ่า เป็นการวิเคราะห์จากปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Annual runoff) และปัจจัยการปกคลุมของพืช (Crop cover factor) เป็นส่วนที่ช่วยลดปริมาณดินที่ถูกพัดพาตามความลาดชันของภูมิประเทศ (Slope gradient) จากการศึกษาพบว่า ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาปริมาณดินที่ถูกพัดพา (Soil transportation) เท่ากับ 0.58-2,065.50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (ภาพประกอบ 3-32)

ในพื้นที่ลุ่มน้ำทางทิศตะวันตกและทิศใต้เป็นที่ลาดเชิงชันมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ป่า มีค่าปริมาณดินที่ถูกพัดพาอยู่ในช่วง 0-3.05 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ถึงแม้พื้นที่ป่าส่วนใหญ่อยู่บนพื้นที่เนินเขา (Slope>20%) แต่พื้นที่ที่มีปริมาณดินที่ถูกพัดพาน้อย เนื่องจากมีปริมาณไหลบ่าน้อยทำให้ความสามารถพัดพาอนุภาคดินของน้ำลดน้อยลง

ส่วนในพื้นที่ยางพารา พบว่า ยางพาราอายุน้อยสุด (0-7 ปี) มีปริมาณดินที่ถูกพัดพา (Soil transportation) โดยอยู่ในช่วง 0.14-26.41 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และจะลดน้อยลงเรื่อยๆ ตามช่วงอายุยาง โดยที่ในพื้นที่ยางพาราอายุ 7-10 ปี 10-20 ปี และมากกว่า 20 ปี มีปริมาณดินที่ถูกพัดพาอยู่ในช่วง 0.12-17.16 0.04-11.85 และ 0.01-7.80 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ

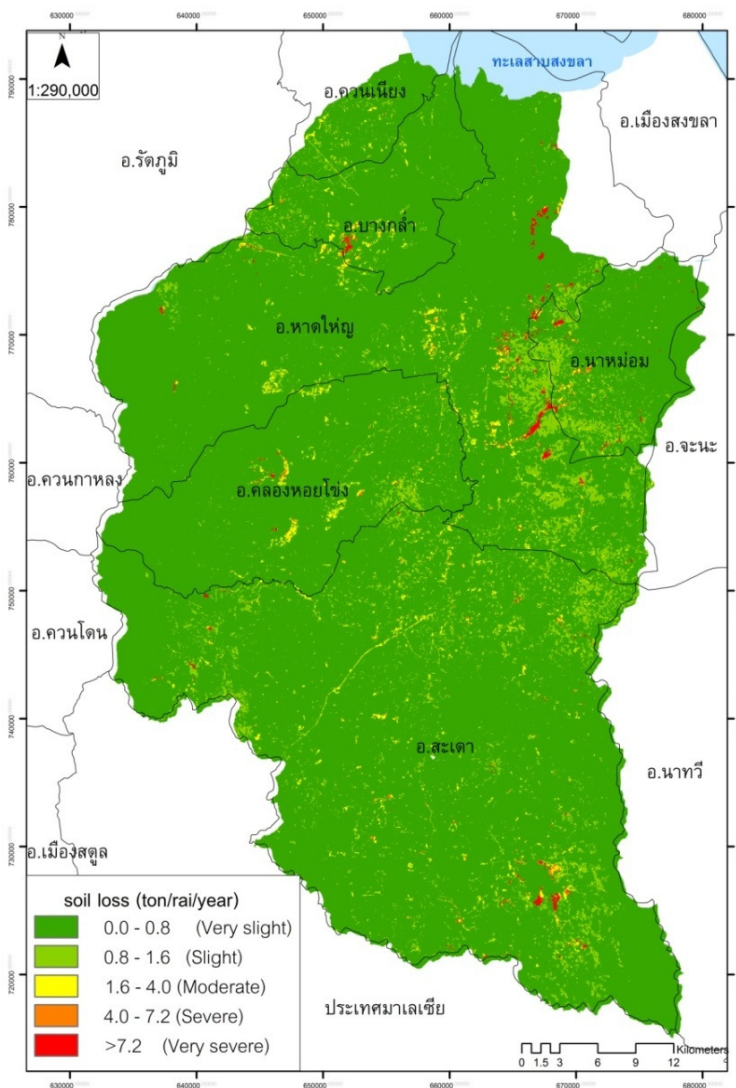


ภาพประกอบ 3-32 ปริมาณดินที่ถูกพัดพา (Soil transportation) ในลุ่มน้ำคลองอุตะเกาะ

### 3.5.5. ปริมาณการสูญเสียดิน (Soil loss)

ผลการประเมินปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมดในพื้นที่ลุ่มคลองอุตะเกาะเท่ากับ 801,677 ตันต่อปี (ภาพประกอบ 3-33) โดยพบว่าพื้นที่ยางพารามีปริมาณสูญเสียดินมากที่สุดเท่ากับ 503,286 ตันต่อปี หรือร้อยละ 62.78 ของปริมาณสูญเสียดินทั้งหมด รองลงมาได้แก่พื้นที่ว่างเปล่ามีปริมาณสูญเสียดินเท่ากับ 256,047 ตันต่อปี หรือร้อยละ 31.94 ของปริมาณสูญเสียดินทั้งหมด ในพื้นที่ยางพาราปริมาณการสูญเสียดินที่สูง พบในยางพาราช่วงอายุ 7-10 ปี และอายุ 10-20 ปี ปริมาณการสูญเสียดิน เท่ากับ 232,365 และ 184,910 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 28.98 และ 23.07 ของปริมาณสูญเสียดิน ตามลำดับ (ตาราง 3-9) พื้นที่ดินว่างเปล่ามีปริมาณสูญเสียดินค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปกคลุมผิว

ดิน ทำให้มีการไหลบ่า กัดเซาะผิวดินและพัดพาอนุภาคดินของน้ำได้สูงกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอื่น



ภาพประกอบ 3-33 ปริมาณการสูญเสียดินในลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา

ตาราง 3-9 ปริมาณการสูญเสียดินในลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ปริมาณการสูญเสียดิน	
	ตันต่อปี	ร้อยละ
ดินว่างเปล่า	256,047	31.94
ป่า	11,835	1.48
พื้นที่หญ้ารกร้าง	315	0.04
พื้นที่ลุ่ม	154	0.02

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ปริมาณการสูญเสียดิน	
	ตันต่อปี	ร้อยละ
สวนผลไม้	14,871	1.86
นา	2,098	0.26
ป่าล้ม	13,071	1.63
ยางพารา	503,286	62.78
- อายุ 0-7 ปี	55,373	6.91
- อายุ 7-10 ปี	184,910	23.07
- อายุ 10-20 ปี	232,365	28.98
- อายุ >20 ปี	30,638	3.82
รวม	801,677	100.00

ระดับความรุนแรงการสูญเสียดินตามเกณฑ์การจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า พื้นที่ร้อยละ 97.33 (1,442,990 ไร่) ของลุ่มน้ำมีการสูญเสียดินน้อยมากในระดับ 0-2 ตันต่อไร่ต่อปี และพื้นที่ร้อยละ 1.88 (27,800 ไร่) มีการสูญเสียดินในระดับต่ำ หรือน้อยกว่า 2-5 ตันต่อไร่ต่อปี (ตาราง 3-10) อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับระดับความรุนแรงการสูญเสียดินตามเกณฑ์การจำแนกของ Morgan (1995) พบว่า พื้นที่มากกว่า ร้อยละ 95 มีระดับการสูญเสียดินน้อยมาก-น้อย โดยร้อยละ 65.36 (968,996 ไร่) ของลุ่มน้ำมีระดับการสูญเสียดินน้อยมาก (0-0.8 ตันต่อไร่ต่อปี) และในระดับรุนแรงน้อย (0.8-1.6 ตันต่อไร่ต่อปี) มีพื้นที่ 448,321 หรือ ร้อยละ 30.24 (ตาราง 3-11)

ตาราง 3-10 ระดับความรุนแรงของการสูญเสียดินในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ตามเกณฑ์การจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน

ระดับความรุนแรงการสูญเสีย	ตัน/ไร่/ปี	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
น้อยมาก (Very slight)	0-2	1,442,990	97.33
น้อย (Slight)	2-5	27,800	1.88
ปานกลาง (Moderate)	5-10	8,688	0.59
รุนแรง (Severe)	10-20	1,090	0.07
รุนแรงมาก (Very severe)	>20	2,048	0.14
รวม		1,482,614	100.00

ตาราง 3-11 ระดับความรุนแรงของการสูญเสียดินในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ตามเกณฑ์การจำแนกของ

Morgan (1995)

ระดับความรุนแรงการสูญ	ตัน/ไร่/ปี	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
น้อยมาก (Very slight)	0-0.8	968,996	65.36
น้อย (Slight)	0.8-1.6	448,321	30.24
ปานกลาง (Moderate)	1.6-4.0	48,968	3.30
รุนแรง (Severe)	4.0-7.2	8,971	0.61
รุนแรงมาก (Very severe)	>7.2	7,359	0.50
รวม		1,482,614	100.00

พื้นที่ป่ามีปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมด 11,835 ตันต่อปี ค่าเฉลี่ยอัตราการสูญเสียดินใน ระดับความลาดชันต่างๆ อยู่ในช่วง 0.03 -0.04 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี โดยพบว่าการสูญเสียดินส่วน ใหญ่ (ร้อยละ 74.79) เกิดในพื้นที่ความลาดชันสูงๆ ที่ 20-35 และ > 35% มีการสูญเสียดินถึงร้อยละ 33.35 และ 41.44 ของปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ป่าไม้ ตาราง 3-12

ตาราง 3-12 ค่าต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ป่าไม้ (กก./ไร่/ปี)

