บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. สรุปสาระสำคัญจากการศึกษาที่ผ่านมา

ในการศึกษางานวิจัยเพื่อหาปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำ นอกจากข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในสมการการสูญเสียดินสากลดัดแปลง (Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE) แล้ว จำเป็นต้องมีการคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆที่สำคัญ ซึ่งผู้ทำวิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเอกสารที่ได้มีการวิเคราะห์ด้วยสมการการสูญเสียดินสากลดังต่อไปนี้

– [ธราพงษ์, 2553] ได้ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่โดยมุ่งเน้นพัฒนาแบบจำลองสำหรับจำลองปริมาณน้ำท่า ตะกอน สารอาหาร ในลุ่มน้ำลำพระเพลิง ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงผลกระทบเชิงพื้นที่ในกรณีศึกษา และจัดทำดัชนีบ่งชี้ศักยภาพการปนเปื้อนจากมลพิษประเภทไม่ทราบแหล่งกำเนิดแน่นอนเพื่อใช้กำหนดลำดับความจำเป็นในการจัดการของพื้นที่ โดยใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่ (GIS) ที่สามารถคำนวณให้อยู่ในรูปแบบกริดเซลล์ได้ มาวิเคราะห์ร่วมกับวิธีการหมายเลขโค้งน้ำท่า (Runoff Curve NumberMethod) ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประเมินปริมาณน้ำท่า แล้วจึงทำการปรับเทียบค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งได้ผลเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดบริเวณ 2 สถานี คือ สถานี M.171 และ M.145 แบบรายเหตุการณ์ ในช่วงฤดูฝน พ.ศ. 2551 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (E) มีเท่ากับ 0.87 และ 0.68 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R2) อยู่ที่ 0.89 และ 0.75 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และเมื่อประเมินปริมาณตะกอนโดยใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่ร่วมกับสมการสูญเสียดินสากล(MUSLE) และแบบจำลองสัดส่วนการพัดพาตะกอน (SEDD) จะได้ผลของแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ เท่ากับ 0.79 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.92

– [ศักดิพงษ์ ธีรเนตร, 2555] ได้ทำการศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ของสมการการสูญเสียดินสากลดัดแปลง (MUSLE) โดยพิจารณาพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กทางภาคเหนือโดยมีพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัดภาคเหนือตอนบนประกอบด้วยจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ตาก น่าน ในพื้นที่ 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลุ่มน้ำประกอบด้วยลุ่มน้ำโขง (กก-อิง-จัน) ลุ่มน้ำสาละวิน ลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำน่าน โดยมีวัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ B1 และ B2 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ของสมการการสูญเสียดินสากลดัดแปลง (Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE) $Y = B_1(Qq_p)^{B_2} KCPLS$ ที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าปริมาณตะกอนของลุ่มน้ำขนาดเล็กที่ไม่มีสถานีวัดน้ำทางภาคเหนือ โดยประเมินค่าปัจจัย KCPLS ทุกสถานีวัดน้ำที่ศึกษา และคำนวณค่าปัจจัยน้ำท่า (Qq_p) แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำท่า และอัตราการไหลสูงสุด คำนวณปริมาตรน้ำท่ารายวันจากข้อมูลน้ำฝนรายวัน โดยใช้ร่วมกับแบบจำลองน้ำฝน – น้ำท่า เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ B1 และ B2 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r จากการวิเคราะห์การถดถอยในรูปแบบความสัมพันธ์แบบเลขยกกำลังของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Y/KCPLS กับ Qq_pการวิจัยนี้ได้กำหนดค่าปริมาณตะกอนรวม (Y) โดยเพิ่มปริมาณตะกอนท้องน้ำอีก 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ของตะกอนแขวนลอย ที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำที่ศึกษาผลการวิจัยทราบค่าพารามิเตอร์ B_1 และ B_2 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ทุกสถานีทุกลุ่มน้ำที่ศึกษา และสามารถประยุกต์ใช้สมการ MUSLE ในการประเมินค่าปริมาณตะกอนของลุ่มน้ำขนาดเล็กที่ไม่มีสถานีวัดน้ำทางภาคเหนือได้ ทั้งในกรณีที่มีข้อมูลน้ำท่ารายวันจากตรวจวัดและกรณีที่มีข้อมูลน้ำฝนรายวัน โดยการประเมินค่าปัจจัย KCPLS และคำนวณค่าปัจจัยน้ำท่า (Qq_p) ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่ต้องการทราบค่าปริมาณตะกอนรวมรายเดือนหรือรายปี จากนั้นเลือกใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y/KCPLS กับ Qq_pของสถานีที่อยู่ใกล้เคียงกับบริเวณดังกล่าวนำค่าพารามิเตอร์ B1 และ B2 จากความสัมพันธ์ Y/KCPLS กับ Qq_pของสถานีที่เลือกใช้และค่าปัจจัยต่างๆ แทนในสมการ MUSLE จะสามารถคำนวณค่าปริมาณตะกอนได้

– [Wischmeier and Smith, 1965] ได้ทำการหาปริมาณการสูญเสียดิน โดยสร้างแปลงทดลองเพื่อทดสอบขึ้นที่บริเวณตะวันออกของสหรัฐอเมริกามากกว่า 10,000 แปลง เป็นเวลากว่า 30 ปี ทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า ปริมาณการสูญเสียดินจะมีค่ามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับผลของตัวแปรที่ได้จากน้ำฝน (R-Factor) คุณสมบัติของดิน (K-Factor) ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ (LS-Factor) และชนิดของพืชที่ปกคลุมดิน (PC-Factor) โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าสมการการสูญเสียดินสากล ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการประเมินค่าการสูญเสียดินจากพื้นที่ได้ทั้งเป็นรายปีหรือรอบการเพาะปลูก(Annual or Rotational Field) โดยสามารถพิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดขึ้นอีกในรอบปี (Return Period) หรือในแต่ละครั้งที่ฝนตก (Individual Storm) ซึ่งในการวิเคราะห์นี้สามารถประเมินได้ดียิ่งขึ้น หากมีการวิเคราะห์ถึงค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (EI-Index) และค่าปัจจัยการจัดการพืช (C-Factor) ในแต่ละครั้งที่ฝนตก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

– [Dragoun และ Miller, 1964] ; [Williams และคณะ, 1971] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำท่า ที่ส่งผลถึงการเกิดตะกอน ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ปัจจัยน้ำท่าเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งสำหรับการคาดคะเนถึงปริมาณตะกอนที่จะเกิดขึ้นในลำน้ำ ซึ่งค่า Q และqp ที่แสดงถึงปริมาณน้ำท่าโดยวิเคราะห์ได้จากโมเดลของน้ำฝนและท่าน้ำ เพื่อการนำไปใช้ในสมการการสูญเสียดินสากลดัดแปลง

– [ดวงตา โล้เจริญรัตน์, 2528] ทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณการสูญเสียดินจากการทดลองในแปลงทดลองเทียบกับการใช้สมการการสูญเสียดินสากล โดยมีพื้นที่ในการทำวิจัยคือ พื้นที่ลุ่มน้ำกาแล จ.ระยอง จากการวิจัยพบว่า ปริมาณการสูญเสียดินสากลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการสูญเสียดินสากลจะให้ค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยค่าการสูญเสียดินที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าเพียง 0.38 เท่าของการสูญเสียดินที่ได้จากการคำนวณ มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบสมการ Y = 3.76 + 0.31 X โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.92

– [กรมพัฒนาที่ดิน, 2545] ได้ทำการศึกษาวิจัยในเรื่องค่าคุณสมบัติของดิน (K–Factor) โดยประเมินค่า K-Factor ของดินในประเทศไทยจากแผนภาพโนโมกราฟโดยอาศัยข้อมูลตัวแทนชุดดิน (Soil Series) คือ ผลรวมเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง (Silt) กับทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand) เปอร์เซ็นต์ดินทราย (Sand) เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter) โครงสร้างดิน (Soil Structure) และการซึมของน้ำในดิน (Soil Permeability) โดยมีการเก็บตัวอย่างดินมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังพิจารณาจากประเภทเนื้อดินและตำแหน่งของภูมิภาคที่พบ เพื่อกำหนดเป็นค่า K-Factor ให้ครอบคลุมชนิดดินภายในประเทศไทย

– [กรมพัฒนาที่ดิน, 2545] ได้ประยุกต์ผลการศึกษาทั้งจากในและต่างประเทศเพื่อวิเคราะห์หาค่าปัจจัยการจัดการพืช (Cropping Management Factor, C) และค่าปัจจัยการควบคุมการพังทลายของดิน (Conservation Practice Factor, P) เพื่อนำมาใช้กับการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ ของประเทศไทย ในแผนที่ดินมาตราส่วน 1: 50,000 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทยด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่ได้กล่าวมานี้ จะเห็นว่าการหาปริมาณตะกอนในลำน้ำเป็นหนึ่งสิ่งที่ได้รับความสนใจทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งในการวิเคราะห์หาค่าตะกอนที่ตกในลำน้ำได้นั้นจำเป็นที่จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำมาใช้ในการพิจารณา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้ข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน(2545) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการเก็บมาด้วยอัตราส่วน 1: 50000 และได้ทำการอ้างอิงข้อมูลของพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กทางภาคเหนือของ ศักดิพงษ์ (2555) ที่มีการใช้สมการการสูญเสียดินสากลดัดแปลง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ B1 และ B2 ของลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ศึกษาครอบคลุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พื้นที่ 5 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับงานวิจัยนี้ จึงทำการเลือกใช้ข้อมูลจากงานวิจัยเหล่านี้มาใช้ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

2.2. ตะกอน

ตะกอนในลุ่มน้ำมีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มาตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ น้ำในแม่น้ำลำคลองธรรมชาติก็จะมีตะกอนไหลมากับน้ำมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับปริมาณและความรุนแรงของฝนที่ตกลงมาชะล้างหน้าดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความแตกต่างของความลาดชันของผิวหน้าดิน พืชปกคลุมดินและชนิดของดินขณะที่น้ำไหลบ่าลงสู่แม่น้ำลำธารจะมีแรงกัดเซาะทางน้ำให้กลายเป็นร่องน้ำและแม่น้ำในที่สุด พร้อมกันนั้นก็พัดพาตะกอนที่เกิดจากการกัดเซาะระหว่างทางติดตัวไป เช่น ในฤดูฝนที่มีน้ำหลากจะเกิดการกัดเซาะท้องน้ำมาก แต่เมื่อใดความเร็วลดลงหลังฤดูฝน(หน้าแล้ง) ตะกอนก็จะตกทับถมอยู่บริเวณท้องน้ำและความเร็วกระแสน้ำใกล้ศูนย์บริเวณนั้นจะมีตะกอนตกสะสมมาก

สำหรับการพัฒนาแหล่งน้ำนั้น ต้องทำการศึกษาและประเมินปริมาณตะกอนที่ไหลมาตกสะสม ซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพและอายุใช้งานของโครงการลดน้อยลง ถ้าไม่มีการวางแผนและแนวทางการป้องกันการเกิดตะกอนของลุ่มน้ำล่วงหน้า ในที่สุดโครงการเหล่านั้นก็จะใช้งานไม่ได้ ตลอดจนถึงคูคลองทั้งคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำก็ต้องออกแบบให้มีปริมาณน้ำไหลไปได้เร็ว ตามความต้องการของผู้ใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกและสามารถระบายน้ำให้ออกจากพื้นที่เพาะปลูกหรือเขตชุมชน ไม่ให้ได้รับความเสียหายเนื่องจากน้ำท่วม [นพคุณ โสมสิน, 2528]

2.2.1. นิยามตะกอนและลักษณะของตะกอน

พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยาได้ให้คำนิยามตะกอนในลำน้ำว่าวัตถุที่ถูกน้ำพัดพาเคลื่อนที่ไปในลำน้ำ ในรูปของการแขวนลอย การกระแทก การกลิ้ง และในรูปของสารละลาย [พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา, 2530]

รศ. ดร.วีระพล แต้สมบัติ ได้ให้ความหมายตะกอนในลำน้ำว่าตะกอนเป็นวัสดุที่เคลื่อนที่หรือ แขวนลอยหรือตกตะกอนโดยน้ำเป็นตัวการ [วีระพล แต้สมบัติ, 2531]

ณรงค์ ผลวงษ์ ได้ให้ความหมายว่าตะกอน หมายถึง ปริมาณอนุภาคของดินที่ถูกพัดพาลงสู่ลำน้ำ [ณรงค์ ผลวงษ์, 2530] ซึ่งสอดคล้องกับ ชาญชัย วงษ์ไทย หมายถึง สสารที่ เป็นเม็ดแข็งเคลื่อนที่โดยการลอยไปในน้ำหรือไหลไปตามท้องน้ำ [ชาญชัย วงษ์ไทย, 2512]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สุกัญญา กุลแก้วได้ให้ความหมายว่าสารหรือวัตถุที่ถูกเคลื่อนย้ายมากับน้ำโดยกระบวนการที่เกิดขึ้นจากน้ำฝน [สุกัญญา กุลแก้ว, 2547]