Slope	Min	Max	Mean	Std	Sum	%
0-2	0.00	0.85	0.03	0.04	49.66	0.42
2-5	0.00	0.82	0.03	0.05	225.97	1.91
5-12	0.00	1.17	0.03	0.05	1011.41	8.53
12-20	0.00	1.18	0.04	0.05	1,701.95	14.36
20-35	0.00	1.20	0.04	0.05	3,952.85	33.35
>35	0.00	1.21	0.04	0.05	4,911.42	41.44
รวม					11,853	100.00



อัตราการสลายการสูญเสียดินในพื้นที่ยางพาราในระดับความลาดชันต่างๆ เพิ่มขึ้นตามความลาดชันของพื้นที่ จากอัตรา 2.08 ต้นต่อไร่ต่อปี ในพื้นที่ราบถึง 3.84 ต้นต่อไร่ต่อปี ในพื้นที่ลาดชันมากกว่า 35% แต่อัตราการสลายการสูญเสียดินจะลดลงเมื่อตามอายุยางที่เพิ่มขึ้น จากอัตรา 8.82 ในยางอายุ < 7 ปี เหลือเพียง 0.33 ต้นต่อไร่ต่อปี ในพื้นที่ยางอายุ > 20 ปี (ตาราง 3-13) ทั้งนี้เนื่องจากยางแก่มีทรงพุ่มที่ปกคลุมดินที่หนาแน่น ทำให้ปริมาณน้ำไหลบ่าลดน้อยลง และเพิ่มอัตราการเก็บกักน้ำในดินให้สูงขึ้น (Monton, 2008)

ตาราง 3-13 ค่าเฉลี่ยของปริมาณการสูญเสียดินในแต่ละพื้นที่ความลาดชันและอายุของยางพารา (ต้น/ไร่/ปี)

อายุยางพารา	Slope (%)						รวม
	0-2	2-5	5-12	12-20	20-35	>35	
< 7 ปี	1.20	1.20	1.30	1.52	1.73	1.87	8.82
7 - 10 ปี	0.21	0.22	0.29	0.53	0.74	0.82	2.80
10-20 ปี	0.66	0.68	0.74	0.91	1.01	1.06	5.05
> 20 ปี	0.02	0.02	0.03	0.07	0.09	0.10	0.33
รวม	2.08	2.13	2.35	3.03	3.56	3.84	

ปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมดในพื้นที่ยางพารา เท่ากับ 503,286 ต้นต่อไร่ต่อปี เมื่อจำแนกตามความลาดชัน พบว่า ปริมาณการสูญเสียดินส่วนใหญ่ (ร้อยละ 57.87) เกิดในพื้นที่ลาดชัน 2-5% และ 5-12% ถึงร้อยละ 22.18 และ 35.69 ตามลำดับ และเมื่อจำแนกตามอายุของยางพารา พบว่า ปริมาณการสูญเสียดินส่วนใหญ่ (ร้อยละ 82.91) เกิดในพื้นที่ยางอายุในช่วง 7-10 ปี และ 10-20 ปี เท่ากับ ร้อยละ 36.74 และ 46.17 ตามลำดับ ตาราง 3-14

ตาราง 3-14 ปริมาณการสูญเสียดินในแต่ละพื้นที่ความลาดชันและอายุของยาพารา (ตัน/ปี)

ยาพารา	Slope (%)						Total	%
	0-2	2-5	5-12	12-20	20-35	>35		
< 7 ปี	5,953	16,782	23,536	4,769	2,874	1,459	55,373	11.00
7 - 10 ปี	13,956	41,738	65,913	24,434	24,471	14,396	184,909	36.74
10-20 ปี	15,435	48,181	80,535	33,041	35,990	19,183	232,366	46.17
> 20 ปี	1,501	4,945	9,657	5,187	6,007	3,343	30,638	6.09
Total	36,845	111,646	179,641	67,431	69,342	38,381	503,286	100.00
%	7.32	22.18	35.69	13.40	13.78	7.63	100.00	

### 3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ (Mapping accuracy) โดยใช้คอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion matrix) เป็นการนำข้อมูลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 13 ประเภท (ตาราง 3-15) ไปเทียบกับจุดตรวจสอบ (Training site) จำนวน 235 จุด (ภาคผนวก) เพื่อหาว่าข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินถูกต้องสอดคล้องกับความเป็นจริงเพียงใด จากตารางคอนฟิวชันเมทริกซ์ พบว่า ความถูกต้องรวม (Over mapping accuracy) ของแผนที่การใช้ที่ดินเท่ากับ ร้อยละ 88.08

เมื่อวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการจำแนกของแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า ความถูกต้องในการจำแนก (Mapping accuracy) การใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 70 โดยมีค่าความถูกต้องของการจำแนกน้อย เท่ากับร้อยละ 71 ในประเภทพื้นที่อื่นๆ (พื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่รกร้าง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่ลุ่ม) ซึ่งจากการจำแนกเป็นพื้นที่อื่นๆ เมื่อทำการตรวจสอบ พบว่า ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดอื่นๆ พบว่า ค่าความถูกต้องของการจำแนกสูงถึงร้อยละ 75

ตาราง 3-15 คอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion matrix) จากข้อมูลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินใน  
 กลุ่มน้ำคลองอุตะเกา

การใช้ ประโยชน์ที่ดิน											
	นาข้าว	ปาล์ม	พื้นที่ป่า	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา >20 ปี	สวนผลไม้	แหล่งน้ำ	อื่นๆ	รวม
นาข้าว	21									13	34
ปาล์ม		3									3
พื้นที่ป่า			31								31
ยางพารา 0-7 ปี				22	1		2				25
ยางพารา 7-10 ปี					24		2				26
ยางพารา 10-20 ปี											
ยางพารา >20 ปี				5		19					24
สวนผลไม้								2			2
แหล่งน้ำ									16	3	19
อื่นๆ				1							41
รวม	21	3	31	28	25	20	32	2	16	57	235

หมายเหตุ พื้นที่อื่นๆ คือ พื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่รกร้าง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่ลุ่ม

ส่วนในพื้นที่ป่า พบว่า ค่าความถูกต้องในการจำแนกของพื้นที่ป่ามีค่าความถูกต้อง เท่ากับ ร้อยละ 100 และค่าความถูกต้องในการจำแนกของพื้นที่ยางพาราอายุ 0-7 ปี ร้อยละ 78 รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ยางพาราอายุ 7-10 ปี 10-20 ปี และ >20 ปี, เท่ากับร้อยละ 95 ร้อยละ 96 และร้อยละ 87 ตามลำดับ

### 3.7 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง RMMF โดยพิจารณาถึงผลของแต่ละตัวแปรต่อการสูญเสียและการไหลป่า โดยใช้ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง RMMF โดยที่ค่า Base value เป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปร ค่า Low value และค่า High value เป็น  $\pm 10\%$

ของค่า Base value แสดงในตาราง 3-16 โดยผลลัพธ์ปริมาณการสูญุดิน และการไหลบ่า มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 14 และ 6 ตัวแปร ตามลำดับ

ตาราง 3-16 ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของแบบจำลอง (Sensitivity analysis)

Parameter	Low value	Base value	High value
annual rainfall	1,634.67	1,816.30	1,997.93
annual number of rainy day	124.20	138.00	151.80
bulk density	1.15	1.28	1.41
soil moisture at field capacity	0.24	0.27	0.30
effective hydrological depth	0.14	0.15	0.17
Et/Eo ratio	0.60	0.67	0.74
slope steepness	5.51	6.12	6.73
rainfall interception	0.14	0.16	0.18
canopy cover	0.72	0.80	0.88
ground cover	0.42	0.47	0.52
plant height	9.13	10.14	11.15
soil erodibility	0.59	0.66	0.73
surface cohesion	0.70	0.78	0.86
crop manage factor	0.43	0.48	0.53

โดยจำแนกระดับความอ่อนไหว (ALS) ออกเป็น ระดับสูง (Highly sensitivity) ปานกลาง (Moderately sensitivity) และต่ำ (Low sensitivity) เมื่อระดับค่า ALS ที่  $> 1.0$ ;  $0.5 - 1.0$  และ  $< 0.5$  ตามลำดับ (R.P.C.Morgan และ J.H. Duzant, 2008)

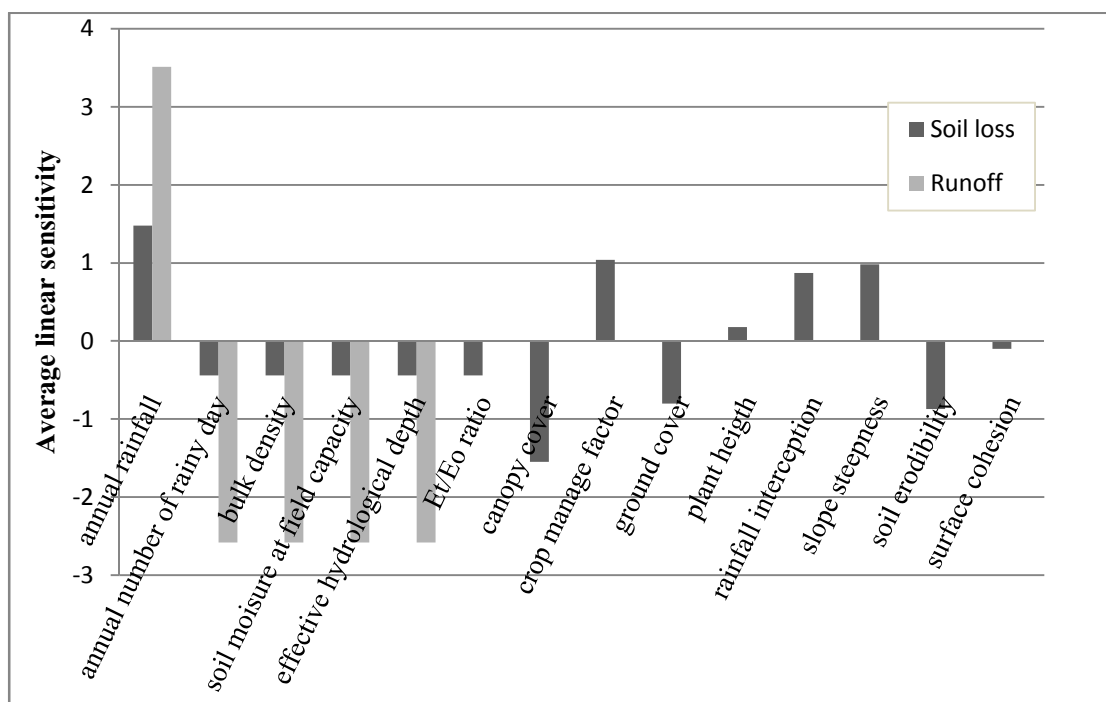
จากการศึกษา พบว่า (ภาพประกอบ 3-34) ตัวแปรหรือปัจจัยที่มีความอ่อนไหวสูงต่อปริมาณการสูญุดิน (ค่า ALS  $> 1$ ) ได้แก่ เรือนยอดปกคลุมดิน (Canopy cover) ปริมาณฝนรวม (Annual rainfall) และการปกคลุมของพืชพันธุ์ (C-factor) ซึ่งมีค่า ALS เท่ากับ 1.55 1.48 และ 1.04 ตามลำดับ

ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวปานกลาง ( $0.5 > \text{ค่า ALS} < 1$ ) ได้แก่ ความลาดชันมีค่า ALS เท่ากับ 0.98 ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (Soil erodibility) ที่มีค่าเท่ากับร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (Rainfall interception) ซึ่งมีค่า ALS เท่ากับ 0.87 และร้อยละสิ่งปกคลุมดิน

(Ground cover) ที่มีค่า ALS เท่ากับ 0.80 และ ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวน้อยต่อการสูญดินน้อย (ค่า ALS < 0.5) ได้แก่ จำนวนวันฝนตก (Annual number of rainy day) ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (Soil moisture at field capacity) ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth) และอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุดที่มีค่า ALS เท่ากันซึ่งเท่ากับ 0.44

ส่วนความสูงของพืช และค่าความเชื่อมแน่นของผิวดินเป็นตัวแปรที่มีความอ่อนไหวน้อยมาก โดยค่า ALS เท่ากับ 0.18 และ 0.10 ตามลำดับ

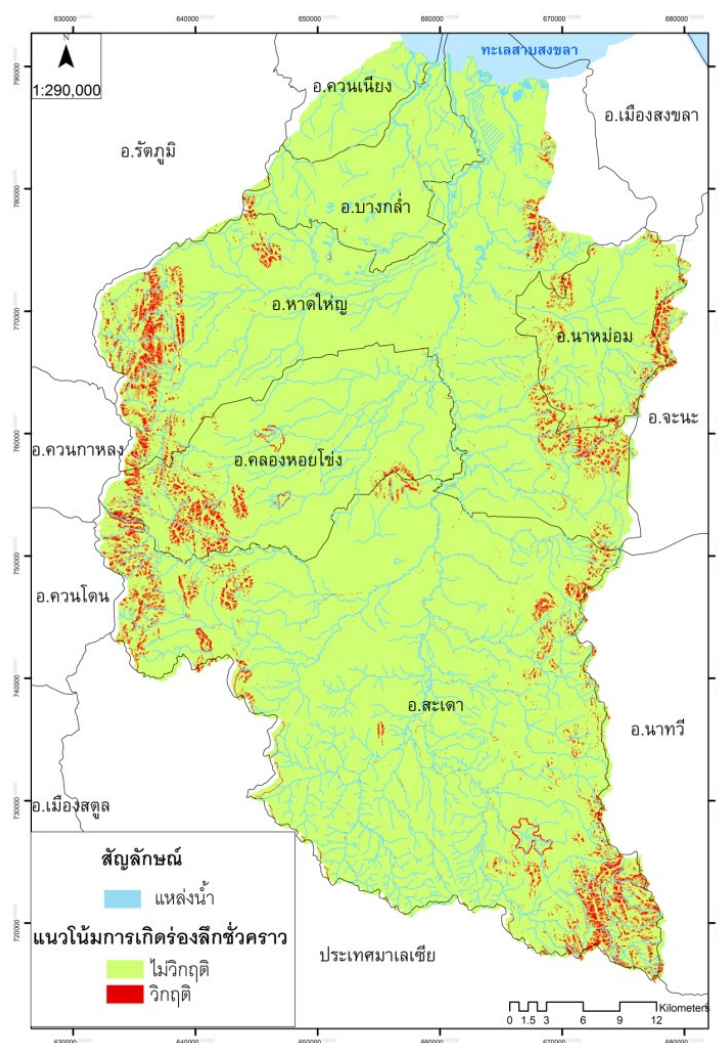
ส่วนปัจจัยที่มีความอ่อนไหวต่อปริมาณการไหลบ่า ที่สำคัญที่สุด ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (ค่า ALS เท่ากับ 3.51) และปัจจัยที่มีระดับสูงรองลงมาได้แก่ จำนวนวันที่ฝนตก และปัจจัยด้านคุณสมบัติต่างๆ ของดินที่เกี่ยวข้องกับการอุ้มน้ำของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (Soil moisture at field capacity) และ ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth) (ค่า ALS เท่ากับ -2.58)



ภาพประกอบ 3-34 ค่าระดับความอ่อนไหวของตัวแปรในแบบจำลอง RMMF พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาะโดยวิธี Average linear sensitivity.

### 3.8 พื้นที่วิกฤติที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการกร่อน (Critical zone)

ปัจจัยในการกำหนดพื้นที่เกิดการกร่อนร่องลึกชั่วคราวในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ได้แก่ ความลาดชัน พื้นที่รับน้ำ (Catchment area) และ Flow width พบว่า พื้นที่ 55,578.49 ไร่หรือร้อยละ 3.74 ของพื้นที่ทั้งหมดเท่านั้นที่เป็นพื้นที่วิกฤติที่มีแนวโน้มในการเกิดร่องลึกชั่วคราว ซึ่งเป็นพื้นที่เนินเขาที่อยู่ทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของพื้นที่ ดังภาพประกอบ 3-35



ภาพประกอบ 3-35 พื้นที่วิกฤติ (Critical zone) มีแนวโน้มในการเกิดร่องลึกชั่วคราวในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

เมื่อจำแนกตามการใช้ประโยชน์ที่ดินและความลาดชัน พบว่า พื้นที่ป่ามากที่สุดเท่ากับ 36,203.75 ไร่ หรือร้อยละ 67.55 ของพื้นที่วิกฤติทั้งหมด โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่ป่า 30,810.83 ไร่ หรือร้อยละ 85.10 ของพื้นที่ป่า เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชัน >35 % รองลงมาเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชัน 20-35 % และ 12-20 % โดยมีพื้นที่ร้อยละ 12.83 และ 1.79 ตามลำดับดังตาราง 3-18

ตาราง 3-17 พื้นที่วิกฤติ (Critical zone) ที่มีการใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่ป่าตามความลาดชัน

ความลาดชัน%	ไร่	ร้อยละ
2-5	0.39	0.00
5-12	100.31	0.28
12-20	648.11	1.79
20-35	4,644.12	12.83
>35	30,810.83	85.10
รวม	36,203.75	100.00

ตาราง 3-18 พื้นที่วิกฤติ (Critical zone) ที่มีการใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่ยางพาราตามความลาดชัน

ความลาดชัน (%)	พื้นที่ยางพารา (ไร่)					ร้อยละ
	อายุ >20	อายุ 10-20 ปี	อายุ 7-10 ปี	อายุ < 7 ปี	รวม	
2-5	26.76	7.92	17.58	0.92	53.19	0.32
5-12	439.80	152.57	347.86	23.17	963.40	5.79
12-20	306.64	115.31	188.97	8.01	618.92	3.72
20-35	1,223.72	480.67	804.30	30.90	2,539.58	15.27
>35	5,938.88	2,525.68	3,859.06	134.28	12,457.90	74.90
รวม	7,935.79	3,282.14	5,217.77	197.29	16,633.00	
ร้อยละ	47.71	19.73	31.37	1.19		100

พื้นที่วิกฤติที่ก่อให้เกิดการกร่อนแบบร่องลึกในพื้นที่ยางพารามีเพียง 16,633.00 ไร่ หรือ ร้อยละ 29.93 ของพื้นที่วิกฤติทั้งหมด โดยเมื่อจำแนกออกเป็นช่วงอายุต่างๆพบมากที่สุดในช่วงอายุ > 20 ปี เท่ากับ 7,935.79 ไร่ และพบในระดับความลาดชัน มากกว่า 35% เท่ากับ 12,457.90 ไร่ (ร้อยละ 74.90) รองลงมาเป็นพื้นที่ลาดชัน 20-35 % และ 12-20 % โดยมีพื้นที่ร้อยละ 15.27 และ 5.79 ตามลำดับดังตาราง 3-19



## บทที่ 4

### วิจารณ์ผล

#### 4.1 การกร่อนดิน

ผลการประเมินปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมดโดยแบบจำลอง RMMF ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาเท่ากับ 802,087.18 ตันต่อปี โดยมีพื้นที่ร้อยละ 97.33 (1,442,989.57 ไร่) ของลุ่มน้ำมีระดับการสูญเสียดินน้อยมาก (0-2 ตัน/ไร่/ปี, กรมพัฒนาที่ดิน) หรือ หากจำแนกตามเกณฑ์ของ Morgan (1995) พบว่า พื้นที่ร้อยละ 65.36 (968,995.97 ไร่) ของลุ่มน้ำมีการสูญเสียดินน้อยมาก (< 0-0.8 ตัน/ไร่/ปี) ระดับรุนแรงน้อย (0.8-1.6 ตัน/ไร่/ปี) และปานกลาง (1.6-4 ตัน/ไร่/ปี) มีพื้นที่ร้อยละ 30.24 และ 3.30 ตามลำดับ

ผลการประเมินที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนดินจากแบบจำลองต่างๆ ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (กิตติพงศ์, 2549) ซึ่งมีระดับการสูญเสียดินระดับน้อย (0-5 ตัน/ไร่/ปี) มีพื้นที่ในช่วงร้อยละ 87.4 - 96.6 สาเหตุหนึ่งที่พื้นที่ศึกษามีการสูญเสียดินในระดับต่ำ น่าจะเป็นเพราะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นสวนยางพารา (ร้อยละ 66.47) ที่มีเรือนยอดปกคลุมผิวดินสูง ซึ่งตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การสูญเสียดินมากจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ในพื้นที่ป่าไม้ พบว่า มีปริมาณการสูญเสียดินน้อยมาก เท่ากับ 11,853 ตัน/ไร่/ปี หรือร้อยละ 1.48 ของปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมด เทียบกับปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ยางพารา เท่ากับ 502696 ตัน/ปี หรือร้อยละ 56.77 ของปริมาณการสูญเสียดินทั้งหมด

ในพื้นที่ยางพารา พบว่า ปริมาณการสูญเสียดินกว่าครึ่ง (ร้อยละ 57.59 ของปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ยางพารา) เกิดในพื้นที่ลาดชันน้อย (2-5% และ 5-12%) และส่วนใหญ่ (ร้อยละ 82.91 ของปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ยางพารา) เกิดในพื้นที่ยางอายุในช่วง 7-10 ปี และ 10-20 ปี แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการพืชพรรณ (Crop-factor) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณการไหลบ่าของน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสีย พบว่า การไหลบ่าในพื้นที่ยาง

อายุ < 7 ปี จะมีอัตราสูงมาก เมื่อเทียบกับพื้นที่ยางแก่ (289.20 และ 20.17 มิลลิเมตร ตามลำดับ) และ อัตราการไหลบ่าในพื้นที่ส่วนยางก็สูงกว่าในพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งมีค่าเพียง 10.90 มิลลิเมตร ฉะนั้น ในพื้นที่ยางอายุ < 7 ปี ซึ่งพื้นที่ถึง 21,591 ไร่ อาจเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยเฉพาะในพื้นที่ลาดชันสูงๆ

#### 4.2 พื้นที่วิกฤติที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการกร่อน (Critical zone)

พื้นที่วิกฤติที่มีความเสี่ยงในการเกิดร่องลึกชั่วคราวมีพื้นที่ 55,579 ไร่ หรือ ร้อยละ 3.74 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ป่าไม้ที่มีความลาดชันสูงทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของพื้นที่ (ร้อยละ 67.55 ของพื้นที่วิกฤติทั้งหมด) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการประเมินจากแบบจำลอง RMMF พบว่า พื้นที่ป่าจะมีปริมาณการสูญเสียดิน และปริมาณการไหลบ่าไม่มากนัก แต่ถ้าหากมีการบุกรุกแล้วถางเพื่อใช้ในการปลูกยางพารา อาจจะทำให้มีผลกระทบที่รุนแรงจากการกร่อนแบบร่องลึกชั่วคราว การประเมินพื้นที่วิกฤติดังกล่าว จึงสามารถใช้ในการกำหนดพื้นที่ที่ต้องมีการจัดพื้นที่ อย่างถูกต้อง

#### 4.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

จากค่าวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผลกระทบมากต่อปริมาณการสูญเสียดิน พบว่า ปัจจัย Canopy cover ปริมาณฝนรวม และ C-factor ซึ่งมีค่า 1.55 1.48 และ 1.04 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Monton (2008) ในพื้นที่ลาดชันสูงในลุ่มน้ำขุน จ. เพชรบูรณ์ ส่วนปัจจัยที่มีผลมีผลกระทบมากต่อปริมาณการไหลบ่า ได้แก่ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี และปัจจัยด้านคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการอุ้มน้ำ ได้แก่ Bulk density, Soil moisture at field capacity และ Effective hydrological depth ซึ่งดินในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียดิน ส่วนใหญ่เป็นดินกรดที่ดอน (Acid upland soil) ซึ่งมีหน้าดินชั้น เนื้อดินค่อนข้างหยาบ และมีความจุในการอุ้มน้ำน้อย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) ฉะนั้นแม้จะมีการสูญเสียหน้าดินเพียงเล็กน้อย ก็อาจจะมีผลต่อผลิตภาพของดินได้มาก

ฉะนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบระดับความรุนแรงของการสูญเสียดิน ตามเกณฑ์การจำแนกโดยกรมพัฒนาที่ดิน และ เกณฑ์ Morgan (1995) (ตาราง 4-1) การจำแนกในระบบกรมพัฒนาที่ดินใช้แนวคิดด้านสมรรถนะของดิน ซึ่งเป็นการจำแนกศักยภาพของดินตามคุณสมบัติดั้งเดิมของดิน (Inherent quality) เช่น เนื้อดิน องค์ประกอบของแร่ในดิน ซึ่งกำหนดโดยปัจจัยการ

เกิดและวัตถุดิบกำเนิดของดิน คุณสมบัติเหล่านี้ใช้ในการกำหนดสมรรถนะในการใช้ (Soil capacity) และการจำแนกหน่วยแผนที่ดินในรายงานการสำรวจดิน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้ให้ความหมายของทรัพยากรดินกว้างขวางมากขึ้น โดยรวมไปถึงคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมและความหลากหลายทางชีวภาพ ความยั่งยืนของผลผลิต การการปนเปื้อนของสารพิษ และการทับถมของตะกอนในพื้นที่ตอนล่างของกลุ่มน้ำ โดยคำนึงถึงคุณภาพของดิน หรือ Soil health ซึ่งประกอบด้วยทั้งคุณภาพด้าน Inherent และ Dynamic quality ของดิน (Karlen *et al.*, 1997) ซึ่งมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการใช้ที่ดิน หรือการจัดการที่แตกต่างกันและส่งผลกระทบต่อระดับของผลผลิตหรือผลผลิตภาพของที่ดินได้ดีกว่า สมรรถนะดิน

ฉะนั้น การใช้เกณฑ์ปริมาณการสูญเสียดินของ Morgan (1995) เพื่อระบุระดับความรุนแรง และน่าจะสอดคล้องต่อผลกระทบ และเป็นแนวทางในการอนุรักษ์ จัดการด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินได้เหมาะสมกับสภาพในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ตาราง 4-1 เกณฑ์การจำแนกระดับความรุนแรงของการสูญเสียดิน (ตัน/ไร่/ปี)

ระดับความรุนแรงการสูญเสียดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	Morgan, 1995
น้อยมาก (Very slight)	0-2	0-0.8
น้อย (Slight)	2-5	0.8-1.6
ปานกลาง (Moderate)	5-10	1.6-4
รุนแรง (Severe)	10-20	4-7.2
รุนแรงมาก (Very severe)	>20	>7.2

#### 4.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองการสูญเสียดิน

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการกร่อนของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาจากแบบจำลอง ต่างๆ ก่อนข้างจะสอดคล้องกัน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของผลการศึกษา ส่วนใหญ่เนื่องจากแบบจำลอง ประเภทและคุณภาพมาตราส่วนของข้อมูลที่ใช้ที่แตกต่างกัน การศึกษาโดยแบบจำลอง Empirical model ในยุคแรกๆ มักจะใช้ประเภทข้อมูลในรูปแบบเวกเตอร์ ซึ่งมีระดับมาตราส่วนค่อนข้างหยาบ (1 : 50,000) ซึ่งไม่มีความผันแปรของข้อมูลในเชิงพื้นที่ตามสภาพการการใช้ที่ดิน และการจัดการในพื้นที่ที่แตกต่างกัน เช่น การกำหนดค่า C-factor

มักเป็นการอ้างอิงค่าตามประเภทการใช้ที่ดิน ซึ่งอยู่ในรูป Polygon พื้นที่ขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำส่วนใหญ่เป็นสวนยางพารา ก็จะมีค่า ดังกล่าวเท่ากันหมด นอกจากนี้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่กระทบต่อปริมาณการกร่อนของดิน ก็จะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดพื้นที่ศึกษา ซึ่งในอดีต มักจะมีข้อจำกัดในด้านข้อมูลดังกล่าว ที่มีจุดเก็บตัวอย่างค่อนข้างน้อย ในปัจจุบันได้มีข้อมูลในรูปแบบเรสเตอร์ที่มีรายละเอียดสูงขึ้น เช่น ข้อมูลความสูงของสภาพพื้นที่ DEM รายละเอียดที่ Cell size เท่ากับ 30 หรือ 2.5 เมตร สามารถวิเคราะห์ตัวแปรของลักษณะสภาพภูมิประเทศ ต่างๆ (Terrain analysis) เช่น ความลาดชัน ปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำ ระบบเครือข่ายการระบายน้ำ ได้ละเอียดถูกต้องกว่าการใช้เส้นชั้นความสูงในข้อมูลรูปแบบเวกเตอร์ ซึ่งมีระยะห่างขั้นต่ำถึง 20 เมตร

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

1. การศึกษาเพื่อประเมินการกร่อนดินโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ Revised Morgan, Morgan and Finney (RMMF) ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา โดยแบบจำลองเป็น Mixed process model ซึ่งคำนึงถึงกระบวนการที่เกี่ยวข้อง จะต่างกับแบบจำลองการประเมินการกร่อนที่ใช้กันส่วนใหญ่เป็นแบบ Empirical เช่น USLE RUSLE และการศึกษาครั้งนี้ได้มีการปรับข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลองให้มีความละเอียด สอดคล้องกับสภาพในพื้นที่ให้ชัดเจนขึ้น ได้แก่

- ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำ มีการเพิ่มจุดเก็บตัวอย่างที่มากขึ้นจำนวน 17 สถานี และทำการประมาณปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่โดยวิธี Kriging ซึ่งทำให้มีระดับความแตกต่างของระดับปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำสอดคล้องกับสภาพจริงได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับเทคนิควิธีอื่นๆ (พรนภา, 2552) ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่กำหนดปริมาณน้ำฝนจากเส้นชั้นน้ำฝน (Isohyet) เป็นขอบเขตของระดับของปริมาณน้ำฝนแทนการเก็บตัวอย่างจริงในพื้นที่

- ข้อมูลเนื้อดิน เป็นข้อมูลในการประเมินค่าความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน และความเชื่อมั่นของผิวดิน ได้จากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ทั้งหมด 79 ตัวอย่าง (กัญญณีจ, 2549) ซึ่งมีความละเอียดมากกว่าการอ้างอิงค่าดังกล่าวจากแผนที่ชุดดินในมาตราส่วน 1: 50,000 โดยกรมพัฒนาที่ดิน และใช้วิธี Kriging ในการประมาณความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน และความเชื่อมั่นของผิวดิน ให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่ใช้ข้อมูลเนื้อดินจากข้อมูลกลุ่มดิน หรือชุดดินมาใช้

- การวิเคราะห์สภาพภูมิประเทศ (Terrain analysis) จากข้อมูล DEM รายละเอียด 30 เมตร
- ในการประมาณตัวแปรด้านอุทกวิทยา (Flow accumulation, Flow direction, Upstream area) ร่วมกับระดับความลาดชัน ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดการกร่อนของดินแบบร่องลึกชั่วคราว (Critical zone)

- ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการศึกษาส่วนใหญ่จำแนกประเภทการใช้ที่ดิน (เช่น ยางพารา) ในระดับ 1:50000 โดยไม่มีการพิจารณาความผันแปรของระดับอายุ การจัดการ และสภาพพื้นที่ตามสภาพพื้นที่จริง แต่ในการศึกษานี้ได้ทำการปรับเพิ่มการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่สวนยางพารา ซึ่งเป็นประเภทการใช้ที่ดินหลักในกลุ่มน้ำ (พื้นที่ร้อยละ 66.48) ออกตามอายุ เป็น 4 ระดับ ได้แก่ ยางพาราอายุ 0-7 ปี 7-10 ปี 10-20 ปี และ >20 ปี โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) และการวิเคราะห์เชิงวัตถุ (Object – based image analysis) เพื่อให้สามารถประเมินค่าตัวแปรในแบบจำลองต่างๆ ที่อ้างอิงจากประเภทการใช้ที่ดินให้ชัดเจนมากขึ้น ได้แก่ ร้อยละสิ่งปกคลุมผิวดิน (Ground cover) ค่าความสูงของพืช (Plant height) ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (Rainfall interception) อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (Actual to potential evapotranspiration ratio) และความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Effective hydrological depth)

- การเปรียบเทียบวิธีการประเมินค่า C-factor 3 วิธี ได้แก่ Land cover Classification, NDVI และ Transformation index และเลือกวิธีที่เหมาะสมเพื่อใช้แทนค่าในแบบจำลอง เพื่อให้ได้ระดับของค่า C-factor ที่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ให้มากที่สุด (Zehni , 2000)

- ใช้เทคนิค Virtual field work (Polsky and Pontius, 2012) ในการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน ประกอบกับการตรวจสอบในภาคสนาม ทำให้มีจุดเก็บตัวอย่างมีการกระจายแบบสุ่มและมีได้เป็นจำนวนมากขึ้นตามหลักสถิติโดยไม่มีปัญหาในการเข้าถึงในบางพื้นที่

- แบบจำลองโครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ ส่วนใหญ่เป็นแบบ Vector มีความถูกต้องของข้อมูลในเชิงพื้นที่น้อยกว่า Raster เนื่องจากข้อมูล Vector จะแทน 1 ค่าปัจจัย ต่อ 1 รูปร่าง (จุด, เส้น, รูปหลายเหลี่ยม) แต่ข้อมูล Raster จะแทน 1 ค่าปัจจัย ต่อ 1 กริด

2. แบบจำลอง RMMF แบ่งการประเมินการสูญเสียดินออกเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ การแตกกระจายของอนุภาคดินจากน้ำฝนและน้ำไหลบ่า และกระบวนการพัดพาอนุภาคดินไปกับน้ำไหลบ่า และถือเอาปริมาณการสูญเสียดินที่น้อยที่สุดในสองกระบวนการ เป็นปริมาณการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นในกลุ่มน้ำ จากการศึกษาพบว่า มีอัตราการสูญเสียดินระหว่าง 0.0 -68.67 ตันต่อไร่ต่อปี เมื่อทำการจำแนกระดับความรุนแรงของการสูญเสียดินโดยใช้เกณฑ์พิจารณาจากผลกระทบต่อผลิตภาพของดิน (Morgan, 1995) พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีการกร่อนดินระดับน้อยมาก (0- 0.8 ตันต่อไร่ต่อปี) 968,996 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ ร้อยละ 65.36 อยู่ในบริเวณพื้นที่กร้าง ป่าล้ม นาข้าว และพื้นที่ลุ่ม ที่มี

ความลาดชัน 0-2 % และบริเวณพื้นที่ป่า ถึงแม้มีความลาดชันสูง(>20%) แต่เนื่องจากพื้นที่ป่ามี ปัจจัยที่ช่วยลดการไหลบ่า และการแตกกระจายของดินสูง ได้แก่ เรือนยอดปกคลุมดิน ร้อยละสิ่ง ปกคลุมดิน ค่าความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ และอัตราส่วนระหว่างการคาย ระเหยจริงกับการคายระเหยสูงสุด จึงทำให้พื้นที่ป่าส่วนใหญ่ มีการกร่อนดินระดับน้อยมาก พื้นที่ที่ มีการกร่อนระดับน้อย (0.8-1.6 ต้นต่อไร่ต่อปี) 448,320.78 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ ร้อยละ 30.24 พื้นที่ส่วน ใหญ่มีการปลูกยางพาราอายุ 7-10 ปี และมีพื้นที่ความลาดชัน น้อยกว่า 12% ส่วนมีระดับปานกลาง (1.6-4.0 ต้นต่อไร่ต่อปี) 448,320.78 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ ร้อยละ 3.30 และพื้นที่ที่มีระดับรุนแรง (4.0- 7.2 ต้นต่อไร่ต่อปี) และรุนแรงมาก (>7.2 ต้นต่อไร่ต่อปี) มีพื้นที่ ร้อยละ 0.61 และ 0.50 ของพื้นที่ การกร่อนตามลำดับ

3. ผลลัพธ์ปริมาณการสูญเสียดินจากแบบจำลอง อาจจะไม่ใช่ปริมาณที่สอดคล้องกับพื้นที่จริง มากนัก แต่เป็นผลลัพธ์ที่บ่งชี้ถึงระดับการกร่อนของพื้นที่จากการประเมินตามกระบวนการ แบบจำลองได้เป็นอย่างดี

4. การวิเคราะห์ Sensitivity analysis เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่เป็นสาเหตุหลักของการกร่อน ของดิน ที่จะนำไปสู่การกำหนดแนวทางในการจัดการด้านการอนุรักษ์ที่เหมาะสม ปัจจัยที่มีความ อ่อนไหวต่อกระบวนการสูญเสียดินมากที่สุด ได้แก่ เรือนยอดปกคลุมดิน(Canopy cover) รองลงมา ได้แก่ ปริมาณฝนรวม (Annual rainfall) และการปกคลุมของพืชพันธุ์ (C-factor) ซึ่งพื้นที่ที่มีค่า ดังกล่าว สัมพันธ์กับการสูญเสียดินค่อนข้างสูงได้แก่ บริเวณพื้นที่ป่า ยางพาราแก่ (อายุมากกว่า 20 ปี) ยางพาราอ่อน (อายุ 0-7 ปี)

5. เมื่อพิจารณาพร้อมกับผลการวิเคราะห์ Critical zone ของการเกิดการกร่อนแบบร่องลึก ชั่วคราว สามารถนำไปสู่ข้อเสนอแนะการจัดการอนุรักษ์ที่ชัดเจน

6. การตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของปริมาณการกร่อนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ ตะเกาสามารถทำได้ยาก เนื่องจากต้องมีการทำแปลงทดลองมาตรฐาน และมีจำนวนมากพอที่ กระจายทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเกามีเนื้อที่ประมาณ 2,400 ตารางกิโลเมตร จึง สามารถทำได้ยาก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การจำแนกระดับความรุนแรงของพื้นที่ลุ่มน้ำในภาคใต้ โดยเฉพาะในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ควรใช้เกณฑ์การจำแนกตามผลกระทบของศักยภาพการผลิตและการใช้ที่ดิน ซึ่งมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ยางพารา และส่วนหนึ่งอยู่ในพื้นที่ที่ลาดชันสูง มีระดับหน้าดินตื้น การสูญเสียหน้าดินที่อุดมสมบูรณ์ดังกล่าวก็อาจจะเป็นปัจจัยวิกฤติต่อระดับของผลผลิตได้