ซึ่งพอสรุปได้ว่าเป็นสารหรือวัตถุต่าง ๆ ที่ถูกเคลื่อนย้ายมากับน้ำโดยกระบวนการที่ เกิดขึ้นจากน้ำฝน ลมและแรงโน้มถ่วงของโลก โดยจะทำอนุภาคดินแตกกระจายออกจากกันและ เคลื่อนที่ย้ายโดยพลังงาน ไหลบ่าของน้ำป่าหน้าดินแล้วไหลลงสู่ลำธาร

2.2.2. ชนิดและขนาดของตะกอน

กรมชลประทาน ได้กล่าวเกี่ยวกับชนิดของตะกอนโดยสรุปว่าเป็นการยากที่จะแบ่งแยกชนิดของตะกอน แต่โดยทั่วไปจะแบ่งแยกตามลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนไปตามลำน้ำ ซึ่งแบ่งได้เป็น3 ชนิด คือ

1) ตะกอนแขวนลอย แบ่งออกเป็น2 ชนิด คือ ตะกอนลอย ตะกอนนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 ไมครอน (0.002 มิลลิเมตร) เป็นตะกอนที่ไม่ค่อยจะตกจมซึ่งเราเรียกอีกอย่างว่าตะกอนทรายแขวน (Colloidal) ตะกอนชนิดนี้เป็นตะกอนกึ่งลอยกึ่งจมเหตุที่ลอยได้ก็เพราะน้ำไหลปั่นป่วนจึงอาจจะปรากฏว่าบางที ตะกอนอาจจะตกลงไปบริเวณท้องน้ำ แต่บางครั้งตะกอนเดียวกันนี้ก็ลอยตามกระแสน้ำที่ไหลแรงกระแสน้ำที่ไหลวนในแนวดิ่งจะมีอิทธิพลต่อตะกอนชนิดนี้มาก

2) ตะกอนโคด เป็นตะกอนที่อยู่ในระหว่างตะกอนแขวนลอยและตะกอนท้องน้ำตะกอนชนิดนี้เป็นตะกอนชั่วคราว คือเป็นตะกอนที่ไม่ลอยและเคลื่อนที่ไปโดยกระโดดไปตามท้องน้ำ สูงประมาณ 50 ซม.

3) ตะกอนท้องน้ำ มีขนาด 1 มม. เป็นตะกอนชนิดใหญ่ที่เคลื่อนที่ไปตามท้องแม่น้ำ ผู้สำรวจการเคลื่อนที่ของตะกอนชนิดนี้ลงความเห็นว่าเป็นการยาก ที่จะหาค่าที่แท้จริงได้ ถ้าตะกอนก้อนใหญ่ผลของการเก็บตะกอนได้ผลค่อนข้างดีแต่ถ้าเป็นตะกอนชนิดเล็กเท่าขนาดของซี่กรงของเครื่องเก็บตะกอน จะทำให้ตัวอย่างที่เก็บได้ไม่แน่นอน เพราะจะเกิดน้ำวนขึ้นทำให้การ เคลื่อนที่ของตะกอนไม่เป็นไปตามธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาดของตะกอนเหล่านี้จะค่อย ๆ เล็กลงไปทางท้ายน้ำ โดยมีสาเหตุเกิดหลายประการเช่น

1) เกิดจากการขัดสีเนื่องจากก้อนตะกอนจะกลิ้งไปในท้องน้ำกระโดดหรือกระแทกกับตะกอนก้อนอื่นๆ ในขณะเคลื่อนที่ไป

2) เกิดจากปฏิกิริยาเคมีเนื่องจากน้ำมีฤทธิ์เป็นกรดหรือด้างจึงทำให้ตะกอนถูกกัดกร่อน

3) เกิดจากการพาไป เนื่องจากขณะที่น้ำพัดพาตะกอนไปนั้นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ จะตกตะกอนลงไปที่ท้องน้ำ ในขณะเดียวกันตะกอนขนาดเล็กจะถูกพัดพาลอยไปตามกระแสน้ำซึ่งการพาไป นี้จะมีทั้งในแนวนอนและในแนวดิ่งโดยการพาไปในแนวนอนเกิดได้จากลักษณะแม่น้ำที่คดเคี้ยว ส่วนการพาไปในแนวดิ่งเกิดลำน้ำมีท้องน้ำไม่ราบเรียบหรือท้องน้ำที่มีการเปลี่ยนระดับ [กรมชลประทาน, 2538]

2.2.3. กระบวนการเกิดตะกอน

การเกิดตะกอน เกิดขึ้นเนื่องจากมีการชะล้างพังทลายของดิน (Soil Erosion) ซึ่งที่เกิดจากการที่มีแรงน้ำหรือลม รวมไปถึงแรงโน้มถ่วงของโลกมากระทำให้อนุภาคของดินเกิดการแตกแยกออกจากกัน แล้วมีเคลื่อนย้ายอนุภาคของเม็ดดินดังกล่าวไปทับถม (Deposition) ยังอีกที่หนึ่ง ส่วนใหญ่การเกิดตะกอนจะพิจารณาถึงสาเหตุที่จะทำให้เกิดตะกอนขึ้นได้จาก 2 ลักษณะ คือ

- การชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติ
- การชะล้างพังทลายของดินที่มีตัวเร่งหรือมนุษย์มีส่วนร่วม

ซึ่งปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน คือ ปัจจัยทางธรรมชาติ โดยเฉพาะปัจจัยของฝน ปัจจัยทางภูมิประเทศ ปัจจัยเกี่ยวกับลักษณะดิน ปัจจัยชนิดของพืชพรรณที่คลุมพื้นที่ และปัจจัยเกี่ยวกับตัวมนุษย์ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค ความสำคัญของแต่ละปัจจัยจะมากน้อยอย่างไรขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่และเหตุการณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.4. ผลของการตกตะกอน

[Selley, 1976] ได้กล่าวถึงการตกตะกอนเป็นการนอนก้นแยกตัวออกจากของเหลวของพวก ชิ้นส่วนที่เป็นของแข็ง ซึ่งการตกตะกอนที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นมีผลกระทบที่ตามมาหลายประการ เช่นผลที่เกิดขึ้นในลำน้ำตะกอนที่ตกในลำน้ำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแก่ลำน้ำนั้น ๆ เมื่อท้องน้ำตื้นเขินก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเดินของกระแสน้ำผลที่เกิดจากตะกอน มีดังนี้

1) การตกตะกอนในที่ที่มีสันคลอง (Embankments) เมื่อมีตะกอนตกในที่ที่มีสันคลองจะทำให้น้ำท่วมสูงขึ้นความจุของลำน้ำน้อยลงจึงต้องเสริมสันคลองให้สูงตาม ซึ่งจะทำให้สภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไปด้วย

2) ผลผลิตที่เกิดในอ่างเก็บน้ำผลกระทบเกี่ยวกับความปลอดภัยของโครงสร้างโดยมีผลต่อท่อระบายก้นอ่างเก็บน้ำ ผลกระทบตอความมั่นคงของโครงสร้างของส่วนประกอบของอ่างเก็บน้ำ ผลกระทบตอความมั่นคงของโครงสร้างของตัวเขื่อนทั้งแรงดันเนื่องจากตะกอนและการเกิดปฏิกิริยาทาง เคมีทำให้มีการกัดกร่อนในวัสดุของการก่อสร้าง ซึ่งควรจะมีการตรวจสอบความจุอ่างเก็บน้ำ เมื่อถึงฤดูแล้งอ่างเก็บน้ำเกือบแห้งเพราะมีตะกอนตกทับถม บริเวณก้นและขอบอ่างเก็บน้ำทุกปี ผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้ความจุของอ่างเก็บน้ำลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานลดลงด้วย การลดพื้นที่ผิวน้ำและระดับน้ำในอ่างฯจะมีผลกระทบตอชีวิตสัตว์น้ำวัชพืชน้ำ

3) การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำท้องน้ำเดิม เมื่อน้ำมีตะกอนมาก ตะกอนก็จะทับถมทำให้ความลาดชันของท้องน้ำเปลี่ยนและท้องน้ำก็จะพยายามปรับตัวให้อยู่ในสภาพสมดุล ตะกอนก็จะตกเพิ่มขึ้น ตะกอนที่ตกหลังเขื่อนในอ่างเก็บน้ำก็ทำให้ท้องน้ำเปลี่ยนไป โดยตรงหลัง

เขื่อนจะมีตะกอนเล็ก (Suspension Load) ตกมาทับถมก้อน ภายหลังตะกอนท้องน้ำจะค่อยๆเคลื่อนที่มาจนมารวมทับถมกันในอ่างเก็บน้ำ [นพคุณ โสมสิน, 2538]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3. สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE)

ในการที่จะเกิดการพังทลายของดินขึ้นได้นั้น จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่น ชนิดของดิน ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ ๖ ความลาดเทของพื้นที่ และความยาวของความลาดเท พืชที่ขึ้นในบริเวณที่พิจารณา ลักษณะการใช้ที่ดิน ลักษณะและอัตราการเกิดฝน และปัจจัยอื่นๆ รวมทั้งมีอิทธิพลซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาร่วมระหว่างตัวแปรหรือปัจจัยต่างๆดังได้กล่าวแล้ว ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นสูตรทางคณิตศาสตร์ขึ้น เพื่อเป็นหลักในการทำนายการสูญเสียดิน โดยบุคคลแรกที่ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์อธิบายขบวนการเกิดการพังทลายของดินคือ นักธรณีวิทยาชาวอเมริกันชื่อ [Baver, 1933] ซึ่งได้แสดงขบวนการเกิดการพังทลายของดินเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$E = f(R, G, V, S) \tag{2.1}$$

โดยที่

E	=	การพังทลายของดิน
R	=	ปัจจัยซึ่งเกี่ยวกับพลังงานในการตกกระทบของเม็ดฝน
G	=	ปัจจัยซึ่งเกี่ยวกับความลาดเทและพื้นที่เกิดการพังทลาย
V	=	ปัจจัยซึ่งเกี่ยวกับปริมาณและธรรมชาติของพืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณนั้น
S	=	ปัจจัยซึ่งเกี่ยวกับดิน

อย่างไรก็ตามการที่จะประเมินค่าโดยใช้วิธีทางด้านปริมาณ (Quantitative Evaluation) ที่จะกระทำวิเคราะห์ตัวแปรในสมการ (2.1) นั้นจะทำได้ยาก ดังนั้นจึงใช้วิธีอธิบายขบวนการเกิดการพังทลายของดินทางด้านคุณภาพแทน (Qualitative Aspect) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินหาค่าตัวแปรทางด้านปริมาณ เพื่อใช้คาดคะเนปริมาณการเกิดการพังทลายของดินโดย [Zingg, 1940] ได้คิดสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้คำนวณการสูญเสียดินในไร่นา ซึ่งสมการของ Zingg สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$X = CS^{1.4}L^{1.6} \tag{2.2}$$

โดยที่

X	=	ปริมาณดินสูญเสียทั้งหมด (ตัน/เอเคอร์)
C	=	ค่าคงที่
S	=	ความมากน้อยของความลาดเท (เปอร์เซ็นต์)
L	=	ความยาวของความลาดเท (ฟุต)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อมา [Smith, 1941] ได้ดัดแปลงสมการของ Zinggโดยเพิ่มตัวแปรบางตัวเข้าไปในสมการ ซึ่งเป็นตัวแปรที่เกี่ยวกับปัจจัยของพืชพืช (Crop) และการปฏิบัติในการอนุรักษ์ดิน (Conservation Practice) นอกจากนี้ Smith ยังได้แนะนำถึงปริมาณดินที่ยอมให้สูญเสียในแต่ละปี เพื่อหาวิธีการอนุรักษ์ดิน หลังจากนั้น [Browning et al, 1947] ได้สร้างสมการใหม่ขึ้นโดยอาศัยสมการของ Smith แต่เพิ่มตัวแปรอีกสองตัวเข้าไปในสมการเดิมคือ ความยากง่ายในการพังทลายของดิน (Soil Erodibility) และการจัดการดิน (Management Factor) โดยทำตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในสมการ เพื่อที่จะสามารถใช้สมการนี้ได้สะดวกมากยิ่งขึ้น ส่วน [Ldoyd และ Eley, 1952] ได้สร้างกราฟขึ้นเพื่อใช้การแก้สมการ ซึ่งหน่วยอนุรักษ์ดินของกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกาก็ได้ใช้วิธีการนี้ในรัฐต่างๆที่อยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา

การปรับปรุงสมการการสูญเสียดินได้กระทำขึ้นโดยศูนย์รวบรวมข้อมูลการสูญเสียดินและน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดินซึ่งตั้งขึ้นโดย Agricultural Research Service ที่มหาวิทยาลัยเพอร์ดิว ในระหว่างปี ค.ศ. 1954 - 1960 โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการพังทลายของดินซึ่งได้จากการศึกษาในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ.1930 และได้จากแปลงทดลองต่างๆจำนวนมากกว่า1,000 แปลงเป็นระยะเวลา 10 ปี ในสถานที่ทั้งหมด 47 แห่ง เพื่อทำการวิเคราะห์และสรุปการศึกษาการใช้วิธีเทคนิคการวิเคราะห์ชั้นสูงทำให้มีการปรับปรุงสมการการสูญเสียดินสมการเดิม จึงทำให้เกิดสมการการสูญเสียดินสมการใหม่ขึ้นจากการปรับปรุง คือ

1) การปรับปรุงดรรชนีการพังทลายของฝน(Rainfall Erosion Index)
2) วิธีการประเมินผลของการจัดการพืช (Cropping Management Effects) โดยยึดถือสภาพของภูมิอากาศแต่ละแห่งเป็นหลัก
3) ประเมินความยากง่ายของการเกิดการพังทลายของดินทางด้านปริมาณ (Quantitative Soil Erodibility Factor)
4) วิธีประเมินผลของปฏิกิริยาร่วมระหว่างตัวแปรต่างๆเช่นระดับของความสามารถในการให้ผลผลิตของดินการจัดลำดับพืชการจัดการเศษเหลือของพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปรับปรุงสมการสูญเสียดินจากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้เกิดเป็นสมการใหม่นี้ทำให้สามารถนำไปใช้ในสถานที่อื่นๆได้ จึงได้เรียกสมการสูญเสียดินที่ปรับปรุงใหม่นี้ว่า สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE)

$$Y = RKLSCP \tag{2.3}$$

โดยที่

Y = ปริมาณดินที่สูญเสียที่คำนวณได้ต่อเนื้อที่ โดยการพิจารณาถึงค่าปัจจัยต่างๆ 6 ปัจจัย (ตันต่อเฮกเตอร์ต่อปี)

R = ค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (Rainfall Erosivity Factor) ในปีที่มีฝนตกระดับปกติ ซึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยรายปี (เมตร-ตันต่อเฮกเตอร์ - เซนติเมตร)

K = ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (Soil Erodibility Factor)

L = ปัจจัยความยาวของความลาดเท (Slope Length Factor)

S = ปัจจัยความลาดเท (Slope Gradient Factor)

C = ปัจจัยการจัดการพืช (Cropping Management Factor)

P = ปัจจัยการปฏิบัติควบคุมการพังทลายของดิน (Conservation Practices Factor)

ต่อมา [Hilliard, 1977] ค้นพบว่า สมการการสูญเสียดินสากลสมการนี้เหมาะที่จะใช้คำนวณเฉพาะกับการสูญเสียดินอันเนื่องมาจากการพังทลายแบบเป็นแผ่นและแบบเป็นร่องน้ำขนาดเล็กเท่านั้น ส่วนการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินค่าการสูญเสียดินกรณีที่เป็นแบบร่องน้ำขนาดใหญ่หรือการประเมินค่าทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น วิธีการนี้อาจให้ผลค่าที่วิเคราะห์ออกมาได้มีความคลาดเคลื่อนมาก

2.4. การประเมินค่าปัจจัยสมการการสูญเสียดินสากล

การใช้สมการการสูญเสียดินสากลสามารถใช้คาดคะเนหรือประเมินการสูญเสียดินจากพื้นที่เพาะปลูกได้ทั้งเป็นรายปีหรือรอบการเพาะปลูก (Annual or Rotational Field) รอบปีของการเกิดซ้ำ (Return Period) และแต่ละครั้งที่ฝนตก (Individual Storm) ซึ่งอาจมีความถูกต้องลดลงแต่ก็สามารถประเมินได้ถ้าหากมีค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝน (EI-Index) และค่าปัจจัยการจัดการพืช(C-Factor) ในแต่ละครั้งที่ฝนตกปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการพังทลายของดินเมื่อพิจารณาตามลักษณะการเกิดการชะล้างพังทลายของดินจะประกอบด้วยลมฟ้าอากาศสภาพภูมิประเทศดินพืชพรรณและมนุษย์ซึ่ง [Baver, 1965] ได้สรุปเป็นปัจจัย5 ประการดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) ปัจจัยเกี่ยวกับลมฟ้าอากาศซึ่งมีอิทธิพลของฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดโดยลักษณะต่างๆ ของฝนเช่นลักษณะการตกความหนักเบาของฝนปริมาณน้ำฝนนอกจากนี้อิทธิพลของการเปลี่ยนอุณหภูมิก็มีส่วนเกี่ยวข้องอยู่ด้วย

2) ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศได้แก่ความลาดเทความยาวความลาดเทและรูปร่างของความลาดเทนับเป็นปัจจัยสำคัญที่จะชี้ได้ว่าดินจะมีการสูญเสียมากน้อยเพียงไร

3) ปัจจัยเกี่ยวกับพืชพรรณได้แก่ชนิดของพืชคลุมดินและลักษณะการปกคลุมผิวหน้าดินการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยมีพืชพรรณคลุมดินในลักษณะต่างๆย่อมมีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินแตกต่างกันไปด้วย

4) ปัจจัยเกี่ยวกับดินเป็นปัจจัยที่เกี่ยวกับสมบัติของดินเช่นความคงทนต่อการถูกกัดชะและเคลื่อนย้ายอัตราการซึมน้ำของดินความลึกของดินชั้นบน

5) ปัจจัยเกี่ยวกับมนุษย์ได้แก่วิธีการอนุรักษ์ดินวิธีการทำการเกษตร

2.5. สมการการสูญเสียดินสากลดัดแปลง (Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE)

จากการที่ค้นพบว่าสมการการสูญเสียดินสากลไม่เหมาะกับการวิเคราะห์กรณีที่เป็นแบบร่องน้ำขนาดใหญ่หรือการประเมินค่าทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ [Williams, 1975 a] นำเสนอให้แทนค่าปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนด้วยปัจจัยน้ำท่าในสมการ USLE เพื่อคาดคะเนประมาณตะกอนซึ่งประยุกต์กลายเป็น MUSLE มีรูปสมการเป็น

$$Y = B_1\left(Qq_p\right)^{B_2} KCPLS \qquad (2.4)$$

โดยที่

Y = ปริมาณตะกอนทั้งหมดที่ไหลออกมาจากลุ่มน้ำ (เมตริกตัน)

Q = ปริมาณของน้ำท่าหน่วย (ลูกบาศก์เมตร)

q_p = ปริมาณการไหลสูงสุด (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

B1 = ค่าคงที่ของข้อมูลแต่ละพายุฝนประยุกต์ร่วมกับวิธี GIS ในที่นี้ใช้ค่าเท่ากับ 11.8

B2 = ค่าคงที่ของข้อมูลแต่ละพายุฝนประยุกต์ร่วมกับวิธี GIS ในที่นี้ใช้ค่าเท่ากับ 0.56

K = ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (Soil Erodibility Factor) เป็น อัตราส่วนการสูญเสียดินต่อหน่วยดัชนีการชะล้างสำหรับดินชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะเมื่อดินนี้ได้รับการไถพรวนและปล่อยทิ้งว่างเปล่าติดต่อกันบนพื้นที่ลาดเทสม่ำเสมอ 9 เปอร์เซ็นต์และมีความยาวของความลาดเท 72.6 ฟุต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

C = ปัจจัยการจัดการพืช (Cropping Management Factor) เป็นอัตราส่วนของดินที่สูญเสียจากแปลงที่มีการจัดการพืชชนิดหนึ่งๆต่อการสูญเสียดินจากแปลงที่ไถพรวนตามความลาดเทแล้วปล่อยดินไว้ว่างเปล่าที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมอื่นๆ และสภาพพื้นที่เหมือนกัน

P = ปัจจัยการปฏิบัติควบคุมการพังทลายของดิน (Conservation Practices Factor) ซึ่งได้แก่อัตราส่วนของการสูญเสียดินที่เกิดจากแปลงอนุรักษ์ดินเช่นไถพรวนตามแนวระดับการปลูกพืชเป็นแถบสลับหรือการทำขั้นบันไดกับการสูญเสียที่เกิดจากการไถพรวนและปลูกพืชขนานกับทิศทางของความลาดเทในดินชนิดเดียวกันอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมอื่นๆและสภาพพื้นที่เหมือนกัน

L = ปัจจัยความยาวของความลาดเท (Slope Length Factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินจากพื้นที่นั้นๆกับพื้นที่ที่มีความลาดเทยาว 72.6 ฟุตในดินชนิดเดียวกันและความลาดชันเดียวกัน

S = ปัจจัยความลาดเท (Slope Gradient Factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินระหว่างการสูญเสียดินที่เกิดจากสภาพความลาดเทในสนามกับการสูญเสียดินที่เกิดจากความลาดเท 9 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นดินชนิดเดียวกันมีความยาวของความลาดเทเท่ากันและสภาพอื่นๆเหมือนกัน

2.6. ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน (Soil Erodibility Factor, K)

ความแตกต่างของลักษณะเนื้อดินโครงสร้างของดิน ซึ่งพิจารณารวมไปถึงความหนาแน่นของดิน การยอมให้น้ำซึมได้ และความสามารถในการซึมน้ำของผิวดินของดินแต่ละชนิดจะเป็นตัวกำหนดอัตราความคงทนของดินต่อการชะล้างพังทลาย ซึ่งเมื่อมีความต่างของปัจจัยก็จะได้ความสามารถในการถูกชะล้างพังทลายที่แตกต่างกันไป แม้ว่าจะมีการชะล้างและเคลื่อนย้ายแรงปะทะของน้ำฝน น้ำไหลบ่าหน้าดินในอัตราเดียวกันบนความลาดชัน และสภาพการปกคลุมดินของพืชพรรณใกล้เคียงกัน

ปัจจัยค่า K-Factor หมายถึงอัตราการสูญเสียดินต่อหน่วยดัชนีพลังชะล้างพังทลาย ซึ่งเป็นค่าที่ประเมินได้จากการทดสอบดินเพื่อพิจารณาว่าเป็นดินชนิดใดจากแปลงทดลอง ซึ่งมีลักษณะของแปลงทดลองคือ มีความยาว72.6 ฟุตและมีค่าความลาดเท 9 เปอร์เซ็นต์สม่ำเสมอ ไถพรวนขึ้นลงตามแนวความลาดเทอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาเพื่อมิให้พืชขึ้นเป็นเวลาไม่น้อยกว่า2 ปี ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำให้ค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินมีค่าตามสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

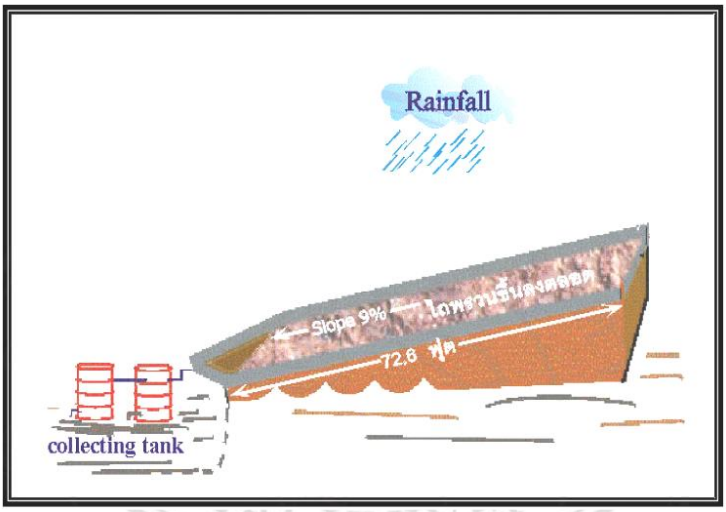
$$K = \frac{A}{R} \tag{2.5}$$

โดยที่

A = ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองรายปี

R = ปัจจัยชะล้างพังทลายของฝนรายปี

หลังจากนั้น [Roose, 1977] ได้ค้นพบว่า พื้นที่เกษตรกรรมแถบอัฟริกาที่มีความลาดชันที่ 9 % เป็นตัวแทนที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากหาตัวอย่างได้ยาก Roose จึงได้ดัดแปลงไปเลือกพื้นที่ในความลาดชันอื่นๆ และได้ปรับปรุงสูตรในการคิดคำนวณเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้ในพื้นที่ที่ไม่อยู่ภายใต้ความลาดชันและความยาวของความลาดชันในเกณฑ์ที่กำหนดไว้เดิม



รูป 2.1 แปลงทดลองขนาดเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ประเมินค่า K-Factor

ที่มา : พิณทิพย์ (2546)

ดังนั้นการนำมาใช้ในสมการสูญเสียดิน จึงต้องมีการประยุกต์หาค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายดิน (K-Factor) ได้จากสมการ

$$K = \frac{Y}{RLS} \tag{2.6}$$

โดยที่

K = ค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายดิน

Y = ผลรวมของปริมาณตะกอนที่วัดได้จากแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้นลงในแต่ละปี (ตันต่อเฮกเตอร์ต่อปี)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

R = ปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝนในแต่ละปี

S = ปัจจัยความลาดเท

แต่การหาค่า K-Factor จากแปลงทดลองภายใต้สภาพที่ควบคุมตามเกณฑ์มาตรฐานนั้น เป็นวิธีการที่ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายมาก เนื่องจากต้องทำการแยกสมบัติบางประการออกมาวิเคราะห์ ดังนั้น Wischmeier et al. (1971) จึงได้คิดค้นวิธีการหาค่า K ที่สะดวกและไม่ซับซ้อนด้วยการใช้สมบัติของดิน คือ ผลรวมเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง (Silt) กับทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand) เปอร์เซ็นต์ดินทราย (Sand) เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter) โครงสร้างดิน (Soil Structure) และการซึมน้ำในดิน (Soil Permeability)

ซึ่งสมบัติดังกล่าวนี้เป็นสมบัติของดินที่มีความสัมพันธ์ร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่า K จึงถูกนำมาสร้างเป็นแผนภาพโนโมกราฟ (Nomograph) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้ง่ายและสะดวก เมื่อทราบสมบัติของดินก็จะสามารถหาค่าK ได้ทันทีจากแผนภาพนี้และสามารถนำไปใช้หาค่า K ได้ในทุกสภาพท้องที่ ในการประเมินค่า K-Factor จากแผนภาพโนโมกราฟได้อาศัยสมการดังนี้

$$100K = 2.1M^{1.14}(10)^{-4}(12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3) \qquad (2.7)$$

โดยที่

K = ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน

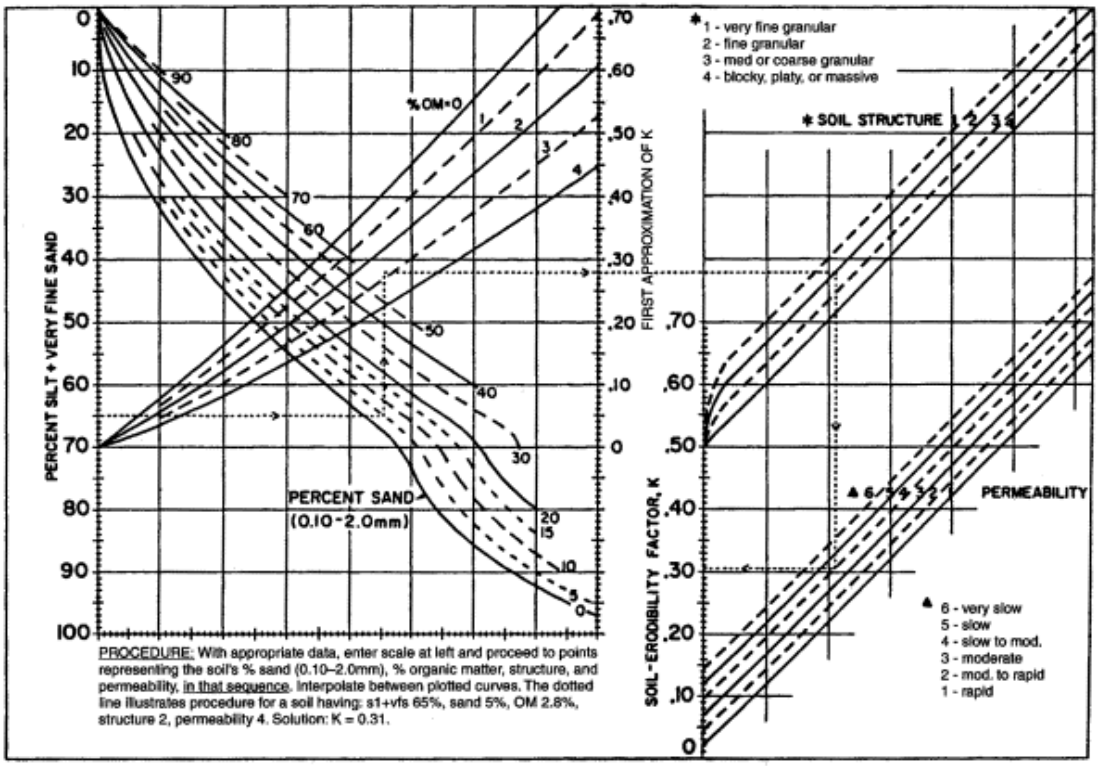
M = (%Silt and Very Fine Sand) x (100 - %Clay)

a = % Organic Matter

b = ดัชนีที่ใช้เป็นค่าแทนลักษณะโครงสร้างของดิน

c = ระดับอัตราการซึมน้ำของดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.2 แผนภาพโนโมกราฟสำหรับหาค่าK-Factor ในสมการUSLE

ที่มา : Wischmeier et al, 1971.

กรมพัฒนาที่ดิน (2526) ศึกษาการประเมินค่าปัจจัย K ของดินในประเทศไทยจากแผนภาพ Nomograph โดยอาศัยข้อมูลคุณสมบัติ 5 ประการ ของตัวแทนชุดดิน (soil series) ที่มีการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ ผลจากการศึกษาแนะนำให้ใช้สำหรับประเมินค่าปัจจัย K อย่างง่ายโดยพิจารณาจากเนื้อดินบน สภาพพื้นที่กำเนิดดิน และภูมิภาคที่พบ ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย

เนื้อดินบน	ค่า K									
	บริเวณที่สูง					บริเวณที่ลุ่มต่ำ				
	ตอ. ต่อ น.	เหนือ	กลาง	ตต.	ใต้	ตอ. ต่อ น.	เหนือ	กลาง	ตต.	ใต้
Sand	-	-	-	0.05	0.04	-	-	-	0.05	0.04
Loamy sand	0.04	0.05	0.08	0.07	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
Sandy loam	0.29	0.27	0.30	0.19	0.20	0.26	0.30	0.26	0.34	0.30
Loam	0.29	0.33	0.33	0.30	0.33	0.35	0.35	0.43	0.33	0.34
Silt loam	0.37	0.49	0.56	0.21	0.40	0.34	0.34	0.47	0.44	0.39
Silt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57
Sandy clay loam	0.24	0.21	0.20	0.25	0.19	0.20	0.22	0.21	0.23	0.21
Clay loam	0.25	0.24	0.28	0.30	0.29	0.36	0.27	0.19	0.25	0.31
Silty clay loam	0.46	0.35	0.38	0.37	0.31	0.43	0.42	0.29	0.38	0.21
Sandy clay	-	-	0.15	-	-	-	0.17	0.17	0.18	0.18
Silty clay	0.23	0.21	0.26	0.19	0.22	0.27	0.27	0.23	0.29	0.29
Clay	0.13	0.15	0.14	0.12	0.11	0.15	0.18	0.18	0.14	0.14

หมายเหตุ : ตอ. ต่อ น. คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และตต. คือ ภาคตะวันตก

ดินในประเทศไทย มีค่า K อยู่ระหว่าง 0.04 - 0.56 โดยกลุ่มชุดดินที่ 22 23 24 41 42 และ 43 ซึ่งมีเนื้อดินบนส่วนใหญ่เป็นดินทรายร่วน มีค่า K ต่ำสุด อยู่ระหว่าง 0.04 - 0.08 และกลุ่มชุดดินที่ 33 ซึ่งมีเนื้อดินบนส่วนใหญ่เป็นเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง มีค่า K สูงสุด คือ อยู่ระหว่าง 0.37 - 0.56 ขณะที่หน่วยธรณีวิทยาพวกหินทราย มีค่า K ต่ำสุด คือ อยู่ระหว่าง 0.04 - 0.08 และหน่วยธรณีวิทยา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พวกหินดินดานและหินอัคนี มีค่า K ค่อนข้างสูง คือ อยู่ระหว่าง 0.24 - 0.30 ผลการประเมินค่า K ของกลุ่มชุดดินมีแสดงในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ค่า K ของกลุ่มชุดดินจำแนกตามภูมิภาคของประเทศไทย

กลุ่มชุดดิน	ภาคใต้	ภาคเหนือ	ตอ.เฉียงเหนือ	ตะวันออก	กลางต่อตะวันตก
1 - 5	0.14	0.18	0.15	0.14	0.18
6 – 7	0.31	0.27	0.36	0.35	0.29
8	0.14	0.18	0.15	0.14	0.18
9	0.21	0.27	0.21	0.14	0.29
10 – 14	0.14	0.18	0.15	0.14	0.18
15	0.31	0.27	0.36	0.35	0.29
16	0.34	0.34	0.34	0.44	0.47
17 – 20	0.30	0.30	0.26	0.34	0.26
21	0.34	0.35	0.35	0.33	0.43
22	0.04	0.06	0.05	0.08	0.07
23	0.04	0.06	0.16	0.05	0.07
24	0.04	0.06	0.05	0.08	0.07
25	0.30	0.30	0.26	0.34	0.26
26	0.33	0.30	0.18	0.25	0.29
27	0.22	0.18	0.18	0.27	0.18
28	0.11	0.15	0.13	0.12	0.14
29 – 31	0.29	0.24	0.25	0.30	0.28
32	0.33	0.30	0.26	0.30	0.36
33	0.40	0.49	0.37	0.44	0.56
34	0.20	0.19	0.26	0.19	0.21
35 – 40	0.20	0.27	0.24	0.19	0.34
41	0.04	0.05	0.04	0.07	0.08
42	0.04	0.05	0.14	0.05	0.04
43	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04
44	0.07	0.05	0.04	0.05	0.08

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ค่า K ของกลุ่มชุดดินจำแนกตามภูมิภาคของประเทศไทย(ต่อ)

กลุ่มชุดดิน	ภาคใต้	ภาคเหนือ	ตอ.เฉียงเหนือ	ตะวันออก	กลางต่อตะวันตก
45	0.33	0.30	0.18	0.30	0.30
46	0.29	0.24	0.25	0.30	0.28
47	0.33	0.33	0.29	0.30	0.33
48 – 49	0.20	0.27	0.24	0.34	0.34
50	0.20	0.19	0.26	0.19	0.23
51	0.20	0.15	0.26	0.19	0.25
52	0.29	0.24	0.25	0.30	0.28
53	0.33	0.30	0.18	0.30	0.30
54 – 55	0.29	0.24	0.25	0.14	0.28
56	0.20	0.27	0.24	0.34	0.34
57 – 58	0.35	0.35	0.30	0.35	0.35
59	0.34	0.35	0.35	0.33	0.43
60	0.33	0.33	0.29	0.30	0.33
61	0.33	0.33	0.29	0.30	0.33
62	**พิจารณาตามหน่วยธรณีวิทยา**				

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2526)

2.7. ปัจจัยความยาวของความลาดเทและความลาดเท (Slope Length and Slope Gradient Factor, LS)

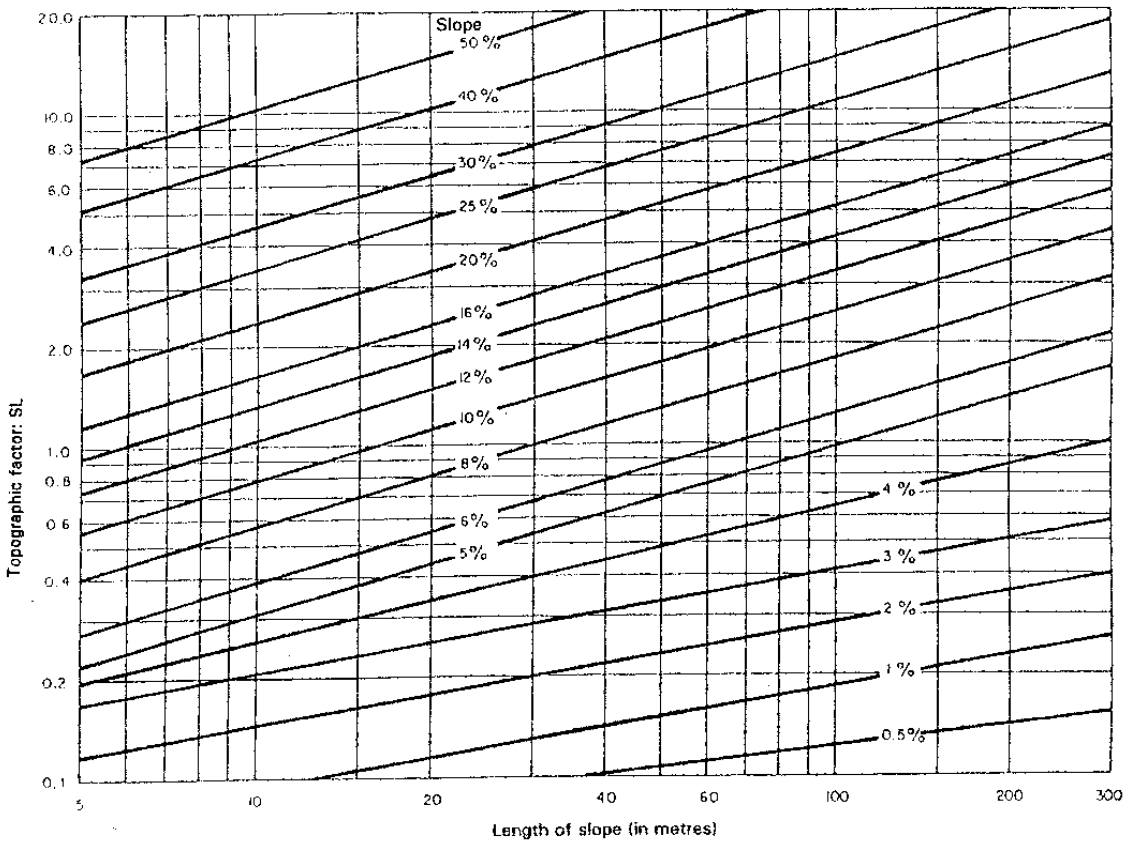
ลักษณะภูมิประเทศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการพังทลายของดิน เนื่องจากเป็นตัวช่วยส่งเสริมทำให้แรงดึงดูดของโลกมีบทบาทในการทำให้ดินเกิดการพังทลาย ลักษณะสำคัญ 2 ประการของภูมิประเทศ ได้แก่ 1) ความชันและความยาวของความลาดเทพื้นที่ที่มีความชันมาก และ 2) ความยาวความลาดเทมากจะทวีความรุนแรงของน้ำที่ไหลบ่าย่อมก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้มากกว่า