2. แบบจำลองการประเมินการกร่อนของดิน RMMF ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการประเมินเปรียบเทียบพื้นที่เสี่ยงต่อการกร่อนเพื่อสามารถระบุการจัดการที่เหมาะสมให้เฉพาะเจาะจงกับพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ควรจะมีการศึกษาในรายละเอียดของผลกระทบ ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ต่อระดับผลิตภาพของพื้นที่ การใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาให้ชัดเจน ให้สามารถเพิ่มผลผลิตต่อไร่ มากกว่าการขยายพื้นที่ บุกรุกเข้าไปใช้ที่ดินในเขตป่า และพื้นที่อนุรักษ์ เพื่อให้มีความยั่งยืนของระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลา

3. ในพื้นที่ที่ปลูกพื้นที่ยางพาราในช่วง อายุ 0-7 ปี มีเรือนยอดปกคลุมดิน (Canopy cover) ไม่หนาแน่นมากนัก จึงทำให้เกิดการกร่อนดินมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ยางพาราในช่วงอายุอื่นๆ จึงควรหาสิ่งปกคลุมผิวดินหรือมีการจัดการพืชคลุมดิน เพื่อป้องกันแรงน้ำที่กระทำกับผิวดินและป้องกันไม่ให้เม็ดฝนปะทะกับดินโดยตรงได้โดยการปกปิดหน้าดินโคนไม้ให้เม็ดดินมากระทบผิวดิน

4. ในพื้นที่ที่มีการเกษตรในที่สูง (>20%) ควรมีการจัดการความลาดชันในพื้นที่เพื่อลดการไหลบ่า เช่น การปลูกพืชแบบขั้นบันได การปลูกพืชเป็นแนวแถบ (Strip cropping) เป็นต้น

5. การจัดการควรมีแนวทางการจัดการ ค่าความชื้น และการจัดการพืช เพื่อช่วยลดการไหลบ่า เนื่องจากการใช้ที่ดินในการปลูกพืชแต่ละชนิดจะมีผลกับค่าความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ และอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการคายระเหยสูงสุดที่แตกต่างกัน

6. ควรมีการสงวนพื้นที่ป่า เนื่องจากพื้นที่ป่าส่วนใหญ่ตรงกับพื้นที่วิกฤติ หากมีการรुक้าพื้นที่ จะทำให้พื้นที่เกิดการกร่อนระดับรุนแรงได้ง่าย



## บรรณานุกรม

- กัญจนิจ หลีกภัย. 2549. การแปรผันเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นโลหะหนักในดินระดับผิวหน้าในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กิตติพงษ์ ทรงรัษฎ์เกียรติ. 2549. การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2539. *หลักการจัดการลุ่มน้ำ*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2549. *ข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอยในคลองสายหลักของอื่นๆน้ำทะเลสาบสงขลา*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2529. *การป้องกันการกร่อนของดิน*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2543. *การกร่อนของดินในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: เพรสเพรส.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2545. *การประเมินการสูญเสียดินในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. *ข้อมูลกลุ่มชุดดินการใช้ประโยชน์ที่ดินและเส้นชั้นความสูง*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน
- นาคยา จึงเจริญธรรม. 2546. ระบบการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามศักยภาพทรัพยากรน้ำลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. *แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปวิช สนั่นเมือง. 2550. การประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์การกร่อนของดินเพื่อประเมินสัดส่วนการตกตะกอนที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำลำพระเพลิงในจังหวัด

นครราชสีมา.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาภูมิศาสตร์, คณะ  
สังคมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พรนภา ทองเทพ.2552. การประมาณปริมาณฝนด้วยข้อมูลดาวเทียมสำหรับภาคเหนือของประเทศ  
ไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาภูมิสารสนเทศ,คณะสังคมศาสตร์.  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มณฑล สุริยะประสิทธิ์ และคูร่า เชรสตา. 2552. การสังเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินและเรื้อน  
ยอดของพืชคลุมดิน โดยการใช้ข้อมูลระยะไกล และข้อมูลสนามในพื้นที่สูง ซึ่งเข้าถึงได้  
ยากสำหรับการประเมินการชะล้างพังทลายดิน. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 24(2): 25-  
32.

บุทธิชัย อนุรักษ์ดิพันธ์ กิตติพงษ์ ทรงรักษ์เกียรติ และอรรถสมร่าง. 2547. แบบจำลองการกร่อนของ  
ดิน. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2536. การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม.  
กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2540. การสำรวจจากระยะไกล. กรุงเทพฯ:  
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศองค์กรมมหาชน. 2552. เทคโนโลยีอวกาศและ  
ภูมิสารสนเทศ. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2553. วารสารสถิติรายไตรมาส. กรุงเทพฯ: สำนักสถิติพยากรณ์.

อนิสรา เพ็ญสุข. 2544. ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีต่อการจัดการทรัพยากรดินและ  
น้ำในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการ  
สิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Becker, A. and Serban, P.. 1990. *Hydrological Models for Water Resources System Design and  
Operation*. Switzerland: WMO.

Burrough, P.A., Donnell, M. and Rachael, A.. 1998.*Principles of Geographic Information  
Systems*. United Kingdom: Oxford University.

- Rwasoka, D.T., Gumindoga, W. and Gwenzi, J.V. 2011. Estimation of actual evapotranspiration using the Surface Energy Balance System (SEBS) algorithm in the Upper Manyame catchment in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth* 36(14-15) : 736-746.
- David, G.T. 1997. A new method for the determination of flow direction and upslope areas in grid digital elevation model. *Water Resour. Res.* 33(2) : 309-319.
- Desmet, P.J.J. and Govers, G. 1997. Two-dimensional modeling of the within-field variation in rill and gully geometry and location related to topography. *CATENA* 29(1997) : 283-306.
- De Jong. 1994. *Application of Reflective Remote Sensing for Land Degradation Studies in Mediterranean Environment*. Utrecht: University of Utrecht.
- Endale, M.. 2003. Cropland soil erosion prediction using WEPP model: a case study on hill slope in Lom Kao, Thailand. Master of science, Geo-information science and Earth Observation, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. Netherlands.
- Erencia, Z. 2000. *C-factor mapping using Remote sensing and GIS : A case study of Lom Sak /Lom Kao, Thailand*. German: Justus-Liebig-University of Giessen.
- Eric Roose. 1996. *Land husbandry - Components and strategy*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- ESRI. 2008. ArcGIS 9.2 Desktop Help.  
[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=flow\\_accumulation](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=flow_accumulation)  
 . (accessed March 3, 2010)
- FAO. 1994. *Land degradation in South Asia : its severity, causes and effects upon the people*. World soil resources reports . Rome: FAO
- Gebrekirostos, T. 2003. Use of simplified trst and revised MMF model for assessing soil erosion : case study Lom Kao area Thailand. Master of science, Geo-information science and Earth Observation, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. Netherlands.

- HajerBouchnak, MennoubiSfarFelfoul, Mohamed RachedBoussema, Mohamed HabibSnane. 2009. Slope and rainfall effects on the volume of sediment yield by gully erosion in the Souarlithologic formation (Tunisia). *CATENA* 78(2): 170-177.
- Hengl, T., Gruber, M. and Shrestha, D.P., 2003 *Digital terrain analysis in ILWIS*. Netherland: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede.
- Hengl, M.E. and Shelley, B.M. 1994. Removing the topographic Effect in Remotely Sensed Imagery. *ERDAS Monitor* 6(1): 4-6.
- Jetten, V. 2002. *LISEM : Limburg erosion model*. Netherlands: Utrecht University.
- Jetten, V., Poesen, J., Nachtergaele, J. and Van de Vlag, D., 2006. *Spatial modeling of ephemeral gully incision : a combined empirical and psysical approach*. Wallingford: CABI publishing.
- Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, and G.E. Schumna. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61(1): 4-10.
- Knisel, W.G., 1980. *CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*. Washington DC.: US Department of Agriculture
- Koolman, A.. 1987. *The C factor. Relation between land cover and land use, and aspects of soil erosion, specifically for the Upper Komering catchment, South Sumatra, Indonesia*. Holland: ITC.
- Laflen JM, Elliot WJ, Simanton J R, Holzhey CS, Kohl KD. 1991. WEPP soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. *Journal of Soil and Water Conservation* 46(1): 39-34.
- Lichtfouse,E., Navarrete, M., Debaeke, P., Véronique, S., and Alberola, C. 2009. *Sustainable Agriculture*. France. EDP Sciences.
- Lillesand and Thomas M. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation. 5th ed.* New York: Wiley.

- Meijerrink, A.M.C. and Stewart, A.. 1988. *ILWIS the Integrated Land and Watershed Management Information Systems*. Enschede, Netherland: International Institute for Aerospace Survey and EarthScience.
- Merritt ,W.S. Letcher, R.A. and Jakeman, A.J..2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software* 18(8): 761–799.
- Morgan, R. P. C., D.D.V., Morgan., and H.J., Finney. 1984. A predictive model for the assessment of soil erosion risk. *Agricult. Engineering Res.* 30(3): 245-253.
- Morgan, R.P.C. 1995. *Soil erosion and conservation*. Third edition. United Kingdom: Black well Pubilsh Ltd..
- Morgan, R. P. C.2001. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan-Morgan-Finney model. *CATANA*. 44(4): 305-322.
- Morgan, R. P. C. and J.H. Duzant. 2008. Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*. 33(1): 90-106.
- Osborn, B., 1955. “How Rainfall and Runoff Erode Soil”. In Stefferud, A editor : *Water. Yearbook of Agriculture*. Washington DC: US Department of Agriculture.
- Omuto, C. T. and Shrestha, D. P. 2007. Remote sensing techniques for rapid detection of soil physical degradation.. *International Journal of Remote Sensing* 28(21): 4785-4805.
- Paron, P., Vargas, R. 2007. Landform of Selected Study Areas in Somaliland and Southern Somalia. Integrated Landform Mapping Approach at semi-detailed scale using Remote Sensing and GIS techniques.FAO-SWALIM.Project Report L-02. <http://www.faoswalim.org/downloads/> (accessed May 12, 2012).
- Polsky, C. and Pontius, R.G. 2012. Performing Virtual Field Work. Clark University. <https://sites.google.com/site/heromapmanual/hero-map-methodology/validation/performign-virtual-field-work> . (accessed May 29, 2012)