ค่า LS-Factor เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินต่อหน่วยพื้นที่ระหว่างปริมาณดินที่สูญเสียบนพื้นที่ลาดเทกับปริมาณดินที่สูญเสียจากแปลงมาตรฐาน (ยาว72.6 ฟุต กว้าง 6 ฟุต และมีค่าความลาดเทสม่ำเสมอ9%) ซึ่งอัตราส่วนของการสูญเสียดินที่เกิดจากพื้นที่ซึ่งมีความยาวของความลาดเท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และมีความชันต่างๆกันและสม่ำเสมอ แต่ปัจจุบันมีการดัดแปลงจนสามารถหาค่านี้ที่ได้จากแผนภาพผลของความลาดเท (Slope Effect Chart) และสมการLS-Factor

Wischmeier และคณะ(1958) ได้นำอัตราส่วนเฉพาะของการสูญเสียดินกับความยาวและเปอร์เซ็นต์ของความลาดเทมาสร้างเป็นแผนภาพแสดงค่าความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการสูญเสียดินกับความยาวและเปอร์เซ็นต์ความชันของความลาดเทดังแสดงในรูปที่ 2.3 และตาราง 2.3



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.3 แผนภาพประเมินค่า LS-Factor ที่ใช้ในสมการการสูญเสียดินสากล (USLE)
ที่มา: Wischmeier และคณะ (1958)

ตาราง 2.3 ค่าของ LS-Factor ในสมการการสูญเสียดินสากลในกรณีระดับและความยาวของความลาดเทต่างๆ

ระดับความลาดเท %	ฟุต	25	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
	เมตร	7.5	15	22.5	30	45	60	90	120	150	180	240	300
0.5		0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.2
1		0.09	0.1	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.2	0.21	0.22	0.24	0.26
2		0.13	0.16	0.19	0.2	0.23	0.25	0.28	0.31	0.33	0.34	0.38	0.4
3		0.19	0.23	0.26	0.29	0.33	0.35	0.4	0.44	0.47	0.49	0.84	0.57
4		0.23	0.3	0.36	0.4	0.47	0.53	0.62	0.7	0.76	0.82	0.92	1
5		0.27	0.38	0.46	0.54	0.66	0.76	0.93	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7
6		0.34	0.48	0.58	0.67	0.82	0.95	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1
8		0.5	0.7	0.86	0.99	0.2	1.4	1.7	2	2.2	2.4	2.8	3.1
10		0.69	0.97	1.2	1.4	1.7	1.9	2.4	2.7	3.1	3.4	3.9	4.3
12		0.9	1.3	1.6	1.8	2.2	2.6	3.1	3.6	4	4.4	5.1	5.7
14		1.2	1.6	2	2.3	2.8	3.3	4	4.6	5.1	5.6	6.5	7.3
16		1.4	2	2.5	2.8	3.5	4	4.9	5.7	6.4	7	8	9
18		1.7	2.4	3	3.4	4.2	4.9	6	6.9	7.7	8.4	9.7	11
20		2	2.9	3.5	4.1	5	5.8	7.1	8.2	9.1	10	12	23
25		3	4.2	5.1	5.9	7.2	8.3	10	12	13	14	17	19
30		4	5.6	6.9	8	9.7	11	14	16	18	20	23	25
40		6.3	9	11	13	16	18	22	25	28	31	-	-
50		8.9	13	15	18	22	25	31	-	-	-	-	-
60		12	16	20	23	28	-	-	-	-	-	-	-
80		26.3	37.6	46.2	53.2	-	-	-	-	-	-	-	-
100		40.4	57.8	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในช่วงความยาวของแนวความลาดเทเกินกว่า 90 เมตร (300 ฟุต) หรือระดับความลาดเทสูงกว่า18 เปอร์เซ็นต์เป็นค่าที่อยู่นอกช่วงผลของการทดลองการนำไปใช้ควรพิจารณาให้รอบคอบ

ที่มา: ดัดแปลงจากตาราง 3 ในARS-USDA และORD-EPA (1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่ง Williams และ Berndt (1976) ได้เสนอวิธีการหาค่าเฉลี่ยของความลาดชันด้วยวิธี Contour Length Method ด้วยการเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ออกมาเป็น

$$S = \frac{0.25\left(LC_{25} + LC_{50} + LC_{75}\right)}{DA} \tag{2.8}$$

โดย

Z = ความแตกต่างระหว่างพื้นที่ในลุ่มน้ำ

LC_{25} = ความยาวของเส้นชั้นความสูงที่ 25 เปอร์เซ็นต์ของ Z

LC_{50} = ความยาวของเส้นชั้นความสูงที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของ Z

LC_{75} = ความยาวของเส้นชั้นความสูงที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของ Z

S = ค่าเฉลี่ยความลาดเท

DA = ผลรวมของพื้นที่ระบายน้ำ

โดยที่ Williams's และ Berndt (1972) ใช้ค่าเฉลี่ยความยาวการไหลของน้ำบนพื้นที่ลุ่มน้ำแทนค่าความยาวตามลาดชัน (L) ด้วยการประยุกต์ใช้สมการ USLE สำหรับคำนวณค่าปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำ โดยพิจารณาว่าพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีทางน้ำอยู่หนึ่งสายอยู่ตรงกลางขนานกับด้านยาวของพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนั้นความยาวการไหลบนพื้นที่จึงเป็นครึ่งหนึ่งของด้านกว้างจึงมีรูปสมการเป็น

$$L = 0.5\left(\frac{DA}{LC}\right) \tag{2.9}$$

โดยที่

L = ความยาวของความลาดชัน (กิโลเมตร)

Lc = ความยาวรวมทั้งหมดทางน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ (กิโลเมตร)

DA = ผลรวมของพื้นที่ระบายน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งค่าของ LS-Factor สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$LS = \left(\frac{L}{22.1}\right)^{M} \left(0.005 + 0.0454\,S + 0.0065\,S^{2}\right) \qquad (2.10)$$

โดยที่

M = 0.5 สำหรับความชันที่มากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์

= 0.3 สำหรับความชันที่น้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์

L = ความยาวลาดชันหน่วยเป็นเมตร

S = ความลาดชันหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

2.8. ปัจจัยการจัดการพืช (Cropping Management Factor, C)

บนพื้นดินนั้นหากมีสิ่งปกคลุมบนพื้นผิวเช่น พืชสวน ไร่ นา จะนับว่าสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เนื่องจากช่วยดูดซับและลดแรงปะทะของเม็ดฝน อีกทั้งยังชะลอการไหลของน้ำไหลบ่าหน้าดินให้ช้าลง ในขณะเดียวกันยังเพิ่มสมบัติในการซึมน้ำของดิน ซึ่ง Schulz (1981) ได้ให้คำนิยามของค่าปัจจัยการจัดการพืช (C-Factor) ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณดินที่สูญเสียจากพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมกับปริมาณดินที่สูญเสียไปจากพื้นที่ที่ปราศจากสิ่งปกคลุม ซึ่งมีการไถพรวนดินเป็นแนวยาวตลอดตามแนวความลาดชัน เมื่อพื้นที่นั้นมีระดับของความลาดชันและความยาวของความลาดชันอันเดียวกันดังนั้นค่านี้จึงสามารถประเมินได้จากแปลงทดลองมาตรฐานที่สร้างขึ้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากสมการ

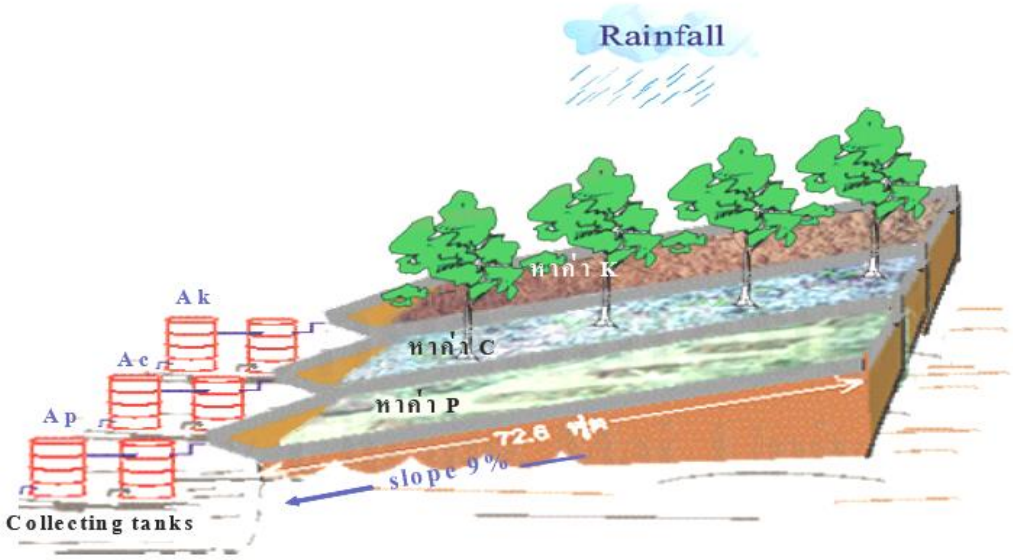
$$C = \frac{A_C}{A_K} \qquad (2.11)$$

โดยที่

A_C = การสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลองของพืชชนิดนั้น (ตันต่อเฮกเตอร์)

A_K = การสูญเสียดินจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (ตันต่อเฮกเตอร์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.4 แปลงทดลองหาค่า C-factor ของ Schulz (1981)

ที่มา : พิณทิพย์ (2546)

2.9. ปัจจัยการปฏิบัติการควบคุมการพังทลายของดิน (Conservation Practice Factor, P)

ปัจจัยการปฏิบัติการควบคุมการพังทลายของดินคือ สัดส่วนระหว่างปริมาณการสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลองที่มีการใช้วิธีอนุรักษ์ประเภทใดประเภทหนึ่งกับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองในสภาพพื้นที่ซึ่งทำการไถพรวนขึ้นลงตามความลาดชันในสภาพการณ์อย่างอื่นที่เหมือนกัน (Wischmeier (1978)) ดังนั้นค่า P–Factor สามารถประเมินได้จากสมการ

$$P = \frac{A_P}{A_K} \qquad (2.12)$$

โดยที่

A_P = การสูญเสียดินจากแปลงทดลองที่มีระบบอนุรักษ์ประเภทใดประเภทหนึ่ง (ตันต่อเฮกเตอร์)

A_K = การสูญเสียดินจากแปลงทดลองปล่อยดินทิ้งว่างเปล่าและไถพรวนขึ้นลงตลอดเวลา (ตันต่อเฮกเตอร์)

ค่าปัจจัยการปฏิบัติป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน ค่า P เป็นปัจจัยแสดงสมรรถนะในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากอัตราส่วนของปริมาณการสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลองที่มีการใช้วิธีการอนุรักษ์ประเภทใดประเภทหนึ่งกับปริมาณการสูญเสียดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากแปลงทดลองที่ไถพรวนดินขึ้นลงตามความลาดชันในสภาพการณ์อย่างอื่นที่เหมือนกัน ซึ่งค่า C และ P factor ของกรมพัฒนาที่ดิน 2543 มีค่าดังต่อไปนี้

ตาราง 2.4 ค่า C - factor และ P - factor สำหรับหน่วยแผนที่การใช้ที่ดิน 1:50,000

ชนิดพืช	ค่า C	ค่า P
นาร้าง	0.100	0.100
นาข้าว นาดำ นาหว่าน นาน้ำฝน	0.280	0.100
เกษตรผสมผสาน ต่อ ไร่นา	0.225	1.000
ข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ ข้าวไรน์	0.280	1.000
พืชไร่ พืชไร่ผสม พืชไร่อื่น ๆ	0.340	1.000
สับปะรด ว่านหางจระเข้ ป่านศรนารายณ์	0.380	1.000
ถั่วดำ ถั่วแดง งา ฝิ่น	0.386	1.000
ถั่วเขียว	0.390	1.000
อ้อย	0.400	1.000
ถั่วลิสง	0.406	1.000
ถั่วเหลือง	0.421	1.000
ฝ้าย ไร่ร้าง	0.500	1.000
ข้าวโพด	0.502	1.000
มันสำปะหลัง ปอแก้ว ปอกระเจา ปอสา ปอป่าน พืชเส้นใย	0.600	1.000
มันฝรั่ง มันแกว มันเทศ แตงโม ขิง กะหล่ำปลี มะเขือเทศ พริก	0.600	1.000
กัญชา กระเจี๊ยบ	0.600	1.000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 ค่า C - factor และ P - factor สำหรับหน่วยแผนที่การใช้ที่ดิน 1:50,000 (ต่อ)