- Poudel, D.D., Midmore, D.J., and West, L.T. 1999. Farmer participatory research to minimize soil erosion on steepland vegetable systems in the Philippines. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 79(2000): 113-127.
- Renard, K.G., 1997. *Prediction soil erosion by water : a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation RUSLE. USDA Handbook; 703.* Washington D.C.: United states Department of Agriculture.
- Stone, R.P. and Hiborn, D. 2000. *Universal soil loss equation (USLE).* Canada: Ontario.
- Saengthongpinit, C. 2004. Soil erosion assessment using Revised MMF equations with special reference to terrain parameter(s): A case study in Nam Chun sub – watershed, Lomsak district, Thailand. Master of science, Geo-information science and Earth Observation, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. Netherlands.
- Shrestha, D.P. 2003. *Modelling Approach.(Presentation).* Netherland: International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation.
- Shrestha, D.P., Yazidhi, B. and Teklehaimanot, G. 2004. Assessing soil losses using erosion models and terrain parameters : a case study in Thailand. Proceedings of the 25th Asian conference on remote sensing, : November 22-26, 2004, Chiang Mai, Thailand. Chiang Mai.
- Suriyaprasit, M. 2008. Digital terrain analysis and image processing for assessing erosion prone areas: A Case Study of Nam Chun Watershed, Phetchabun, Thailand. Master of science, Geo-information science and Earth Observation, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. Netherlands.
- Tanavud, C., Yongchalermchi, C., Kimura, M., Komamura, M. and Bennui A. 1999. Land Use Changes and Its Environmental Consequences in Songkhla Lake Basin. *Thai Journal of Agricultural Science.* 32(2):211-228.
- Rojas, V. 2004. Participatory land suitability assessment using integrated Toposequence analysis : Nam Chun sub watershed, Petchabum province, Thailand. Master of science, Geo-

information science and Earth Observation, International Institute for Geo-  
Information Science and Earth Observation Enschede. Netherlands.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1965. *Agricultural Handbook.No. 282*, U.S.: Department of  
Agriculture.

Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. and Anderson, W.P., 1989. AGNPS: A nonpoint-source  
pollution model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water  
Conservation* 44(2): 168-173.

The Land Development Department. 2006. EROSION ASSESSMENT. The Land Development  
Department. [http://www.ddd.go.th/efiles\\_project/ddd\\_plannig/welcome/index.html](http://www.ddd.go.th/efiles_project/ddd_plannig/welcome/index.html)  
(accessed May 29, 2012)

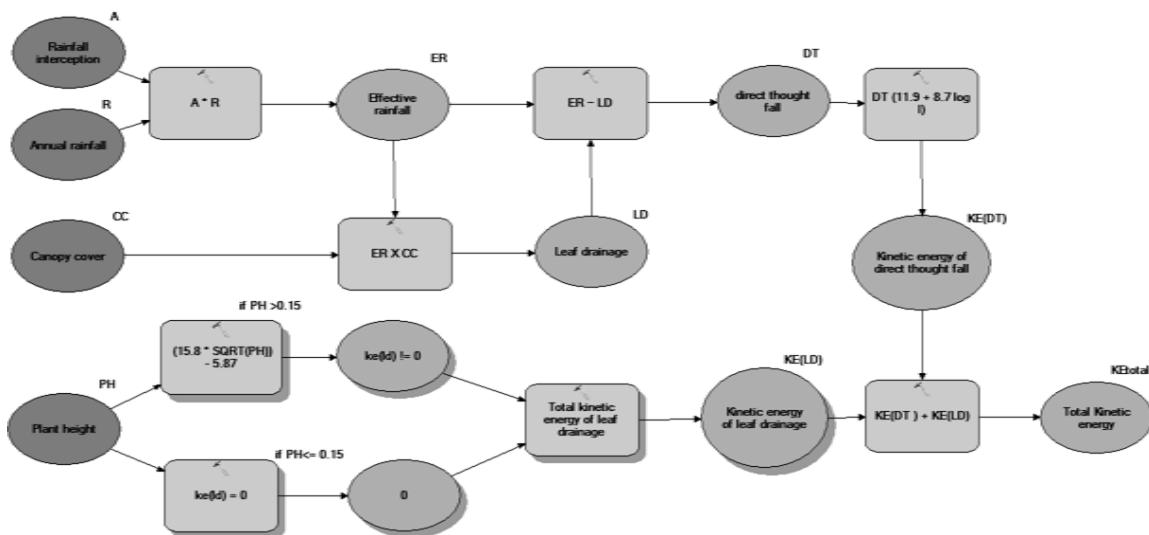
ภาคผนวก



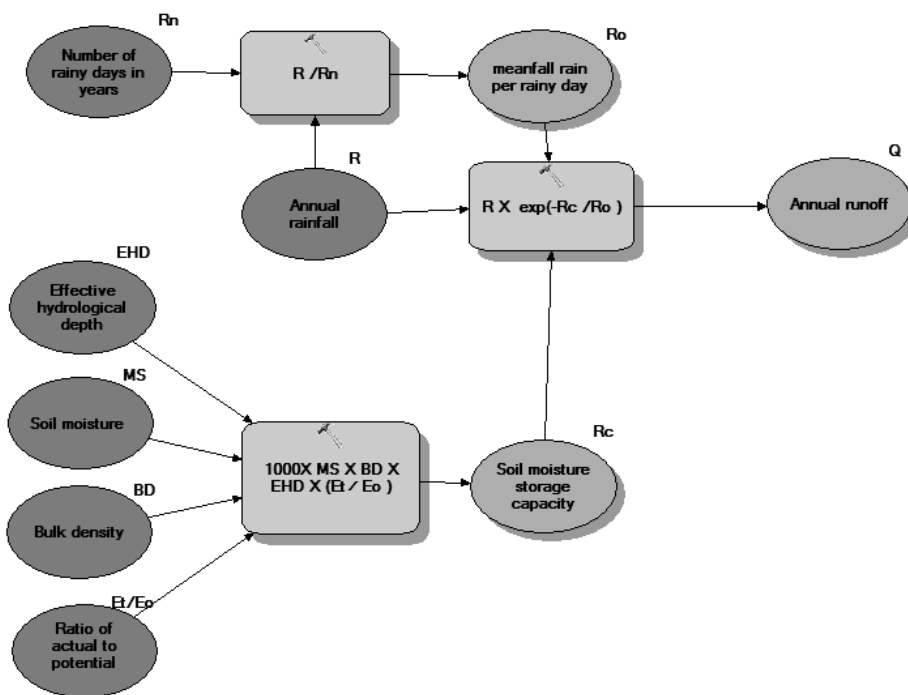
ภาคผนวก ก

แผนผัง Model Builder ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง RMMF

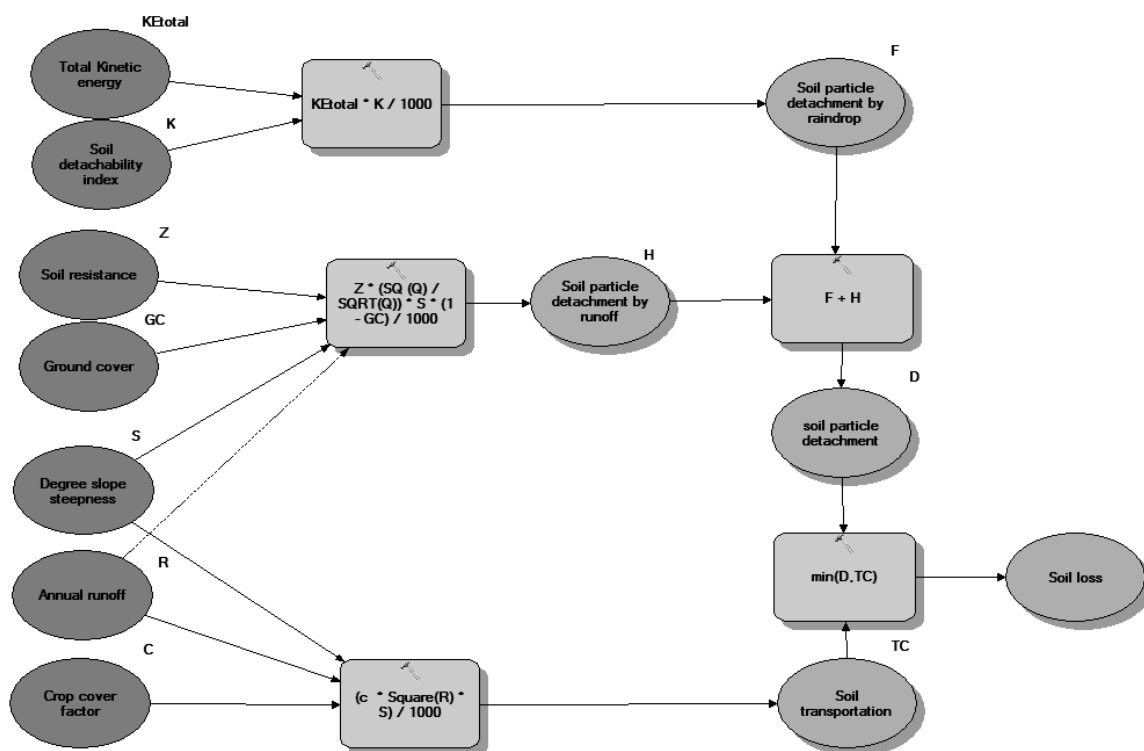
(1) การประเมินพลังงานจลน์จากน้ำฝน



(2) การประเมินการไหลบ่า



(3) การประเมินปริมาณการแตกกระจายอนุภาคดิน(Soil particle detachment) ประเมินประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายโดยการไหลบ่าและประเมินการสูญุดิน



## ภาคผนวก ข

ตาราง ข-1 จุดตรวจสอบในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
1	654400	790200	นาข้าว	นาข้าว
2	655400	790900	นาข้าว	นาข้าว
3	655200	789600	นาข้าว	นาข้าว
4	656000	789600	นาข้าว	นาข้าว
5	656500	791800	นาข้าว	นาข้าว
6	656700	790500	นาข้าว	นาข้าว
7	657500	791200	อื่นๆ	อื่นๆ
8	656900	791300	อื่นๆ	อื่นๆ
9	656600	789300	นาข้าว	นาข้าว
10	656600	785500	อื่นๆ	อื่นๆ
11	655500	785700	อื่นๆ	อื่นๆ
12	657400	786300	อื่นๆ	อื่นๆ
13	657000	786100	อื่นๆ	อื่นๆ
14	657600	785400	อื่นๆ	อื่นๆ
15	657500	786000	อื่นๆ	อื่นๆ
16	658400	782200	อื่นๆ	อื่นๆ
17	658100	782700	นาข้าว	นาข้าว
18	658300	791000	อื่นๆ	อื่นๆ
19	658600	790600	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
20	658800	790500	อื่นๆ	อื่นๆ
21	658700	790100	อื่นๆ	อื่นๆ
22	658500	789100	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
23	659900	789200	อื่นๆ	อื่นๆ

ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
24	660100	789500	อื่นๆ	อื่นๆ
25	660400	788900	อื่นๆ	อื่นๆ
26	661200	788600	นาข้าว	นาข้าว
27	661400	789100	อื่นๆ	อื่นๆ
28	662900	789500	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
29	661800	788600	นาข้าว	นาข้าว
30	662100	789600	แหล่งน้ำ	อื่นๆ
31	661500	788300	นาข้าว	นาข้าว
32	661200	787700	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
33	661900	787800	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
34	662900	788000	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
35	663000	788700	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
36	662900	789000	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
37	663300	789400	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
38	663800	789300	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
39	663800	788800	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
40	663500	788300	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
41	661700	786900	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
42	661100	787100	นาข้าว	นาข้าว
43	661000	786700	นาข้าว	นาข้าว
44	661100	786300	นาข้าว	นาข้าว
45	661700	785800	แหล่งน้ำ	อื่นๆ
46	661800	785200	แหล่งน้ำ	อื่นๆ
47	662800	787600	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
48	664900	787700	นาข้าว	อื่นๆ
49	662800	785800	นาข้าว	นาข้าว

ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
50	663500	786500	นาข้าว	อื่นๆ
51	668100	788500	อื่นๆ	อื่นๆ
52	667100	788000	อื่นๆ	อื่นๆ
53	665900	787100	อื่นๆ	อื่นๆ
54	666400	786900	นาข้าว	อื่นๆ
55	667400	786700	นาข้าว	อื่นๆ
56	667300	787400	อื่นๆ	อื่นๆ
57	668100	787700	อื่นๆ	อื่นๆ
58	668400	787200	อื่นๆ	อื่นๆ
59	666600	786000	นาข้าว	อื่นๆ
60	666000	786200	นาข้าว	อื่นๆ
61	665400	785200	นาข้าว	อื่นๆ
62	664800	784700	นาข้าว	นาข้าว
63	664400	784000	นาข้าว	นาข้าว
64	664600	783100	นาข้าว	อื่นๆ
65	665600	783300	นาข้าว	อื่นๆ
66	666200	783700	นาข้าว	อื่นๆ
67	666900	784100	อื่นๆ	อื่นๆ
68	666000	784600	นาข้าว	อื่นๆ
69	635700	769400	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
70	637800	768800	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
71	637200	753700	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
72	644500	762200	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
73	649400	764400	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
74	652100	754600	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
75	660400	736000	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี

ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
76	665300	732700	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
77	675700	718700	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
78	656800	790800	อื่นๆ	อื่นๆ
79	661200	782400	นาข้าว	นาข้าว
80	666000	784300	นาข้าว	อื่นๆ
81	667900	759700	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
82	668100	761800	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
83	657700	760400	นาข้าว	นาข้าว
84	669300	754500	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
85	669700	747800	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
86	642200	745500	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
87	643900	740900	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
88	641800	747500	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
89	647700	755400	อื่นๆ	อื่นๆ
90	658500	768500	อื่นๆ	ยางพารา 0-7 ปี
91	661400	771800	อื่นๆ	อื่นๆ
92	666400	783900	นาข้าว	อื่นๆ
93	668300	781600	อื่นๆ	อื่นๆ
94	673300	768200	อื่นๆ	อื่นๆ
95	657700	734000	อื่นๆ	อื่นๆ
96	657300	733500	อื่นๆ	อื่นๆ
97	659700	735000	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
98	658000	734300	อื่นๆ	อื่นๆ
99	654000	760200	อื่นๆ	อื่นๆ
100	657700	766000	นาข้าว	นาข้าว
101	651100	738300	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี

ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
102	651800	732900	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
103	662600	768400	อื่นๆ	อื่นๆ
104	665500	776300	อื่นๆ	อื่นๆ
105	646100	775300	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
106	668000	775400	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
107	669400	770400	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
108	668100	777000	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
109	664500	754000	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
110	657400	767600	อื่นๆ	อื่นๆ
111	666600	776300	อื่นๆ	อื่นๆ
112	652400	726800	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
113	672800	723900	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
114	651500	748900	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
115	662200	777200	อื่นๆ	อื่นๆ
116	659100	779300	นาข้าว	นาข้าว
117	658100	776500	สวนผลไม้	สวนผลไม้
118	658100	779800	สวนผลไม้	สวนผลไม้
119	661400	745300	ป่าล้ม	ป่าล้ม
120	657500	744100	ป่าล้ม	ป่าล้ม
121	665700	749800	ป่าล้ม	ป่าล้ม
122	661500	754100	อื่นๆ	อื่นๆ
123	667000	721000	อื่นๆ	อื่นๆ
124	646000	737300	อื่นๆ	อื่นๆ
125	659600	767700	อื่นๆ	อื่นๆ
126	659300	767400	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
127	666800	758900	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี

ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
128	665900	758900	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
129	643500	766800	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
130	644200	767800	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
131	639300	768300	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
132	649200	780800	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
133	646400	759400	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
134	646000	766100	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ
135	648247	779397	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
136	649217	778391	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
137	649126	780844	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
138	654858	776607	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
139	655541	778639	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
140	659733	785087	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
141	661934	784812	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
142	668779	754015	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
143	666096	753523	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา >20 ปี
144	665381	750380	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
145	670350	753555	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
146	663196	752255	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
147	663471	749885	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
148	648294	738814	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
149	650608	729411	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
150	662308	725807	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
151	661244	725030	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
152	653624	724045	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
153	662581	754621	ยางพารา 0-7 ปี	ยางพารา 0-7 ปี



ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
154	655900	753646	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
155	654891	750735	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
156	649324	753536	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
157	643926	744845	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
158	653531	739368	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
159	667302	753179	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
160	664381	757929	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
161	665540	758342	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
162	660857	753071	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
163	666001	754690	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
164	666969	750166	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
165	676645	764379	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
166	649127	747166	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
167	647180	747696	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
168	655477	746045	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
169	653724	738725	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
170	651905	738278	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
171	649491	736112	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
172	646068	739254	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
173	646564	733880	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
174	647573	742942	ยางพารา>20 ปี	ยางพารา>20 ปี
175	663690	758649	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
176	663343	765688	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
177	648819	766977	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา>20 ปี
178	671126	752056	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
179	649662	770050	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี

ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
180	646539	757013	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
181	673604	756071	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
182	677074	769802	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
183	651545	784524	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
184	649959	784723	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา>20 ปี
185	647481	783087	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
186	640342	774710	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
187	640442	770893	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
188	651248	779914	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
189	668250	767423	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
190	668300	784128	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
191	645498	761375	ยางพารา 7-10 ปี	ยางพารา 7-10 ปี
192	640077	762034	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
193	656974	758030	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
194	642317	756597	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
195	638167	759793	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
196	638542	745783	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
197	643119	745280	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
198	643622	746920	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
199	644098	748706	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
200	669126	733742	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
201	669545	732283	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
202	671037	738033	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
203	670032	732803	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
204	668556	737413	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
205	668875	744236	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี

ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
206	664248	745845	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
207	672596	749098	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
208	664868	750757	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
209	670618	750741	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 10-20 ปี
210	665438	758905	ยางพารา 10-20 ปี	ยางพารา 0-7 ปี
211	633933	768054	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
212	636530	766431	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
213	635719	762535	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
214	636530	757989	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
215	638316	755554	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
216	639777	753281	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
217	634745	754093	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
218	634258	751333	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
219	638366	752166	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
220	639027	751187	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
221	641170	753225	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
222	634291	749679	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
223	636249	747536	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
224	635826	746134	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
225	634582	745816	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
226	635873	745171	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
227	676050	721063	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
228	675388	723510	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
229	673007	730985	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
230	677306	718682	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
231	676314	722452	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า

ตาราง ข-1(ต่อ)

จุดตรวจสอบที่	x	y	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	
			จากการประเมิน	จากการตรวจสอบ
232	677306	720137	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
233	668311	776361	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
234	678894	765910	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า
235	673470	759031	พื้นที่ป่า	พื้นที่ป่า

หมายเหตุ พื้นที่อื่นๆ คือ พื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่รกร้าง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่ลุ่ม

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อสกุล	นางสาวหทัยกาญจน์ คงรักษ์		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5110920036		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ภูมิศาสตร์)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2550	