ชนิดพืช	ค่า C	ค่า P
ข้าวฟ่าง ลูกเดือย	0.650	1.000
ข้าวไร่ ยาสูบ ทานตะวัน	0.700	1.000
ละหุ่ง	0.790	1.000
สัก สะเดา กระถิน ประดู่ ซ้อ	0.088	1.000
ไม้ยืนต้น ไม้ยืนต้นผสม ยางพารา ยูคาลิปตัส สนประดิพัทธ์	0.150	1.000
ปาล์มน้ำมัน	0.300	1.000
ไม้ชายเลน	0.000	0.000
ระกำ สละ	0.020	1.000
จามจุรี ก้ามปู	0.088	1.000
ชา ไผ่ ไม้ผล ไม้ผลผสม สวนผลไม้ ทุเรียน เงาะ ลิ้นจี่ มะม่วง	0.150	1.000
กล้วย มะขาม ลำไย ขนุน กระท้อน ชมพู่ มังคุด ลางสาด ลองกอง	0.150	1.000
ละมุด	0.150	1.000
สตรอเบอรี่ แรสเบอรี่	0.270	1.000
กาแฟ นุ่น ตีนเป็ด ส้ม พุทรา น้อยหน่า ฝรั่ง มะนาว	0.300	1.000
ไม้ผลเมืองหนาว	0.300	1.000
ไม้ดอก	0.386	1.000
หมาก มะพร้าว มะม่วงหิมพานต์ ตาล	0.400	1.000
หม่อน เปล้า มะละกอ พืชสวน พืชสวนผสม พืชผัก องุ่น พริกไทย	0.600	1.000
เสาวรส มะกอก	0.600	1.000
ไร่ร้าง	0.020	1.000
ไร่หมุนเวียน ข้าวไร่ (หมุนเวียน) ข้าวโพด (หมุนเวียน)	0.250	1.000
ถั่วต่างๆ (หมุนเวียน) งา (หมุนเวียน) มันต่างๆ (หมุ่นเวียน)	0.250	1.000
พืชผัก (หมุนเวียน) ฝิ่น (หมุนเวียน)	0.250	1.000
พื้นที่เตรียมปลูกไร่หมุนเวียน ทิ้งร้างไร่หมุนเวียน	0.250	1.000
หมาก มะพร้าว มะม่วงหิมพานต์ ตาล	0.400	1.000
หม่อน เปล้า มะละกอ พืชสวน พืชสวนผสม พืชผัก องุ่น พริกไทย	0.600	1.000
เสาวรส มะกอก	0.600	1.000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 ค่า C - factor และ P - factor สำหรับหน่วยแผนที่การใช้ที่ดิน 1:50,000 (ต่อ)

ชนิดพืช	ค่า C	ค่า P
ไร่ร้าง	0.020	1.000
ไร่หมุนเวียน ข้าวไร่ (หมุนเวียน) ข้าวโพด (หมุนเวียน)	0.250	1.000
ถั่วต่างๆ (หมุนเวียน) งา (หมุนเวียน) มันต่างๆ (หมุ่นเวียน)	0.250	1.000
พืชผัก (หมุนเวียน) ฝิ่น (หมุนเวียน)	0.250	1.000
พื้นที่เตรียมปลูกไร่หมุนเวียน ทิ้งร้างไร่หมุนเวียน	0.250	1.000
พื้นที่ทิ้งร้างจากการทำไร่หมุนเวียน ไร่เลื่อนลอยที่ยังใช้ประโยชน์	0.250	1.000
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	0.100	1.000
โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ผสม โรงเรือนเลี้ยงโค กระบือ สัตว์ปีก สุกร	0.000	0.000
คอกม้า	0.000	0.000
พืชน้ำ พืชน้ำผสม กก บัว กระจับ แห้ว ผักบุ้งน้ำ ผักกระเฉด	0.000	0.000
สถานที่เพาะเลี้ยวสัตว์น้ำร้าง สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำผสม	0.000	0.000
สถานที่เพาะเลี้ยงปลา กุ้ง ปู หอย สัตว์น้ำอื่นๆ ฟาร์มจระเข้	0.000	0.000
ป่าบึงน้ำจืดหรือ ป่าพรุ ป่าชายเลน	0.000	0.000
ป่าดิบชื้น ป่าดงดิบ ป่าไม้ผลัดใบอื่นๆ	0.001	1.000
ป่าดิบเขา	0.003	1.000
ป่าดิบแล้ง ป่าสนเขา	0.019	1.000
พื้นที่ป่าไม้ ป่าเบญจพรรณ ป่าแดงหรือป่าเต็งรัง ป่าแพะ ป่าผลัดใบ	0.020	1.000
ป่าไม้ผลัดใบเสื่อมโทรม ป่าดิบชื้นถูกทำลาย	0.040	1.000
ป่าละเมาะ	0.048	1.000
ป่าไผ่	0.150	1.000
ป่าผลัดใบเสื่อมโทรม ป่าไม้เสื่อมโทรม	0.250	1.000
ป่าชายหาด	0.450	1.000
สวนป่าไม้ชายเลน	0.000	0.000
สวนป่าสน สวนป่ายาง สวนป่ายูคาลิปตัส สวนป่าสัก สวนป่าสะเดา	0.088	1.000
สวนป่าสนประดิพัทธ์ สวนป่ากระถิน สวนป่าประดู่ สวนป่าซ้อ	0.088	1.000
สวนป่าเลียน สวนป่านางพญาเสือโคร่ง สวนมะยมป่า สวนแอปเปิ้ลป่า	0.088	1.000
สวนป่าเหรียง สวนป่าสีเสียด สวนป่าไม้กระยาเลย	0.088	1.000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 แสดงค่า C - factor และ P - factor สำหรับหน่วยแผนที่การใช้ที่ดิน 1:50,000 (ต่อ)

ชนิดพืช	ค่า C	ค่า P
สวนป่า สวนป่าผสม สวนป่าอื่นๆ วนเกษตร	0.088	1.000
นาร้างเขตชลประธาน	0.100	0.100
นาดำเขตชลประธาน นาหว่านเขตชลประทาน	0.280	0.100
ไม้ผลผสมเขตชลประธาน	0.100	1.000
กล้วยเขตชลประธาน	0.150	1.000
อ้อยเขตชลประธาน	0.400	1.000
มันสำปะหลังเขตชลประธาน	0.600	1.000
พื้นที่ลุ่ม พื้นที่ลุ่มน้ำขัง พื้นที่ลุ่มแฉะ	0.000	0.000
ทุ่งหญ้า ทุ่งหญ้าธรรมชาติ ทุ่งหญ้าปรับปรุงแล้ว สนามกอล์ฟ	0.015	1.000
ไผ่	0.020	1.000
ทุ่งหญ้าสลับไม้ละเมาะ	0.032	1.000
ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม หรือไม้พุ่ม ทุ่งหญ้าสลับไม้เตี้ย ไม้พุ่มและไม้ละเมาะ	0.048	1.000
บ่อขุดเก่า บ่อลูกรัง บ่อทราย บ่อดิน พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่นๆ	0.000	0.000
หาดทราย ที่หินโผล่ พื้นที่ทราย	0.800	1.000
เหมืองแร่	0.800	1.000
พื้นที่ซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ . พื้นที่อื่นๆ ซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์	0.800	1.000
พื้นที่ยังไม่ได้ทำประโยชน์ ที่ดินจัดสรร พื้นที่ดินถม พื้นที่อื่นๆ	0.800	1.000
ที่ทิ้งขยะ	0.000	0.000
นาเกลือ	0.000	0.100
โครงการที่ดินจัดสรร	0.000	0.000
ตัวเมืองและย่านการค้า หมู่บ้าน สถานที่ราชการและสถาบันต่างๆ	0.000	0.000
หมู่บ้านบนพื้นที่ราบ หมู่บ้านชาวเขาบนพื้นที่สูง พื้นที่อยู่อาศัยอื่นๆ	0.000	0.000
สถานีคมนาคม สนามบิน สถานีรถไฟ สถานีขนส่ง ท่าเรือ	0.000	0.000
ย่านอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์อพยพ	0.000	0.000
สุสาน สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ	0.000	0.000
พื้นที่น้ำ แม่น้ำลำคลอง แหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น	0.000	0.000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 แสดงค่า C - factor และ P - factor สำหรับหน่วยแผนที่การใช้ที่ดิน 1:50,000 (ต่อ)

ชนิดพืช	ค่า C	ค่า P
ทะเลสาบ บึง อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำในไร่นา	0.000	0.000

ตาราง 2.5 แสดงค่า C และ P ประเมินตามกลุ่มพืชและการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ ตามภูมิภาค

กลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดิน	กลาง ต่อ ตะวันตก		ภาคเหนือ		ตอ.เฉียงเหนือ		ตะวันออก		ภาคใต้	
	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P
นาข้าว	0.28	0.1	0.28	0.1	0.28	0.1	0.28	0.1	0.28	0.1
พืชไร่	0.485	1.0	0.474	1.0	0.525	1.0	0.485	1.0	0.322	1.0
ไม้ยืนต้น	0.15	1.0	0.15	1.0	0.15	1.0	0.15	1.0	0.16	1.0
ไม้ผล	0.30	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0
พืชสวน	0.60	1.0	0.6	1.0	0.6	1.0	0.6	1.0	0.6	1.0
ไร่หมุนเวียน	0.25	1.0	0.25	1.0	0.25	1.0	0.25	1.0	0.25	1.0
ทุ่งหญ้า	0.10	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0	0.1	1.0
เกษตรผสมผสาน	0.225	1.0	0.225	1.0	0.225	1.0	0.225	1.0	0.225	1.0
ป่าไม้ผลัดใบ	0.003	1.0	0.003	1.0	0.003	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
ป่าผลัดใบ	0.048	1.0	0.048	1.0	0.048	1.0	0.048	1.0	0.048	1.0
สวนป่า	0.088	1.0	0.088	1.0	0.088	1.0	0.088	1.0	0.088	1.0
วนเกษตร	0.088	1.0	0.008	1.0	0.088	1.0	0.088	1.0	0.088	1.0
ทุ่งหญ้าธรรมชาติ	0.015	1.0	0.015	1.0	0.015	1.0	0.015	1.0	0.015	1.0

หมายเหตุ : กลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวในตาราง ไม่มีการประเมินค่า C และ P

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2526)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10. แบบจำลองน้ำฝนและน้ำท่า (Rainfall - Runoff Model)

2.10.1. ความลึกการไหล (Runoff Depth)

ในการวิเคราะห์หาปริมาตรน้ำท่ามีความจำเป็นที่จะต้องใช้แบบจำลองน้ำฝน – น้ำท่า (Rainfall - Runoff Model) โดยคำนวณจากข้อมูลน้ำฝน ซึ่งแบบจำลองนี้มีรากฐานมาจากเทคนิคหมายเลขกราฟของ Soil Conservation Service (USDA – SCS, 1972) โดยที่ทำการพิจารณาค่าการสูญเสียเริ่มแรก (Initial Abstraction, I_a) โดยมีสมการคือ

$$I_a = \lambda S \tag{2.13}$$

และมีดัชนีเงื่อนความชื้นของดิน การวิเคราะห์ค่าน้ำท่าสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$Q = \frac{(P - \lambda S)^2}{P + S - \lambda S} \quad \text{สำหรับ} \quad P > \lambda S \tag{2.14}$$

และ

$$Q = 0 \quad \text{สำหรับ} \quad P \le \lambda S \tag{2.15}$$

โดยที่

Q = ปริมาตรน้ำท่ารายวัน (เซนติเมตร)

P = น้ำฝนรายวัน (เซนติเมตร)

S = พารามิเตอร์การเก็บกักความชื้น (เซนติเมตร)

λ = ค่าสัมประสิทธิพื้นที่ลุ่มน้ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.3

โดย Williams และ La Seur (1976) ได้กำหนดค่าดัชนีความชื้นของดินเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์การเก็บความชื้น (S) ในรูปแบบสมการ

$$SM = V - S \tag{2.16}$$

โดยที่

SM = ดัชนีความชื้นของดิน

V = ค่าที่มากที่สุดสำหรับการเก็บความชื้นไว้ในดินซึ่งถูกกำหนดไว้ให้มีค่าสูงสุด 50.8 เซนติเมตร

ในการกำหนดค่า V ให้มีเท่ากับ 50.8 เซนติเมตร เพื่อให้ค่าดัชนีความชื้นของดิน (SM) มีค่าที่กว้างพอที่จะยอมรับน้ำฝนรายวันได้

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4 \tag{2.17}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดย

CN = ค่าพารามิเตอร์ Curve number ของหมายเลขกราฟของ SCS กรณี AMC II

ค่าดัชนีความชื้นของดิน (SM) จึงมีรูปสมการเป็น

$$SM = 76.2 - \frac{2540}{CN} \tag{2.18}$$

ในระหว่างช่วงพายุฝนลูกหนึ่งถึงพายุฝนอีกลูกหนึ่งความชื้นของดินจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เกิดจากมีการระเหยของน้ำจากผิวดิน รวมไปถึงการซึมของน้ำลงไปในดินและการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีความชื้นของดิน การระเหยของน้ำและค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียความชื้นในรูปของสมการกำลังสองคือ

$$\frac{d(SM)}{dt} = -B * LE * SM^2 \tag{2.19}$$

โดย

t = เวลา

B = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความชื้นในดิน

LE = ค่าการระเหยของน้ำ

เมื่อนำมาทำการอินทริเกรท จะได้สมการดังนี้

$$SM_t = \frac{SM_{t-1}}{1 + B * SM_{t-1} \sum_{t=1}^{T} LE_t} \tag{2.20}$$

โดย

SM_{t-1} = ค่าดัชนีความชื้นของดินที่เวลา t-1

SM_t = ค่าดัชนีความชื้นของดินที่เวลา t

LE_t = ค่าการระเหยเฉลี่ยรายเดือนสำหรับวันที่ t

T = จำนวนวันระหว่างที่เริ่มต้นพายุ

ในช่วงที่เกิดพายุฝนจะมีการซึมของน้ำลงไปในดินรวมอยู่ด้วยจึงต้องเพิ่ม R – Q ลงไปในสมการดัชนีความชื้นของดินค่าดัชนีความความชื้นของดิน ณ ช่วงเวลาหนึ่งจึงเป็น

$$SM_t = \frac{SM_{t-1} + R}{1 + \left\{B * (SM_{t-1} + R) \sum_{t=1}^{T} LE_t\right\}} \tag{2.21}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความชื้นในดินขั้นเริ่มต้น จะให้เป็นค่าเฉลี่ยรายวัน ซึ่งสามารถประมาณค่าได้จากค่าเฉลี่ยจากน้ำฝนรายปีและค่าเฉลี่ยจากน้ำท่ารายปี แล้วทำการหารด้วยจำนวนวันในหนึ่งปี สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการคือ

$$DP = \frac{AVR - AVQ}{365} \tag{2.22}$$

โดย

DP = ค่าเฉลี่ยการสูญเสียความชื้นในดิน (เซนติเมตร)

AVR = ค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ย (เซนติเมตร)

AVQ = ค่าน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (เซนติเมตร)

ค่าดัชนีความชื้นของดินได้มาจากการคำนวณ โดยใช้ค่า CN กับค่าความชื้นในดินและเมื่อน้ำฝนกับน้ำท่ามีค่าเป็นศูนย์ผลลัพธ์ของสมการคือ

$$DP = SM_a - SM_t \tag{2.23}$$

และ

$$DP = SM_a - \frac{SM_a}{\left(1 + B * SM_a * LE_t\right)} \tag{2.24}$$

หรือ

$$B = \frac{-DP}{LE_t * SM_a\left(DP - SM_a\right)} \tag{2.25}$$

โดยที่

SM_a = ค่าดัชนีความชื้นของดินเริ่มต้น

ค่า CN จะพิจารณาจากประเภทของกลุ่มดินลักษณะการใช้ที่ดิน (ดังตาราง 2.6) และเงื่อนไขความชื้นก่อนหน้านี้ (Antecedent Moisture Condition, AMC) โดยค่า CN (พัฒนาขึ้นโดย Soil Conservation Service) ได้ถูกแบ่งออกเป็นประเภทชุดดินทางอุทกศาสตร์ (Hydrologic Soil Group, HSG'S) 4 ประเภท คือ

กลุ่มดินชุด A = กลุ่มชุดดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้สูง

กลุ่มดินชุด B = กลุ่มชุดดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง

กลุ่มดินชุด C = กลุ่มชุดดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ค่อนข้างต่ำ

กลุ่มดินชุด D = กลุ่มชุดดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.6 แสดงการจำแนกชุดดินทางอุทกศาสตร์ (Hydrologic Soil Group, HSG'S) ของ SCS จากกลุ่มชุดดิน

ชุดดินทางอุทกศาสตร์	กลุ่มชุดดิน	ชุดดินทางอุทกศาสตร์	กลุ่มชุดดิน
A	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 56	B	33, 34, 37, 41, 42, 48, 49, 53, 55, 60, 61, 62
C	7, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25	D	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 23, 57, 58, 59

ที่มา : ณัฐ (2542)

ที่ช่วงเวลาเริ่มต้นของการเกิดพายุฝนจะเป็นการณีที่ค่า CN จะเป็น 0 (ยังไม่เกิดน้ำท่า) และในกรณีที่ CN เท่ากับ100 (ปริมาณฝนส่วนเกินจะเท่ากับปริมาณฝนที่ตกทั้งหมด) สำหรับเงื่อนไขความชื้น (AMC) สามารถแบ่งออกเป็น 3 เงื่อนไขด้วยกันคือ

1. AMC (I) คือเงื่อนไขความชื้นต่ำ
2. AMC (II) คือเงื่อนไขความชื้นปานกลาง
3. AMC (III) คือเงื่อนไขความชื้นสูง

ค่า CN(II) จะถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเงื่อนไขความชื้นสภาพทั่วไป AMC (II) ซึ่งจะได้ค่ามาจากการจำแนกชุดดินทางอุทกศาสตร์ (Hydrologic Soil Group, HSG'S) ดังตาราง 2.6 แต่สำหรับเงื่อนไขความชื้นต่ำ AMC (I) จะใช้ค่า CN(I) และเงื่อนไขความชื้นสูง AMC (III) จะใช้ค่า CN(III) โดยที่ค่า CN กรณี (I) และ (III) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.26 และ 2.27 ดังนี้

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (2.26)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 - 0.13CN(II)} \quad (2.27)$$

โดยมีช่วงเงื่อนไขความชื้นประเภทต่างๆขึ้นอยู่กับปริมาณฝนสะสมทั้งหมดที่ตกก่อนหน้าช่วงที่พิจารณา 5 วัน (มม.) นอกจากนั้นยังพิจารณาช่วงฤดูกาลเพาะปลูกชนิดพืชดังแสดงในตาราง 2.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.7 การจำแนกเงื่อนไขความชื้นก่อนหน้า (AMC)

ชนิดของความชื้นเริ่มต้น	ปริมาณฝนสะสมก่อนหน้า 5 วัน (มม.)	
(AMC)	ฤดูแล้ง (ไม่มีการเพาะปลูก)	ฤดูฝน (มีการเพาะปลูก)
I	ต่ำกว่า 12.7	ต่ำกว่า 35.6
II	12.7 ถึง 27.9	35.6 ถึง 53.3
III	มากกว่า 27.9	มากกว่า 53.3

ที่มา : Soil Conservation Service (1972)

2.10.2. อัตราการไหลสูงสุด (Peak Runoff)

NRCS (1986) และ Zhang และคณะ (2009) ได้อ้างอิงถึงวิธีในการหาอัตราการไหลสูงสุด โดยในที่นี้ได้ใช้สมการเพื่อหา q_p คือ

$$q_p = q_u A R F_p \tag{2.28}$$

โดยที่

q_u = ค่า unit peak discharge (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตรต่อมิลลิเมตร)

A = พื้นที่ที่ทำการพิจารณาเป็นกริดเซลล์ (ตารางกิโลเมตร)

R = ความลึกการไหล (มิลลิเมตร)

F_P = ค่า pond and swamp adjustment factor

ซึ่งสามารถหาค่า unit peak discharge (q_u) ได้จากสมการ

$$q_u = 10^{(C_0 + C_1 \log T + C_2 (\log T)^2)} \tag{2.29}$$

โดยที่ C_0 C_1 และ C_2 คือตัวแปลตามข้อกำหนดของ NRCS (1986) ซึ่งสามารถหาได้จากการพิจารณาประเภทของฝน ค่า I_a และรอบปีการเกิดซ้ำ 2 ปีของน้ำฝน กับเวลาการเดินทางของน้ำท่า (Travel time) ที่มีหน่วยเป็นชั่วโมง ซึ่งในการจะหาค่าเวลาการเดินทางของน้ำท่าได้นั้นจำเป็นที่จะต้องอาศัยการคำนวณโดยใช้วิธีการแก้ปัญหาจลนศาสตร์ของแมนนิ่ง (NRCS, 1986) คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$T = \frac{0.091(nL)^{0.8}}{J^{0.5}s^{0.4}} \qquad (2.30)$$

เมื่อ n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's roughness coefficient) โดยสามารถดูได้จากตารางในภาคผนวก ก1 (Vieux, 2004) L คือค่า flow path length ในหน่วยเมตร s คือค่าเปอร์เซ็นต์ความลาดชัน และ J คือรอบปีการเกิดซ้ำ 2 ปีของน้ำฝนในหน่วยมิลลิเมตร ซึ่งอ้างอิงตารางจากข้อมูลในภาคผนวก ก2

2.11. แบบจำลองการพัดพาของตะกอนดิน (Sediment delivery distributed model: SEDD)

ในการเกิดการพัดพาของตะกอน สาเหตุที่ทำให้เกิดการพัดพาและอัตราส่วนของตะกอนที่ถูกพัดพาที่มาจากการพังทลายของดินนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับการกัดเซาะและการพัดพาเท่านั้น แต่ยังต้องคำนึงถึงผลจากลักษณะของภูมิประเทศ ปัจจัยอุทกวิทยาและลักษณะของลุ่มน้ำ (Fu และคณะ, 2006)

โดยที่ Ferro และ Porto (2000) ได้เสนอรูปแบบสมการจำลองกระบวนการพัดพาของตะกอนดินในลุ่มน้ำ (SDR) โดยทำการวิเคราะห์ในลักษณะต่อ Grid cells (SDR_i) และใช้แบบจำลองการพัดพาตะกอน (SEDD) ซึ่ง SDR ใน Grid cells เป็นฟังก์ชั่นที่พิจารณาถึงเวลาในการเคลื่อนที่ภายในกริดเซลล์ ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะการใช้ที่ดิน ดังนั้นการพิจารณาความสัมพันธ์ของ SDR จะไม่เหมือนกันทั่วทั้งลุ่มน้ำ โดยความแตกต่างนี้จะมาจากข้อมูลที่พิจารณา ตามทฤษฎีของ Stefano et al. (2000) ที่แสดงให้เห็น SDR_i คือ

$$SDR_i = \exp(-\beta t_i) \qquad (2.31)$$

โดย t คือเวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ชั่วโมง) ของการไหลจากเซลล์ i ไปยังเซลล์ที่ใกล้ที่สุดลงเส้นทางการระบายน้ำ และ β เป็นค่าสัมประสิทธิ์คงที่ที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับลุ่มน้ำที่ศึกษา สามารถประมาณได้จากความยาวและความเร็วสำหรับเส้นทางการไหล ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปแบบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งจะสามารถหาทิศทางการไหลจากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียง (พิจารณาจากทิศทางการไหลทั้งแปดทิศทาง, D8 Logarithm) วิธีนี้เลือกทิศทางโดยพิจารณาจากความลาดชันทั้งหมดแปดทิศหลังจากการพิจารณาตามขั้นตอนแล้วจะสามารถระบุทิศทางการไหลในแต่ละเซลล์ไปยังเซลล์ต่อๆไปได้ (Maidment, 1993) ถ้าระยะทางการไหลจากเซลล์เริ่มต้นไปยังเซลล์ต่อไป (มีหน่วยเป็นเมตร) ความยาวของการไหลของเซลล์ที่ i เป็น l_i (ซึ่งอาจจะเท่ากับความยาวของด้านตารางหรือเส้นทแยงมุม ขึ้นอยู่กับทิศทางของการไหลในเซลล์ที่ i) และความเร็วของการไหลในเซลล์ เป็น v_i เวลาในการเดินทางจากเซลล์ i ไปยังช่องทางที่ใกล้ที่สุดที่สามารถประมาณได้จากข้อสรุปเวลาผ่านแต่ละเซลล์ตั้งอยู่ในเส้นทางการไหล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$t_i = \sum_{i=1}^{m} \frac{l_i}{v_i} \quad (2.32)$$

ความเร็วการไหลจะพิจารณาจากความลาดชันของพื้นผิวดินและลักษณะสิ่งปกคลุมดิน:

$$v_i = a_i * S_i^b \quad (2.33)$$

โดยที่ Ferro และ Minacapilli (1995) กำหนดค่าตัวแปร b ให้เป็นค่าคงที่ของตัวเลขมีค่าเท่ากับ 0.5 ส่วน S_i^b เป็น ความลาดชันของเซลล์ที่ i (ม. ต่อ ม.) และ i เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Haan et al., 1994) นำสมการ (2.29) และ (2.30) แทนลงในสมการ (2.28) ได้

$$SDR_i = \exp\left(-\beta \sum_{i=1}^{m} \frac{l_i}{a_i S_i^{0.5}} \right) \quad (2.34)$$

ค่าพารามิเตอร์เฉพาะของลุ่มน้ำ (β) ขึ้นอยู่กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการสร้างแบบจำลองโดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองผกผัน (Saavedra, 2005) จนได้ตะกอนที่มีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนที่ได้จากการวัด โดย Jainand Kothyari (2000) ได้แนะนำให้ใช้ค่า β ระหว่าง 0.1ถึง 1.6โดยให้เพิ่มขึ้นครั้งละ0.1 แต่ Fu et al.(2006) ได้แนะนำให้ใช้ค่า β ระหว่าง 0.5 ถึง 2.0โดยให้เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.1

ถ้า Y คือค่าปริมาณของการพังทลายของดินที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ที่ i ของลุ่มน้ำคำนวณได้จากแบบจำลอง MUSLE ระหว่าง เหตุการณ์พายุที่ได้รับดังนี้

$$S_y = \sum_{i=1}^{N} SDR_i Y_i \quad (2.35)$$

โดยที่ N คือจำนวนของเซลล์ในลุ่มน้ำและ SDR เป็นค่าที่ได้จากสมการที่ (2.34) ซึ่ง SDR เป็นกระจายเชิงพื้นที่ในแต่ละกริดเซลล์ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการควบคุมการพังทลายของดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.12.ภูมิสารสนเทศ

ความหมายของระบบภูมิสารสนเทศภูมิสารสนเทศ (Geoinformatic) ประกอบด้วยเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์(Geographic Information System) และระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและ ภูมิสารสนเทศ, 2547 : 1)

2.12.1. การสำรวจข้อมูลระยะไกล

การสำรวจขอมูลระยะไกลหรือรีโมทเซนซิ่ง (Remote Sensing) เป็นทั้งศิลป์และศาสตร์ของ การได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุสิ่งของหรือวัตถุเป้าหมายหรือปรากฏการณ์ต่างๆ โดยการใช้เครื่องมือใน การบันทึกข้อมูล โดยที่เครื่องมือดังกล่าวไม่สัมผัสกับวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้ต้องอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อนำในการส่งผ่านข้อมูลดังกล่าว ข้อมูลที่บันทึกได้จะแตกต่างกันออกไปและขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Spectral variations) ความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงของรูปลักษณะของวัตถุ (Spatial Variations) และการเปลี่ยนแปลงการเวลา (Temporal Variations) (แก้วนวลฉวี, 2541 : 37)

รีโมทเซนซิ่ง ประกอบด้วยคำ 2 คำ คือ “Remote” หมายถึงระยะไกล และ Sensing หมายถึง การสัมผัส การรับรู้ถ้าตีความตามศัพท์หมายถึงการรับรู้ข้อมูลในระยะไกลโดยผ่าน เครื่องมือซึ่งผู้รับรู้ไม่ได้สัมผัสกับขอมูลนั้นๆได้โดยตรง (ศุทธินีดนตรี, 2544: 1)

เครเมอร์(Kramer, 1992: 200) ได้กล่าวไว้ว่าการสำรวจข้อมูลระยะไกลเป็นการวัดหรือการได้มาซึ่งข้อมูลตามคุณสมบัติของวัตถุหรือปรากฏการณ์โดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุหรือปรากฏการณ์นั้นๆในขณะที่ทำการศึกษา

ไลล์เลแซนด์ คีฟเฟอร์และชิพแมน (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2004) กล่าวไว้ว่าการสำรวจข้อมูลระยะไกลคือข้อมูลที่มีทั้งศาสตร์และศิลป์เกี่ยวกับวัตถุพื้นที่หรือปรากฏการณ์ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาโดยปราศจากการสัมผัสโดยตรงกับวัตถุพื้นที่หรือ ปรากฏการณ์

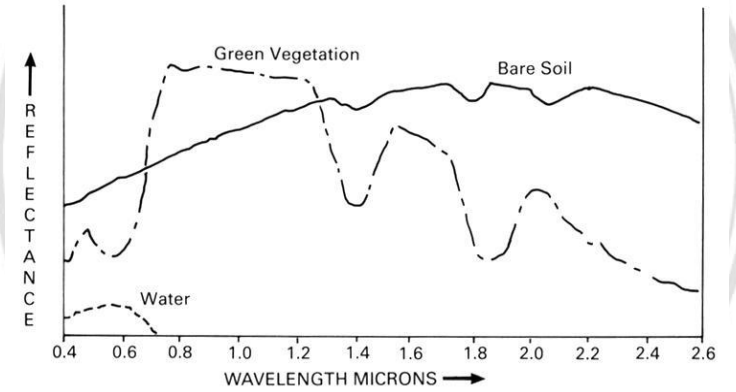
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศองค์กรมหาชน (2540) ได้กล่าวถึงความหมายของการสำรวจระยะไกลหรือรีโมทเซนซิ่ง (Remote Sensing) ว่าเป็น วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่งที่ใช้ในการบ่งบอกจำแนกหรือวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุต่างๆโดยปราศจากการสัมผัสโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรุปได้ว่าการสำรวจระยะไกลหรือรีโมทเซนซิ่งคือ การสัมผัส การรับรู้ โดยอาศัย คุณสมบัติการดูดกลืน การสะท้อน และการแผ่รังสีของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อจำแนกประเภท และสภาพแวดล้อมต่างๆของวัตถุโดยปราศจากการสัมผัสโดยตรง

2.12.2. การแปลความหมายของภาพถ่ายดาวเทียม

ในการแปลความหมายของวัตถุในภาพถ่ายดาวเทียมจำเป็นต้องศึกษาค่าการสะท้อน เชิงคลื่นและค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นจากพื้นผิวของวัตถุที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งทำให้สามารถจำแนกประเภทของสิ่งปกคลุมดินนั้นได้ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540: 18 - 19)



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของพืช ดิน และน้ำ

ที่มา : Lillesand, Kiefer &Chipman, (2004). Remote Sensing and Image Interpretation.

พืชพรรณ ในช่วงคลื่นมองเห็น ได้แก่ความยาวในช่วงคลื่นแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างช่วงคลื่นของแสงกับการสะท้อนแสงของวัตถุต่าง ๆ ช่วงคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็นจะอยู่ ในช่วงความยางคลื่น 0.45 – 0.65 ไมครอน ดังนั้นมนุษย์จึงมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว ถ้าใบพืชมีอาการผิดปกติเช่นแห่งเหี่ยว ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงก็จะทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีแดงสูงขึ้นในช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน (Reflected Infrared) (0.7-1.3 ไมครอน) การสะท้อนพลังงานของใบ พืชจะสูง คือ จะสะท้อนพลังงานประมาณร้อยละ 50 ของพลังงานที่ตกกระทบ ซึ่งลักษณะของการ สะท้อน พลังงานนี้เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างภายในของพืช (Cell Structure) เนื่องจากพืชก็จะ สามารถแยกชนิดจะมีลักษณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน ดังนั้นถ้าวัดการสะท้อนพลังงานในช่วงนี้ก็จะสามารถแยกชนิดของพืชได้แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของพืชในช่วงคลื่นเห็นได้จะใกล้เคียงกัน

ดิน ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณ อินทรียวัตถุเนื้อดินปริมาณเหล็กออกไซด์และความขรุขระของผิวดิน ปัจจัยดังกล่าวมีสัมพันธ์กัน เช่นลักษณะเนื้อดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน ดินทรายหยาบจะสะท้อนพลังงานสูง ดินละเอียดมีการระบายน้ำเลวจะสะท้อนพลังงานต่ำดินที่มีอินทรียวัตถุสูงจะมีสีคล้ำดูดกลืนพลังงานสูงในช่วงสายตามองเห็น ดินที่มีผิวขรุขระมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลง

น้ำ การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่น อินฟราเรด ทำให้สามารถเขียนขอบเขตของน้ำได้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศองค์กรมหาชน, 2542: 146 - 156)

ขั้นตอนการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) ได้2ลักษณะ คือ

1. UnSupervised Classification เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลโดยอาศัยค่าทางสถิติของการสะท้อนแสงช่วงคลื่นแสงวัตถุต่าง ๆ สามารถกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลที่จะแยก ได้โปรแกรมจะคำนวณหาค่าเฉลี่ยและจัดประเภทของกลุ่มข้อมูล การจำแนกวิธีนี้มักใช้กับพื้นที่ที่ ผู้ศึกษาไม่รู้สภาพพื้นที่จริง
2. Supervised Classification เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลโดยอาศัยพื้นที่ตัวอย่าง (Training Area) ของพื้นที่ศึกษาเป็นตัวแทนของกลุ่มประเภทข้อมูลของพื้นที่ในภาพจากดาวเทียมเพื่อคำนวณทางสถิติ เช่นค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าCovariance Matrix ของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวเป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลของพื้นที่ทั้งหมด การจำแนกประเภทข้อมูลแบบ Supervised Classification ที่นิยมใช้คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- Minimum Distance to Means Classification การจำแนกประเภทข้อมูล โดย พิจารณาค่าสะท้อนช่วงคลื่นของแต่ละจุดภาพว่ามีความห่างน้อยที่สุดจากค่าจุดศูนย์กลาง (ค่าเฉลี่ย) ของประเภทข้อมูล

- Pararellepiped Classification การจำแนกประเภทข้อมูลโดยกำหนดช่วงผัน แปร (Varriance) ของประเภทข้อมูลจากค่าสะท้อนช่วงคลื่นต่ำสุดและสูงสุดภายในพื้นที่ข้อมูล

- Maximum Likelihood Classification การจำแนกประเภทข้อมูลโดยพิจารณา ค่าMean Vector และ Covarriance Matrix ของข้อมูลแต่ละประเภท โดยตั้งสมมติฐานว่าแต่ละประเภทข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ(Normal Distribution) แล้วคำนวณค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของแต่ละจุดภาพว่าถูกจำแนกในประเภทข้อมูลใด โดยทั่วไปวิธีนี้ให้ความถูกต้องมากที่สุดและใช้เวลาคอมพิวเตอร์มากด้วย (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2536 : 174 - 178)

2.12.3. ข้อมูลดาวเทียม Landsat

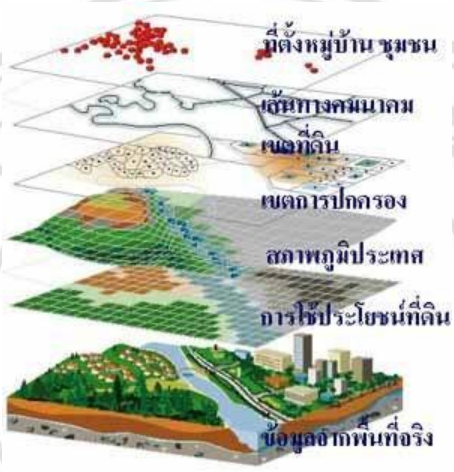
เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของสหรัฐอเมริกา โดยมีหน่วยงานทำหน้าที่รับผิดชอบ 3 หน่วยงาน คือ NASA NOAA และ USGS ปัจจุบันมีการส่งขึ้นไปบนอวกาศแล้ว7 ดวง ในการศึกษาครั้งนี้มีการใช้ข้อมูลของดาวเทียมเพื่อแปลสภาพการใช้ที่ดินและการปรับปรุง ข้อมูลการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลของดาวเทียม Landsat 5 ระบบ TM (Thematic Mapper) และ Landsat 7 เป็นระบบ ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลหลาย ช่วงคลื่น (Multispectral) มีค่าระดับสีเทา 256 ระดับ (8 Bit ต่อ1 Pixels)

2.12.4. แบบจำลองเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS)

แบบจำลองเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) หรือ GIS เป็นกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ ซึ่งจัดการด้วยระบบคอมพิวเตอร์ GIS มีไว้เพื่อกำหนดข้อมูลสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ตำแหน่งในแผนที่ของสถานีวัดน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พิกัดของเส้นรุ้ง-เส้นแวง ซึ่งข้อมูลและตำแหน่งพิกัดของแผนที่ใน GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูล และฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย จะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ เช่น การกระจายตัวของฝน ทิศทางการไหลของลำน้ำ การเปลี่ยนแปลงของการใช้พื้นที่ ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้ เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปลและสื่อความหมาย ใช้งานได้ง่าย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการเชื่อมโยงข้อมูล

โดย GIS จะเป็นระบบข้อมูลข่าวสารที่เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ แต่สามารถแปลความหมายเชื่อมโยงกับสภาพภูมิศาสตร์อื่นๆ สภาพท้องที่ สภาพการทำงานของระบบสัมพันธ์กับสัดส่วนระยะทางและพื้นที่จริงบนแผน ข้อมูลที่จัดเก็บใน GIS มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่แสดงในรูปของภาพ (graphic) แผนที่ (map) ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Data) หรือฐานข้อมูล (Database)การเชื่อมโยงข้อมูลทั้งสองประเภทเข้าด้วยกัน จะทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะแสดงข้อมูลทั้งสองประเภทได้พร้อมกัน GIS จะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ คือค่าพิกัดที่แน่นอน ข้อมูลใน GIS ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย สามารถอ้างอิงถึงตำแหน่งที่มีอยู่จริงบนพื้นโลกได้โดยอาศัยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geocode)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved