



การประเมินการชะล้างพังทลายของดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมด้วย Cs137
Evaluation of Soil Erosion
in Agricultural Areas Using Cs137

วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล
ประไพพิศ ศรีมวังก์
พัลลภ หงษ์เจริญไทย

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
พ.ศ. ๒๕๕๙

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญตารางผนวก	(3)
สารบัญภาพ	(4)
บทคัดย่อ	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	23
สถานที่ศึกษา	41
ผลการศึกษาและวิจารณ์	42
สรุปผลการศึกษา	69
ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติของซีเซียม 137	3
2	แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วยซีเซียม 137	9
3	พื้นที่ที่มีปัญหาทรัพยากรดินในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย	12
4	ระดับชั้นความรุนแรงของการชะล้างพังทลายสูญเสียดิน	13
5	ความรุนแรงของการสูญเสียดินตามรูปแบบการใช้ที่ดินในแต่ละช่วงอัตราที่กำหนดเป็นรายภาคของประเทศไทย	14
6	พื้นที่และอัตราการสูญเสียดินตามรูปแบบการใช้ที่ดินในภาคต่าง ๆ	15
7	พื้นที่ที่เกิดการชะล้างพังทลายของดินโดยไขสมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation: USLE) ของประเทศไทย	16
8	ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างดินที่ศึกษาในจังหวัดนครสวรรค์	28
9	การจำแนกกลุ่มขนาดของอนุภาคดิน (soil separates) ตามระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA)	39
10	ปริมาณซีเซียม 137 ในดินที่ศึกษา (N=60)	42
11	ปริมาณของอนุภาคขนาดต่างๆ ในดินที่ศึกษา (N=59)	43
12	ปริมาณอนุภาคขนาดต่างๆ ในดินตามแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา (N=59)	45
13	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ศึกษา (N=60)	50
14	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินในแต่ละ Transect ที่ศึกษา (N=60)	51
15	ค่าอัตราการกระจายของดินที่ศึกษา (Soil Redistribution Rate)	57
16	ค่าสหสัมพันธ์เส้นตรงของสมบัติทางกายภาพและค่าอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ศึกษา (N=59)	61

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณ Cs137 Activity และอัตราการชะล้างพังทลายของดินโดยคำนวณจาก Mass Balance II Model	78
2	ผลวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคดินขนาดต่างๆ ของดินที่ศึกษา	81
3	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ศึกษา	84
4	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินของสมบัติทางเคมี (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)	87
5	การแบ่งชั้นสภาพพื้นที่ตามความลาดชัน	89

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การสลายตัวของซีเซียม 137	4
2 การกำเนิดของนิวไคลด์ (^{137}Cs , ^7Be , and ^{210}Pb) ที่นำมาใช้ในการศึกษาการชะล้างพังทลายและการทับถมของดิน	6
3 การเคลื่อนย้ายของซีเซียม 137 ในดินตามสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน	8
4 ตำแหน่งของการชะล้างพังทลายและการทับถม โดยการศึกษาด้วยซีเซียม 137	8
5 ระดับความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินทั่วโลก	18
6 ปริมาณน้ำฝนรวมทั้งปี จำนวนวันที่ฝนตก และอุณหภูมิ ของจังหวัดนครสวรรค์ ในรอบ 13 ปี (พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2558)	20
7 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างดินในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดิน	23
8 การเก็บตัวอย่างดินด้วยท่อทรงกระบอกที่ดัดแปลง	26
9 จุดเก็บตัวอย่างดินที่ศึกษาทั้ง 8 แนวตัดขวางความลาดเทในพื้นที่ศึกษา จังหวัดนครสวรรค์	27
10 สภาพพื้นที่เก็บตัวอย่างดินของ Transect A, Transect B, Transect C Transect D (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน 2555)	32
11 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดินที่ศึกษาตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทของ Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน 2555)	33
12 สภาพแวดล้อมของพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างดินที่ศึกษา Transect E และ Transect F (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน 2555)	34
13 จุดเก็บตัวอย่างดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษาของ Transect E และ Transect F (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน 2555)	35
14 สภาพแวดล้อมของพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างดินที่ศึกษาของ Transect H และ Transect I (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน 2555)	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
15 จุดเก็บตัวอย่างดินตามระยะทางของแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษาของ Transect H และ Transect I (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน 2555)	37
16 ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ในดินตามระยะทางแนวขวางความลาดเทที่ศึกษาของ Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D	46
17 ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ในดินตามระยะทางแนวขวางความลาดเทที่ศึกษา Transect E, Transect F, Transect H และ Transect I	47
18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในดินที่ศึกษากับปริมาณซีเซียม137 (N=59)	48
19 ค่าปฏิกิริยาของดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา	50
20 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทในพื้นที่ศึกษา	52
21 ปริมาณฟอสฟอรัสในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทพื้นที่ศึกษา	53
22 การสะสมปริมาณพอลิไซม์ในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทในพื้นที่ศึกษา	53
23 ปริมาณแคลเซียมในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา	54
24 ปริมาณแมกนีเซียมในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา	55
25 ค่า soil redistribution rate (t/ha/yr) ตามระยะทางแนวความลาดเทในพื้นที่ศึกษา Transect A, Transect B, Transect C, และ Transect D	58
26 ค่า soil redistribution rate (t/ha/yr) ตามระยะทางแนวความลาดเทในพื้นที่ศึกษา Transect E, Transect F, Transect H, และ Transect I	59
27 ค่าอัตราการเคลื่อนย้ายของดิน (soil redistribution rate, SRD) และปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งตามระยะทางแนวความลาดเทพื้นที่ของ Transect A, Transect B, Transect C, Transect D	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	ค่าอัตราการกระจายของดิน (soil redistribution rate, SRD) และปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งตามระยะทางแนวความลาดเทพื้นที่ของ Transect E, Transect F, Transect H, Transect I	63
29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการกระจายของดินกับปริมาณอนุภาคขนาดทราย อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดดินเหนียว	64
30	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการกระจายของดิน (soil redistribution rate, t/ha/yr) กับปริมาณคาร์บอนในดินที่ความลึก 30 ซม. (N=60)	65
31	ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินที่ความลึก 30 ซม. กับอัตราการกระจายของดินตามระยะทางความลาดเทในพื้นที่ศึกษา Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D	66
32	ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินที่ความลึก 30 ซม. กับอัตราการสะสมของดินตามระยะทางแนวความลาดเทในพื้นที่ศึกษา Transect E, Transect F, Transect H และ Transect I	67
33	แผนที่แสดงอัตราการกระจายของปริมาณคาร์บอนในดินในพื้นที่ศึกษา	68

บทคัดย่อ

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่เกษตรกรรมด้วย $Cs137$ ดำเนินการในพื้นที่เกษตรจังหวัดนครสวรรค์ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยการเก็บตัวอย่างดินตามแนวตัดขวางความลาดเทของพื้นที่ (Transect) จำนวน 8 แนวตัดขวางความลาดเท การศึกษาประกอบด้วย สภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษา ปริมาณซีเซียม 137 สมบัติดินทางกายภาพและเคมี อัตราการกระจายของดิน (Soil Redistribution Rate, SRD) จากการใช้ Mass Balance II model และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกระจายของดินกับสมบัติดิน

ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณซีเซียม 137 ในดินที่ศึกษาทั้งหมดเรียงตามลำดับ ดังนี้ Transect I > Transect H > Transect F > Transect E > Transect C > Transect B > Transect D > Transect A ตามลำดับ ดินมีเนื้อดินค่อนข้างละเอียด ได้แก่ ดินร่วน (loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) ดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) และดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) โดยมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งสูงสุด (27.5-66.1% ค่าเฉลี่ย 45.8%) และอนุภาคขนาดดินเหนียวต่ำสุด (16.3-38.5% ค่าเฉลี่ย 25.1%) Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D มีอนุภาคขนาดทรายสูงกว่าบริเวณอื่นที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ปริมาณอนุภาคขนาดทรายในดินทุกพื้นที่เป็นอนุภาคขนาดทรายละเอียดมาก สมบัติทางเคมีของดินที่ศึกษา พบว่า ดินมีค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0-8.4 ค่าเฉลี่ย 8.2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก (1.7-4.5% ค่าเฉลี่ย 3.1%) ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก (0.2-227.4 mg/kg ค่าเฉลี่ย 39.4 mg/kg) ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก (158.2-539.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 305 mg/kg) ปริมาณแคลเซียมมีค่าอยู่ในพิสัย 6560-12462 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่าเฉลี่ย 9321 mg/kg) และปริมาณแมกนีเซียมมีค่าอยู่ในพิสัย 73-799 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่าเฉลี่ย 212 mg/kg)

ค่าอัตราการกระจายของดินจากการคำนวณด้วย Mass balance II Model จากปริมาณซีเซียม 137 พบว่า ดินที่ถูกชะล้างหรือการทับถมตามแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษามีค่าแตกต่างกัน ดินส่วนใหญ่ในแต่ละตำแหน่งมีการชะล้างพังทลายสูญเสียดินมากกว่าการทับถม อัตราการชะล้างพังทลายสุทธิของแต่ละ Transect พบว่า Transect A > Transect D > Transect B > Transect C > Transect E > Transect F > Transect H > Transect I ค่าอัตราการกระจายของดินมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยตรงทางบวกกับปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งของดิน ($r=0.66^{***}$) โดยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทางลบกับปริมาณอนุภาคขนาดทราย ($r=-0.66^{***}$) อนุภาคขนาดทรายทุกขนาดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าอัตราการกระจายของดินแต่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอนุภาคขนาดดินเหนียว

ABSTRACT

A study on the evaluation of soil erosion in agricultural areas using Cs137 was carried out in agricultural areas at Nakhonsawan province in Chaopraya watershed. Soil samples were collected along eight transects. The study was composed of field environment, Cesium137 activity, physico-chemical properties, soil redistribution rate (SRD) using Mass Balance II model, and relationship between soil redistribution rate and soil properties.

The result showed the Cs137 activities of all the soils studied are ranging from Transect I > Transect H > Transect F > Transect E > Transect C > Transect B > Transect D > Transect A, respectively. All soils had a rather fine texture such as loam, silt loam, silty clay loam, clay loam, and sandy clay loam with the highest content of silt (27.5-66.1% mean 45.8%) whereas the lowest clay content (16.3-38.5% mean 25.1%). The soils in the transect A, Transect B, Transect C and Transect D had the highest sand fraction compared to the others. However, the sand fraction in all the soils were very fine sand size. Chemically, they had moderately alkaline soil reaction (pH 8.0-8.4 mean 8.2), moderate to very high organic matter content (1.7-4.5% mean 3.1%), , very low to very high content of available phosphorus (0.2-227.4 mg/kg mean 39.4 mg/kg), very high quantities of potassium (158.2-539.2 mg/kg mean 305 mg/kg), calcium content ranged from 6560 mg/kg to 12462 mg/kg (mean 9321 mg/kg) and magnesium content ranged from 73 mg/kg to 799 mg/kg (mean 212 mg/kg).

The soil redistribution rate calculated by Mass balance II model from CS137 revealed that the erosion point/deposit point of all the transect studied were different. Most of the soils at each position were occurring on erosion rather than deposition. The net soil erosion rate of all the transect studied were transect A > Transect D > Transect B > Transect C > Transect E > Transect F > Transect H > Transect I. The soil redistribution rate was a high positively linear significant to silt content ($r=0.66^{***}$) whereas negatively linear significant to the sand content ($r=-0.66^{***}$). All sizes of the sand fraction were significantly related to soil redistribution rate but not the clay size particles.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ กรมพัฒนาที่ดินและ ทบวงการพลังงานระหว่างประเทศ (IAEA) ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณและความรู้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ Professor Yong Li แห่ง Chinese Academy of Agricultural Science (CAAS) กรุงปักกิ่ง สาธารณรัฐประชาชนจีน ที่ให้ความรู้ทางดำนวนิวเคลียร์เทคนิค รวมทั้งการคัดเลือกพื้นที่ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก ในการช่วยเก็บตัวอย่างดิน และวิเคราะห์ซีเซียม 137

ขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญสิทธิระ อุดมศรี และนักสำรวจดิน กองสำรวจดินและวิทยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้คำแนะนำและช่วยเก็บตัวอย่างดิน

ขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการ สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจเป็นอย่างดี ทำให้งานวิจัยนี้ สำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบคุณ คุณบุศรินทร์ แสงงาม และคุณละเอียด ทองมั่ง ที่ช่วยจัดรูปเล่ม และท้ายสุดขอขอบคุณคุณวิภาวรรณ อินทร์สมบูรณ์ กองสำรวจดินและวิทยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ช่วยออกแบบหน้าปกรายงาน

คำนำ

การชะล้างพังทลายของดินเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติตามลักษณะภูมิประเทศ อย่างไรก็ตามกิจกรรมของมนุษย์เป็นปัจจัยเร่งที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน ดังนั้นการวางแผนจัดการอนุรักษ์ทรัพยากรดินจึงเป็นเรื่องสำคัญยิ่ง (Bernard et.al., 1998; Mabit et.al., 2008) การชะล้างพังทลายของดินนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินในแต่ละพื้นที่ ทำให้นำไปสู่ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง การเสื่อมโทรม (land degradation) และการชะล้างพังทลาย (erosion) ของดินมีผลทำให้สมบัติดิน (กายภาพ เคมี และชีวภาพ) รวมทั้งผลผลิตพืชเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีผลกระทบทั้งด้านนิเวศวิทยาและด้านเศรษฐกิจสังคม (ecological and socio-economic effects) ในพื้นที่นั้น

พันธกิจหลักของกรมพัฒนาที่ดินคือการพัฒนาที่ดินให้สมบูรณ์อย่างยั่งยืนในพื้นที่ทางการเกษตร ซึ่งยุทธศาสตร์กรมพัฒนาที่ดินในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) ดำเนินการจัดทำภายใต้หลักการพัฒนาประเทศที่มุ่งเน้นการพัฒนาที่น้อมนำหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาเป็นหลักปรัชญาพื้นฐานในการกำกับทิศทางการพัฒนาประเทศให้เติบโตอย่างมีดุลยภาพ คำนึงถึงการพัฒนาในระยะยาวเพื่อให้ประเทศก้าวไปสู่สังคมที่ มั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนได้ในอนาคต (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) โดยมีการทบทวนสถานการณ์ทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย จากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การพัฒนาทรัพยากรดินและที่ดินในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 12 จำเป็นต้องมีการเตรียมความพร้อมเพื่อรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อย่างเหมาะสมมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวางแผนการพัฒนาที่คำนึงถึงการวางรากฐานของประเทศไทยในระยะยาวทั้งในด้านความมั่นคงเศรษฐกิจสังคม ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และการบริหารจัดการที่ดินในภาคการเกษตร ประกอบด้วยข้อมูล สภาพการใช้ที่ดินของประเทศไทย ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินของประเทศไทย ปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินต่อพื้นที่เกษตรกรรม แนวโน้ม ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินของไทย ดินปัญหาและการชะล้างพังทลายของดิน และการชะล้างพังทลายของดินเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะด้านการเกษตร

ปี ค.ศ. 2015 โลกมีประชากรรวมทั้งหมด 7,349 ล้านคน ส่วนใหญ่เป็นประชากรที่อาศัยอยู่ในประเทศกำลังพัฒนา คือ ทวีปเอเชีย (4,393 ล้านคน) และทวีปแอฟริกา (1,186 ล้านคน) และในปี ค.ศ. 2030 องค์การสหประชาชาติมีการคาดคะเนว่าโลกจะมีประชากรเพิ่มขึ้นประมาณ 8,501 ล้านคน และต่อไปอีก 35 ปีข้างหน้าในปี ค.ศ. 2050 ประชากรโลกจะเพิ่มเป็น 9,725 ล้านคน (United Nation, 2015) ซึ่งประชากรที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่เป็นประชากรที่อาศัยอยู่ในประเทศกำลังพัฒนาที่มีอาชีพหลัก

คือ การเกษตรกรรม จากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกภายใต้สภาพทรัพยากรดินและน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้ ทำให้โลกต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรดินในการผลิตพืชอาหารเพื่อการบริโภคของประชากร รวมทั้งทรัพยากรน้ำและสภาพเศรษฐกิจสังคม จากความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นเพื่อเลี้ยงประชากรโลก ทำให้มีการใช้ที่ดินอย่างมากที่ไม่ถูกต้องตามศักยภาพของดิน ทำให้เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรม โดยเฉพาะในภูมิภาคอัฟริกาและเอเชียใต้ที่ต้องเผชิญกับความเสี่ยงของปัญหาการชะล้างพังทลายของดินอย่างรุนแรง ปัจจุบันโลกต้องเผชิญกับความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินประมาณ 1,900 ล้านเฮกแตร์ และมีอัตราที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี 5-7 ล้านเฮกแตร์ นอกจากนี้ ด้วยปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกทำให้เกิดภัยแล้ง น้ำท่วม และพายุต่าง ๆ มากขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อทรัพยากรดินและน้ำ ทำให้ทรัพยากรดินเสื่อมโทรมเกิดการชะล้างพังทลายเพิ่มขึ้นด้วย ทั่วโลกได้ประเมินการสูญเสียทรัพยากรดินที่เกิดจากกระบวนการชะล้างพังทลายคิดเป็นเงินประมาณ 400 พันล้านดอลลาร์สหรัฐอเมริกาต่อปี ดังนั้น การอนุรักษ์ทรัพยากรดินและน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะดินชั้นบนที่ใช้เพื่อการเกษตร อย่างไรก็ตาม การอนุรักษ์ดินและน้ำควรดำเนินการในรูปแบบของระบบการเกษตรแบบผสมผสาน (integrated agricultural systems) เช่น การลดการไถพรวน การปกคลุมผิวดิน รวมทั้งการปลูกพืชหมุนเวียน เป็นต้น ดังนั้น การจัดการที่ดินที่เหมาะสมเพื่อลดการเกิดการชะล้างพังทลายของดินนี้ จำเป็นต้องมีข้อมูลที่สามารถอธิบายได้ว่าการจัดการที่ดินแบบใดจึงจะสามารถลดการเกิดการชะล้างพังทลายของดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การเลือกวิธีการจัดการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดนี้ จำต้องคำนึงถึงสภาพทางเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาร่วมในการพิจารณาดำเนินการด้วย วิธีการประเมินการชะล้างพังทลายของดินที่มีประสิทธิภาพรวดเร็ววิธีหนึ่ง คือ การใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ คือ ซีเซียม 137 (^{137}Cs) ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาติดตาม (tracer) ประเมินการชะล้างพังทลายของดินได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เทคนิคทางนิวเคลียร์นี้เป็นวิธีที่สามารถใช้ในการประเมินการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้น ทั้งในระยะสั้นและระยะปานกลาง (short and medium term assessment of soil erosion) โดยการใช้แบบจำลองการชะล้างพังทลาย (erosion model) อย่างไรก็ตาม การศึกษาการประเมินการชะล้างพังทลายของดินด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์นี้ จำเป็นต้องดำเนินการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการดังเอกสารวิชาการจากทบวงการพลังงานระหว่างประเทศ (IAEA) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง วิธีการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินแบบดั้งเดิมนั้นเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลาในการศึกษารวมทั้งการนำผลการศึกษาไปขยายผลใช้กับพื้นที่อื่นๆได้ค่อนข้างน้อย ดังนั้น จึงได้มีการนำเทคนิคทางนิวเคลียร์ คือ การนำซีเซียม 137 มาใช้ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งเทคนิคทางนิวเคลียร์นี้สามารถอธิบายกระบวนการสูญเสียดินและปริมาณของดินที่ถูกเคลื่อนย้ายได้อย่างรวดเร็ว

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการนำเทคนิคทางนิวเคลียร์ คือ ซีเซียม 137 มาใช้ในการประเมินติดตามการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่เกษตรกรรม

การตรวจเอกสาร

1. ซีเซียม 137 (^{137}Cs)

1.1 การกำเนิดและสมบัติของซีเซียม 137 (^{137}Cs origin and characteristics))

ซีเซียม (Caesium, Cs) เป็นธาตุมีอยู่ในลำดับที่ 55 ในตารางธาตุ (Periodic Table) ซีเซียมส่วนใหญ่จะแสดงความเป็นธาตุที่มีประจุบวก (electropositive element) และมีสมบัติเป็นต่างค่ามวลอะตอมของธาตุซีเซียมมีค่าอยู่ระหว่าง 125 ถึง 145 โดยที่ซีเซียมที่พบในธรรมชาติ คือ ^{133}Cs ส่วนซีเซียมไอโซโทปที่เสถียร ได้แก่ ^{134}Cs ($t_{1/2}=2.06$ ปี) และ ^{137}Cs ($t_{1/2}=30.17$ ปี)

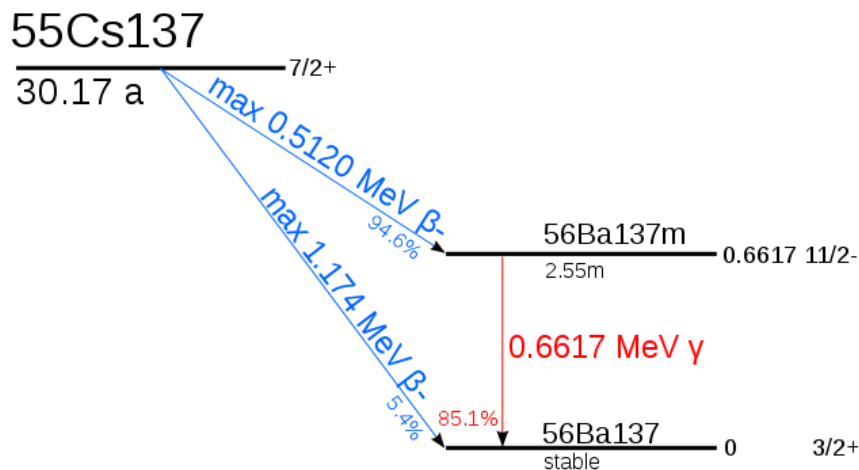
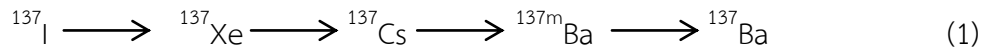
ซีเซียม 137 มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 30.17 ปี ประกอบด้วยนิวตรอนเท่ากับ 82 และโปรตรอนเท่ากับ 55 ดังแสดงในตารางที่ 1 (สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย ถอดความจาก Caesium-137 เว็บไซต์ www.wikipedia.org/) ดังแสดงในภาพที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของซีเซียม 137

ชื่อ	ซีเซียม 137 (Caesium-137)
สัญลักษณ์	^{137}Cs หรือ 137-Cs
จำนวนนิวตรอน	82
จำนวนโปรตอน	55
ครึ่งชีวิต	30.17 ปี

ซีเซียม 137 เป็นธาตุที่ไม่พบในธรรมชาติ แต่เป็นธาตุที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ กล่าวคือ ซีเซียม 137 เป็นผลผลิตที่ปฏิกิริยาเกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน (nuclear fission) โดยที่ไอโอดีน-137 (^{137}I) สลายตัวให้ซีเซียม 137 ดังสมการที่ (1) และภาพที่ 1 โดยการปลดปล่อยรังสีแกมมา (gamma-ray , 662.66 KeV) ออกมา ดังนั้นในการตรวจวัดปริมาณซีเซียม 137 ในตัวอย่าง จึงสามารถตรวจวัด

ด้วยเครื่องตรวจจับแกมมา (Gamma detector) โดยที่ไม่ต้องใช้สารเคมีในการเตรียมตัวอย่างหรือการสกัดตัวอย่างใดๆ ทั้งสิ้น (Ritchie and McHenry, 1990)



ภาพที่ 1 การสลายตัวของซีเซียม 137

ซีเซียม 137 ที่พบในสิ่งแวดล้อม เกิดจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

- 1) การทดลองอาวุธนิวเคลียร์ในช่วงปลายปี ค.ศ. 1950 ถึง ค.ศ. 1970
- 2) อุบัติเหตุของเครื่องผลิตพลังงานนิวเคลียร์ที่เชอร์โนบิล (Chernobyl nuclear power plant) ในปี ค.ศ. 1986
- 3) การรั่วของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor) และ เครื่องกำจัดกากนิวเคลียร์

ซีเซียม 137 ที่เกิดจากการระเบิดนิวเคลียร์นั้น พบว่า ซีเซียม 137 จะกระจายสู่บรรยากาศ แล้วตกลงสู่พื้นผิวดิน (Carter and Moghissi, 1977) และปริมาณซีเซียม 137 ที่ตกลงสู่พื้นดินนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน ซึ่งการสะสมของซีเซียม 137 บนพื้นโลกนี้เริ่มต้นตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 1950 ถึงปี ค.ศ. 1970 โดยที่ปริมาณซีเซียม 137 ที่ตกลงสู่พื้นดินมีค่าสูงสุดในปี ค.ศ. 1963 โดยเฉพาะทางด้านขั้วโลกเหนือและมีค่าลดลงทางด้านขั้วโลกใต้ การสะสมกระจายของซีเซียม 137 ที่ตกลงสู่พื้นดินนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่มีการทดสอบอาวุธนิวเคลียร์ว่าบริเวณที่มีการทดลองนิวเคลียร์มีรูปแบบของปริมาณน้ำฝนในแต่ละปีว่าเป็นอย่างไร รูปแบบการกระจายตัวของ ซีเซียม 137 ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งตามละติจูด (Sutherland and De Jong, 1990) เนื่องด้วยสาเหตุ 2 ประการ คือ

(1) ตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ที่มีการทดสอบอาวุธนิวเคลียร์ ส่วนใหญ่มีแหล่งที่ตั้งอยู่ในซีกโลกเหนือ (Northern hemisphere)

(2) ข้อจำกัดในการแลกเปลี่ยนระหว่าง ^{137}Cs Inventories ที่มีอยู่ในบรรยากาศในฝั่งซีกโลกใต้ที่สามารถตรวจพบได้หากมีเครื่องตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพดี

ปริมาณซีเซียม 137 ที่เกิดจากระเบิดนิวเคลียร์มีค่าอยู่ในช่วง 160 ถึง 3200 Bq/m² ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งละติจูด (Garcia Agudo, 1998)

1.2 พฤติกรรมของซีเซียม 137 ในดิน (Behaviour of ^{137}Cs in soil)

การนำซีเซียม 137 มาใช้ในการศึกษาติดตาม (tracer) การชะล้างพังทลายของดินนั้น เนื่องจากซีเซียม 137 มีการเคลื่อนย้ายในดินได้อย่างจำกัด (limited mobility) ภายหลังจากที่มีการกระจายสะสมของซีเซียม 137 บนผิวดินแล้วนั้น ซีเซียม 137 จะถูกดูดซับ (adsorbed) อย่างรวดเร็ว และแข็งแกร่งกับอนุภาคดิน (โดยเฉพาะอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคอินทรีย์วัตถุ) ทำให้นักวิจัยสามารถนำสมบัติของซีเซียม 137 นี้มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ (Ritchie and McHenry, 1990; Eyman and Kevern, 1975) อย่างไรก็ตามนักวิจัยจะไม่คำนึงถึงการที่ ซีเซียม 137 ที่เกาะติดกับทรงพุ่มของต้นพืช (canopy) ที่สามารถถูกล้างจากต้นพืชลงสู่ดิน โดยการที่ต้นพืชถูกชะล้างรวมทั้งการดูดกินซากพืชของจุลินทรีย์ดิน เนื่องจากปริมาณซีเซียม 137 ในส่วนนี้ถือว่าน้อยมาก (Dahlman *et.al.*, 1975)

การกระจายสะสมของซีเซียม 137 ภายใต้น้ำตาดดินจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน (He and Walling, 1997) โดยที่สมบัติทางกายภาพและเคมีมีความสำคัญมากกว่าสมบัติทางชีวภาพ สภาพภูมิอากาศ หรือปัจจัยทางธรณีวิทยา แต่ในสภาพแวดล้อมที่ดินไม่ถูกรบกวนนั้น พบว่า สมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ จะมีบทบาทสำคัญต่อการสะสมของซีเซียม 137 ในน้ำตาดดิน ส่วนในสภาพที่มีการใช้ที่ดินทางการเกษตรนั้น สมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ จะมีบทบาทสำคัญมากต่อการสะสมของซีเซียม 137 ในน้ำตาดดิน เนื่องจากการใช้ที่ดินเพื่อปลูกพืช นั้นจะมีผลต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดินทั้งโดยน้ำและลม (Ritchie and McHenry, 1990) ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ ซีเซียม 137 จึงสามารถนำมาใช้ในการศึกษาติดตามการชะล้างพังทลายของดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

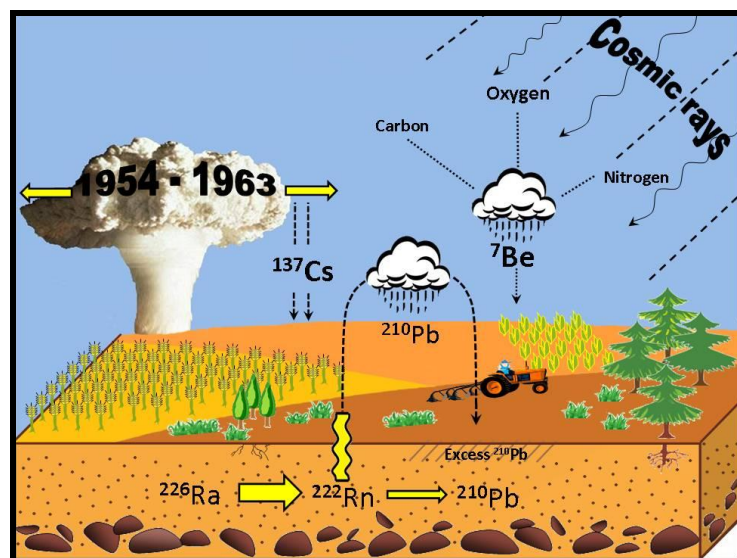
1.3 บทบาทของซีเซียม 137 ในการศึกษาติดตามการชะล้างพังทลายของดิน

การที่ซีเซียม 137 ถูกดูดซับ (adsorbed) กับอนุภาคดินในสภาพแวดล้อมทั่วไป ทำให้ซีเซียม 137 สามารถเคลื่อนย้ายไปกับอนุภาคดินที่ถูกดูดซับ โดยที่การเคลื่อนย้ายของอนุภาคดินขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาพภูมิประเทศนั้นๆ รวมทั้งปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ น้ำ ลม และการไถพรวนทางการเกษตร เป็นต้น

การเคลื่อนย้ายของซีเซียม ^{137}Cs ตามสภาพภูมิประเทศ สามารถนำมาใช้ในการศึกษาอัตราและรูปแบบการกระจายของตะกอนดินโดยศึกษาจากปริมาณของ ^{137}Cs Inventory (areal activity) ในแต่ละตำแหน่งว่า มีการสูญเสียหรือการทับถมของตะกอนดิน โดยการเปรียบเทียบกับค่า ^{137}Cs inventory ที่ตำแหน่งในพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวน (undisturbed stable areas) ซึ่งเรียกว่า จุดอ้างอิง (reference sites) ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วยวิธีนี้นั้นถือว่าจุดอ้างอิง เป็นตำแหน่งที่ไม่มีการสูญเสียหรือการทับถมของตะกอนดิน (Mabit *et.al.*, 2008; Walling and Quine, 1993)

การประเมินการชะล้างพังทลายและการทับถมดิน ด้วยนิวไคลด์ที่กระจายในสิ่งแวดล้อม เรียกว่า Fallout Radionuclides (FRNs) ดังแสดงในภาพที่ 2 ประกอบด้วยนิวไคลด์ที่นำมาใช้ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดิน ดังนี้

- 1) ซีเซียม ^{137}Cs (^{137}Cs) ที่กำเนิดจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ความร้อน (thermonuclear weapon tests) ในปี 1950-1960
- 2) นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดทางธรณี (geogenic radioisotopes) ได้แก่ ^{210}Pb
- 3) นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิก (cosmogenic radioisotopes) ได้แก่ ^7Be



ที่มา: Zupanc and Mabit, 2010

ภาพที่ 2 การกำเนิดของนิวไคลด์ (^{137}Cs , ^7Be , and ^{210}Pb) ที่นำมาใช้ในการศึกษาการชะล้างพังทลายและการทับถมของดิน

การศึกษาอัตราและรูปแบบของการชะล้างพังทลายและการทับถมของดินด้วยเทคนิค FRNs โดยการศึกษานิวไคลด์ทั้งสามข้างต้นนี้ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Zapata and Nguyen, 2009; Mabit *et.al*, 2008; Zapata, 2002)

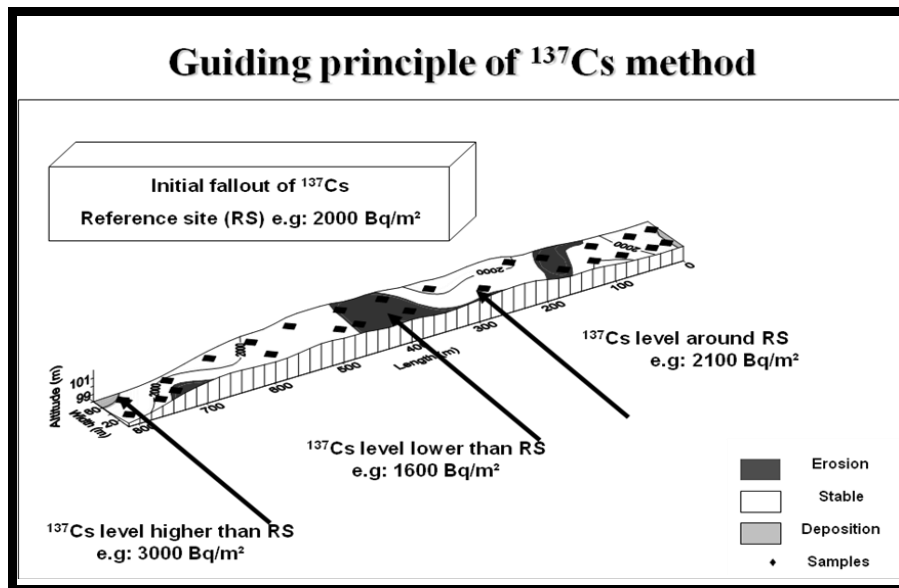
ทฤษฎีเบื้องต้นการนำเทคนิค FRNs มาใช้ในการศึกษาการชะล้างพังทลายและการทับถมดินด้วยนิวไคลด์ทั้งสามชนิดนี้จะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เมื่อ นิวไคลด์ที่กระจายในบรรยากาศตกลงบนผิวน้ำดิน โดยการประมาณว่านิวไคลด์มีการฟุ้งกระจายตกบนผิวดินอย่างสม่ำเสมอ (uniform) ด้วยสมบัติของนิวไคลด์ที่สามารถดูยึดกับอนุภาคดินขนาดเล็กบนผิวดินบน ดังนั้น นิวไคลด์เหล่านี้จึงสามารถนำมาใช้เป็น radionuclide tracer ที่สามารถเคลื่อนย้ายตามสภาพภูมิประเทศและมีความสัมพันธ์กับดินหรือตะกอน ซึ่งการเคลื่อนย้ายตะกอนดินนี้จัดเป็นกระบวนการทางกายภาพ (physical processes) ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาติดตามอัตราและรูปแบบของการชะล้างพังทลายและการทับถมตะกอนในพื้นที่เกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง

การกระจายสะสมของซีเซียม 137 ตามสภาพภูมิประเทศ (landscape) สามารถนำมาใช้ในการศึกษาประเมินการแพร่กระจาย (redistribution) ของดิน รวมทั้งรูปแบบ (pattern) การเคลื่อนย้ายของดิน โดยที่การศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วยเทคนิคซีเซียม 137 นี้จำเป็นต้องคัดเลือกพื้นที่ที่ไม่มีการถูกรบกวนด้วยกิจกรรมใดๆ ไว้เป็นพื้นที่อ้างอิง (reference sites) โดยที่พื้นที่อ้างอิงนี้จำเป็นต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่เกิดกระบวนการชะล้างพังทลายหรือการทับถมของดินใดๆทั้งสิ้น (Mabit *et.al.*, 2008; Walling and Quine, 1993) เมื่อนำตัวอย่างดินในพื้นที่อ้างอิงนี้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ ^{137}Cs Activity แล้วนำค่า ^{137}Cs Activity ไปคำนวณหาปริมาณซีเซียม 137 ต่อพื้นที่ (ปริมาณ ^{137}Cs ต่อพื้นที่ เรียกว่า inventory of ^{137}Cs มีหน่วยเป็น Bq/m^2) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า ^{137}Cs Inventory ของดินในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบค่า ^{137}Cs Inventory ดังแสดงในภาพที่ 3 และภาพที่ 4

1) ค่า ^{137}Cs inventory ที่ตำแหน่งที่ศึกษามีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่า ^{137}Cs inventory ณ ตำแหน่งอ้างอิง แสดงว่า บริเวณนั้นเป็นจุดที่เสถียร (stable) หมายถึง ดินไม่มีการเคลื่อนย้ายออกไปหรือการเคลื่อนย้ายของดินมาทับถม

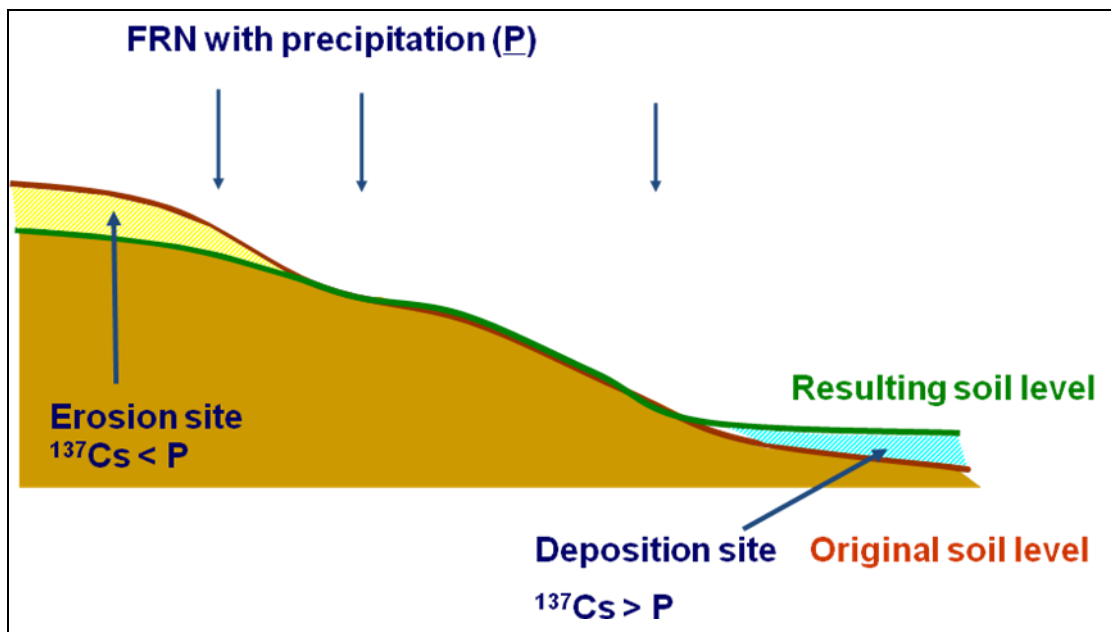
2) ค่า ^{137}Cs inventory ที่ตำแหน่งที่ศึกษามีค่าน้อยกว่าค่า ^{137}Cs inventory ที่ตำแหน่งอ้างอิง แสดงว่า บริเวณที่ศึกษาเกิดการชะล้างพังทลายของดิน

3) ค่า ^{137}Cs inventory ที่ตำแหน่งที่ศึกษามีค่ามากกว่าค่า ^{137}Cs inventory ที่ตำแหน่งอ้างอิง แสดงว่า บริเวณที่ศึกษาดินมีการเคลื่อนย้ายมาทับถม



ที่มา : (IAEA-TECDOC-1741)

ภาพที่ 3 การเคลื่อนย้ายของซีเซียม 137 ในดินตามสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน



ที่มา (IAEA-TECDOC-1741)

ภาพที่ 4 ตำแหน่งของการชะล้างพังทลายและการทับถม โดยการศึกษาด้วยซีเซียม 137

การประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดินจากปริมาณซีเซียม 137 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่แบบจำลองคณิตศาสตร์ในพื้นที่เกษตรที่มีการไถพรวนที่มีประสิทธิภาพ คือ Mass Balance Model II (Walling *et.al*, 2014)

การประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดินจากปริมาณซีเซียม 137 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่แบบจำลองคณิตศาสตร์ในพื้นที่เกษตรที่มีการไถพรวนที่มีประสิทธิภาพ คือ Mass Balance Model II (Walling *et.al*, 2014)

ตารางที่ 2 แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วยซีเซียม 137

FRN	Cultivated Pasture	Uncultivated Pasture
¹³⁷ Cs	Proportional Model	Profile Shape Model
	Simplified mass balance model (Mass Balance Model I)	Diffusion and Migration model
	Mass Balance Model II (Mass balance model with tillage)	
	Mass Balance Model III	

การศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วยซีเซียม 137 ครั้งแรกได้ดำเนินการตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 (Yamagata *et.al.*, 1963; Rogowski and Tamura, 1965) ต่อมานักวิจัยทั่วโลกได้นำเทคนิคซีเซียม 137 มาใช้ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินและการทับถม (soil erosion and deposition) (Ritchie and McHenry, 1990) ซึ่งซีเซียม 137 ที่เป็ผลผลิตจากปฏิกิริยาฟิชชัน (fission product) ที่ปล่อยรังสีแกมมาที่พลังงาน 661.6 keV ที่มีครึ่งชีวิต 30.02 ปี ด้วยสมบัติของซีเซียม 137 นี้ จึงสามารถนำมาใช้เป็น tracer ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นมาแล้วในอดีตได้ (Ritchie and McHenry, 1990; Zapata, 2003; Poreba, 2006)

Rogowski and Tamura (1970) ได้ศึกษาการชะล้างพังทลายของดิน พบว่า การสูญเสียดินที่ศึกษา ด้วยซีเซียม 137 มีความสัมพันธ์กับวิธีการศึกษาด้วยสมการ USLE (Universal Soil Loss Equation) โดยที่อนุภาคดินจะดูดซับซีเซียม 137 อย่างรวดเร็วและแข็งแรงมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในพื้นที่เกษตรอื่น ๆ (Dissanayake *et.al.*, 2010; Ritchie and McHenry, 1990) เช่น อัตราการชะล้างพังทลายของดินด้วยซีเซียม 137 ในประเทศตุรกีในแปลงปลูกไม้ผล มีค่า 0.49-23.22 t/ha/yr และในพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์มีค่า 0.44-7.23 t/ha/yr การศึกษาอัตราการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่เกษตรประเทศอิหร่านที่เมือง Koohin และเมือง Qazvin ด้วยซีเซียม 137 มีค่า 14.2 และ 11.1 t/ha/yr ตามลำดับ เป็นการศึกษาด้วยแบบจำลอง Mass Balance Model 2

(Gorji *et.al*, 2014) นอกจากนี้ Fang และคณะ (2006) ได้ศึกษาการกัดเซาะพังทลายของดินสำหรับการเก็บกักน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของจีน โดยใช้เทคนิคไอโซโทป Pb210 พบว่า มีอัตราการชะล้างพังทลายของดินประมาณ 8.3 t/ha/yr และ Menendez และคณะ (2009) ได้ศึกษาการพังทลายของดินโดยเทคนิคการใช้ไอโซโทปของซีเซียม 137 ในทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศสเปนพบว่าเกิดอัตราการพังทลายของดิน 6.75 t/ha/yr

เสวตและคณะ (2554) ได้ศึกษาการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทยด้วยสมการสูญเสียดินสากล (USLE) เพื่อประเมินการสูญเสียธาตุอาหารพืชในกลุ่มน้ำห้วยแม่ประจัน ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 899.58 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 79.48 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด พบว่า ปริมาณการพังทลายของดิน 513,994 ตัน/ปี จัดอยู่ในเกณฑ์การชะล้างพังทลายของดินระดับน้อยมาก ผลการวิเคราะห์ การสูญเสียธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม คิดเป็น 283.43, 3.55 และ 34.64 ตัน/ปี ตามลำดับ นอกจากนี้ นิพนธ์และอภินันท์ (2540) ได้ศึกษาการพังทลายของดินบริเวณแปลงทดลองปลูกพืชที่ใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบต่างๆบนพื้นที่ลาดเขาของโครงการการจัดการลุ่มน้ำแม่สา จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า พื้นที่วางแปลงทดลอง 3 แปลงพืชบริเวณที่ไม่มีมาตรการอนุรักษ์มีอัตราการพังทลายสูงสุดเท่ากับ 31.3 t/ha/yr

Srisutham (2010) ได้ศึกษาการประเมินการชะล้างพังทลายของดินที่มีการใช้ที่ดินที่ต่างกันภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยด้วยเทคนิคซีเซียม 137 พบว่า การสะสมของซีเซียม 137 มีความสัมพันธ์กับอัตราการชะล้างพังทลายของดิน โดยที่ปริมาณซีเซียม 137 ที่สะสมในดินในพื้นที่ป่ามีค่าสูงสุด (16.4 Bq/kg) รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ปลูกกล้วย (14.8 Bq/kg) ส้ม (12.3 Bq/kg) และมะม่วงหิมพานต์ (11.2 Bq/kg) ตามลำดับ

2. การชะล้างพังทลายของดิน

การชะล้างพังทลายของดิน หมายถึง กระบวนการหรือการกระทำที่ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดินชั้นบนโดยตัวการต่างๆ รวมทั้งการตกกระทบของเม็ดฝน การไหลของน้ำผิวน้ำดิน แรงลม และแรงโน้มถ่วงของโลก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535) การชะล้างพังทลายของดินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) การชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติ

การชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติเกิดการกระทำของน้ำและลม และแรงดึงดูดของโลกทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินที่ละเล็กละน้อย ผลกระทบที่เกิดจากการชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาตินี้ ส่วนใหญ่จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรดินมากนัก ยกเว้นมีปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงเท่านั้น

2) การชะล้างพังทลายของดินที่มีตัวเร่งเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

ตัวเร่งที่สำคัญที่สุด คือ มนุษย์ โดยที่มนุษย์จะทำการเปลี่ยนแปลงระบบธรรมชาติของพื้นที่ด้วยการใช้ที่ดินและอื่น ๆ ที่มนุษย์มีส่วนร่วม การชะล้างพังทลายของดินที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์มักจะเกิดขึ้นรุนแรงและเกิดผลเสียหายทางเศรษฐกิจ

นอกจากปัจจัยพื้นฐานที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินแล้ว ปัจจัยที่เร่งความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินมากยิ่งขึ้น คือ ปริมาณ น้ำฝนที่ตกมากและรุนแรงผิดปกติ การบุกรุกทำลายป่าเพื่อทำไร่เลื่อนลอย การก่อสร้างต่าง ๆ รวมถึงการไถพรวนพื้นที่ตามแนวเขื่อนของความลาดชัน และการเลี้ยงสัตว์บนภูเขา เป็นต้น

ประเทศไทยมีพื้นที่การชะล้างพังทลายของดินประมาณ 108 ล้านไร่ โดยตัวการที่สำคัญที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน คือ ฝน หรือน้ำไหลบ่า การพังทลายโดยลมในประเทศไทยมีน้อยมาก การชะล้างพังทลายของดินภายใต้กระบวนการของการชะล้างโดยน้ำฝนนั้น นับว่าเป็นตัวการเริ่ม โดยที่เมื่อเม็ดฝนตกกระทบผิวดินจะมีผลทำให้ดินแตกตัว ขณะที่ฝนตก นั้นน้ำส่วนหนึ่งจะซาบซึมลงสู่ดินจนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ น้ำไม่สามารถซึมลงไปดินได้อีกต่อไป ปริมาณส่วนเกินนี้ก็จะเกิดน้ำไหลบ่าบนผิวดิน พร้อมกับ บการพัดพาวัตถุต่างๆในดินไปโดยแรงของน้ำ กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้จะมีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยหลายประการ ปัจจัยหลัก ที่สำคัญ คือ สมบัติของดิน ความลาดชันของพื้นที่ ลักษณะลมฟ้าอากาศ และปริมาณฝน รวมทั้งชนิดพืชที่ปกคลุมดิน

การเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินที่เกิดจากธรรมชาติและจากการใช้ที่ดินที่ไม่ถูกต้อง สามารถแบ่งออกตามสภาพพื้นที่ที่มีปัญหาทรัพยากรดิน ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

1) การชะล้างพังทลายของดิน 108.87 ล้านไร่ (24% ของพื้นที่ที่มีปัญหาทั้งหมด) โดยที่พื้นที่ที่เกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของดินสูงสุด ได้แก่ ภาคเหนือ 53.96 ล้านไร่

2) ดินขาดอินทรีย์วัตถุ 98.7 ล้านไร่ (21.8% ของพื้นที่ที่มีปัญหาทั้งหมด) โดยที่พื้นที่ที่ดินขาดอินทรีย์วัตถุสูงสุด ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 75.7 ล้านไร่

3) ดินที่มีปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม 209.84 ล้านไร่ (46.3% ของพื้นที่ที่มีปัญหาทั้งหมด) โดยที่พื้นที่ที่ดินที่มีปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรมสูงสุด ได้แก่ ภาคเหนือ (71.39%) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (75.3%)

4) การใช้ประโยชน์ที่ดินไม่ถูกต้องตามศักยภาพ 35.6 ล้านไร่ (7.9% ของพื้นที่ทั้งหมดที่มีปัญหา) โดยพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่ถูกต้องตามศักยภาพสูงสุด ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 21.2 ล้านไร่

ตารางที่ 3 พื้นที่ที่มีปัญหาทรัพยากรดินในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

สภาพปัญหาทรัพยากรดิน	พื้นที่ (ล้านไร่)				
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ใต้	รวม
1. การชะล้างพังทลายของดิน	53.96	17.87	26.20	10.84	108.87
2. ดินขาดอินทรีย์วัตถุ	10.20	75.70	10.90	1.90	98.70
3. ดินที่มีปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม	71.39	75.30	37.40	25.75	209.84
3.1 ดินเค็ม	-	17.80	1.60	2.30	21.70
3.2 ดินเปรี้ยวจัด	-	-	3.28	0.89	4.17
3.3 ดินกรด	12.38	27.11	11.22	13.56	64.27
3.4 ดินอินทรีย์ (พรุ)	-	-	-	0.27	0.27
3.5 ดินทรายจัด	0.86	2.60	2.30	1.21	6.97
3.6 ดินค่อนข้างเป็นทราย	1.54	30.85	4.65	2.56	39.60
3.7 ดินตื้น	13.09	15.53	9.24	3.11	40.97
3.8 ดินบนพื้นที่สูง	55.90	8.50	16.30	15.40	96.10
4. การใช้ประโยชน์ที่ดินไม่ถูกต้องตามศักยภาพ	6.20	21.20	3.90	4.30	35.60

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2542)

การจัดระดับชั้นความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทยเพื่อให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ และการวางแผนอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน (2545) ได้จัดระดับชั้นความรุนแรงอัตราการชะล้างพังทลายสูญเสียดิน ดินที่จัดว่าเกิดการชะล้างพังทลายในระดับต่ำมาก จะมีอัตราการอัตราการชะล้างพังทลายสูญเสียดิน ในพิสัย 0-2 ตัน/ไร่/ปี ถ้าดินเกิดการชะล้างพังทลายในระดับต่ำ 2-5 ตัน/ไร่/ปี ดินเกิดการชะล้างพังทลายในระดับปานกลาง 5-15 ตัน/ไร่/ปี ดินเกิดการชะล้างพังทลายในระดับรุนแรง 15-20 ตัน/ไร่/ปี และถ้าดินเกิดการชะล้างพังทลายในระดับรุนแรง จะมีอัตราการอัตราการชะล้างพังทลายที่มากกว่า 20 ตัน/ไร่/ปี ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับชั้นความรุนแรงของการชะล้างพังทลายสูญเสียดิน

Severity Level	Soil Erosion Rate	
	t/rai/yr	t/ha/yr
1. Very Little	0-2	0-12.5
2. Little	2-5	12.5-31.25
3. Medium	5-15	31.25-93.75
4. Severe	15-20	93.75-125
5. Very Severe	> 20	> 125

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2543)

เมื่อพิจารณาความรุนแรง ประเภทการใช้ที่ดิน และจำนวนพื้นที่ของการสูญเสียดินในช่วงอัตราที่กำหนดในประเทศไทย พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ (24.64%) เกิดการชะล้างพังทลายของดินในระดับน้อยมาก (0-2 ตัน/ไร่/ปี) การใช้ที่ดิน ได้แก่ ป่าไม้ ที่นา สวนผักและไม้ดอก ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ส่วนพื้นที่ที่เกิดการชะล้างพังทลายรุนแรงมาก (20-100 ตัน/ไร่/ปี) คิดเป็นร้อยละ 8.64 ของพื้นที่ทั้งหมด พืชที่ปลูกในพื้นที่นี้ ได้แก่ พืชไร่ ที่รกร้าง ดังแสดงในตารางที่ 5 อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าพื้นที่ที่เกิดการชะล้างพังทลายของดินในระดับรุนแรงมากมีปริมาณไม่มากนัก แต่ด้วยพื้นที่การเกษตรที่มีอยู่อย่างจำกัด เกษตรกรจึงจำเป็นต้องใช้ที่ดินที่มีอยู่อย่างจำกัดให้ได้ประโยชน์สูงสุดและยั่งยืน

กรมพัฒนาที่ดินได้รวบรวมพื้นที่และอัตราการสูญเสียดินตามรูปแบบการใช้ที่ดินในภาคต่าง ๆ ซึ่งการสูญเสียดินดังแสดงในตารางที่ 6 เป็นการชะล้างผิวน้ำดินแบบแผ่นและแบบริ้ว ไม่รวมถึงการชะล้างแบบร่องลึกและการกัดเซาะริมตลิ่งและชายฝั่งเท่านั้น พื้นที่ที่มีอัตราการสูญเสียดินสูงสุดในทุกภาค คือ พื้นที่รกร้างและพื้นที่ที่ปลูกพืชไร่ ยกเว้นภาคกลางที่พื้นที่ปลูกพืชไร่มีอัตราการสูญเสียดินที่ต่ำกว่าภาคอื่น ๆ (5.69 ตัน/ไร่/ปี) แต่พื้นที่ภาคใต้มีอัตราการสูญเสียดินสูงกว่าภาคอื่น ๆ การใช้ที่ดินที่มีอัตราการสูญเสียดินต่ำที่สุด คือ พื้นที่นา ซึ่งอัตราการสูญเสียดินตามรูปแบบการใช้ที่ดินในทุกภาคของประเทศไทยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

กรมพัฒนาที่ดิน (2543) ได้ประมาณการชะล้างพังทลายของดินในแต่ละภาคของประเทศไทยจากสมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation: USLE) พบว่า พื้นที่ทั้งพื้นที่ราบและพื้นที่สูงมีการสูญเสียดินรวมกันประมาณ 40,396,760 ไร่ (12.6%) โดยที่การชะล้างพังทลายของดินในแต่ละภาคแตกต่างกัน กล่าวคือ พื้นที่ในภาคเหนือมีการสูญเสียดินมากที่สุด คือ 23,927,021 ไร่ (22.36%) รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันตก 4,254,476 ไร่ (14.77%) ใกล้เคียงกับภาคตะวันออก 3,312,289 ไร่ (14.13%) ภาคใต้ 4,569,965 ไร่ (10.34%) และภาคกลางมีการสูญเสียดินต่ำสุด 860,944 ไร่ (7.35%) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 5 ความรุนแรงของการสูญเสียดินตามรูปแบบการใช้ที่ดินในแต่ละช่วงอัตราที่กำหนดเป็นรายภาคของประเทศไทย

ชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดิน	ตัน/ไร่/ปี	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคเหนือ		ภาคกลาง		ภาคใต้	
		การใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ไร่)	การใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ไร่)	การใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ไร่)	การใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ไร่)
1. น้อยมาก (very slight)	0-2	ที่นา และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	38,367,662 (36.35%)	ที่นา สวนผักและไม้ดอก ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	15,606,743 (14.72%)	ที่นา สวนผักและไม้ดอก ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	12,964,683 (19.96%)	ป่าไม้ ที่นา และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	12,071,312 (27.31%)
2. น้อย (slight)	2.01-5.00	สวนผักและไม้ดอก	209,090 (0.20%)	ป่าไม้	48,214,357 (45.47%)	-	-	สวนผักและไม้ดอก	64,095 (0.15%)
3. ปานกลาง (moderate)	5.01-20.00	ป่าไม้ ไม้ผลและไม้ยืนต้น	15,468,297 (14.66%)	ไม้ผลและไม้ยืนต้น	1,753,992 (1.65%)	ป่าไม้ พืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น	29,009,931 (44.67%)	ไม้ผลและไม้ยืนต้น	12,120,934 (27.42%)
4. รุนแรง (severe)	20.01-100	พืชไร่ ที่รกร้าง	15,523,680 (14.71%)	พืชไร่ ที่รกร้าง	10,906,694 (10.29%)	ที่รกร้าง	444,833 (0.69%)	พืชไร่ ที่รกร้าง	826,273 (1.87%)
		ที่อยู่อาศัย ที่อื่นๆ และพื้นที่ไม่ได้จำแนก	35,965,234 (34.08%)	ที่อยู่อาศัย ที่อื่นๆ และพื้นที่ไม่ได้จำแนก	29,545,894 (27.87%)	ที่อยู่อาศัย ที่อื่นๆ และพื้นที่ไม่ได้จำแนก	22,518,806 (34.68%)	ที่อยู่อาศัย ที่อื่นๆ และพื้นที่ไม่ได้จำแนก	19,114,378 (43.25%)
รวม			105,533,963 (100%)		106,027,680 (100%)		64,938,252 (100%)		44,196,992 (100%)

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน <http://www.ddd.go.th/ofswweb/thaisoil/p9.htm>

ตารางที่ 6 พื้นที่และอัตราการสูญเสียดินตามรูปแบบการใช้ที่ดินในภาคต่างๆ

รูปแบบการใช้ ประโยชน์ที่ดิน	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคเหนือ		ภาคกลาง		ภาคใต้	
	พื้นที่ (ไร่)	อัตรา การสูญเสียดิน (ตัน/ไร่/ปี)	พื้นที่ (ไร่)	อัตรา การสูญเสียดิน (ตัน/ไร่/ปี)	พื้นที่ (ไร่)	อัตรา การสูญเสียดิน (ตัน/ไร่/ปี)	พื้นที่ (ไร่)	อัตรา การสูญเสียดิน (ตัน/ไร่/ปี)
1. ป่าไม้	13,624,192	6.83	48,214,357	2.56	15,192,145	7.67	8,405,590	0.33
2. ที่นา	37,972,843	0.19	15,196,970	0.1	12,530,777	0.11	3,612,413	0.17
3. พืชไร่	13,454,958	21.15	10,474,955	20.07	9,438,406	5.69	150,342	35.94
4. ไม้ผลและไม้ยืนต้น	1,844,105	13.5	1,753,992	12.81	4,379,980	7.7	12,120,934	6.73
5. สวนผักและไม้ดอก	209,090	2.26	275,615	1.24	309,380	1.29	64,095	3.85
6. พืชไร่เลี้ยงสัตว์	394,819	0.9	134,158	0.85	124,526	1.01	53,309	1.53
7. ที่รกร้าง	2,068,752	22.51	431,739	21.35	444,823	25.26	675,931	38.23
8. ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ	35,965,234		29,545,894		22,518,806		19,114,378	
รวม	105,533,963		106,027,680		64,938,253		44,196,992	

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน <http://www.ddd.go.th/ofswweb/thaisoil/p9.htm>

หมายเหตุ :

1. การสูญเสียดินดังแสดงในตารางนี้ เป็นการชะล้างผิวดินแบบแผ่นและแบบริ้ว ไม่รวมถึงการชะล้างแบบร่องลึกและการกัดเซาะริมตลิ่งและชายฝั่ง
2. ที่รกร้าง หมายถึง เนื้อที่ที่ไม่ได้ทำประโยชน์เลย บ่อยครั้งไว้เกิดเป็นพงพญารกอยู่ จึงไม่สามารถปลูกพืชได้ในขณะนั้น แต่ถ้าทำการ หักร้างทางพงออกไปก็จะสามารถทำการเพาะปลูกได้ ทั้งนี้ จะรวมหมายถึงที่นาและที่พืชไร่ที่ซื้อไว้เพื่อการเก็งกำไรด้วย (เฉพาะของครัวเรือนเกษตรกร)
3. ที่อื่น ๆ หมายถึง ถนน ทางเดิน คูน้ำ บ่อเลี้ยงปลา สระน้ำ ฯลฯ ที่มีอยู่ในฟาร์ม
4. เนื้อที่ไม่ได้จำแนก หมายถึง ที่สาธารณประโยชน์ ที่สุขาภิบาล เนื้อที่หนองบึง ที่เทศบาล ที่ราชพัสดุ ที่รถไฟ ที่ถนน ฯลฯ

ตารางที่ 7 พื้นที่ที่เกิดการชะล้างพังทลายของดินโดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation: USLE) ของประเทศไทย

ชั้นความรุนแรง ของการชะล้าง พังทลายของดิน	ภาคกลาง		ภาคตะวันออก		ภาคตะวันตก		ภาคเหนือ		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคใต้		ประเทศ	
	ไร่	%	ไร่	%	ไร่	%	ไร่	%	ไร่	%	ไร่	%	ไร่	%
พื้นที่ราบ (ที่ราบลุ่มน้ำที่ลาดเชิงเขา และเนินเขา ความลาดชันน้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์)														
1 : น้อยมาก	8,942,102	76.34	12,334,312	52.6	11,585,309	40.22	36,018,940	33.66	80,733,440	76.50	20,180,33	45.67	169,794	52.95
2 : น้อย	1,634,036	13.95	4,950,852	21.1	4,732,636	16.43	11,139,547	10.41	14,162,651	13.42	6,258,290	14.16	42,878,012	13.37
3 : ปานกลาง	223,728	1.91	2,384,004	10.1	927,516	3.22	2,964,126	2.77	2,184,552	2.07	1,113,763	2.52	9,797,689	3.06
4 : รุนแรง	2,343	0.02	56,260	0.24	28,805	0.10	374,528	0.35	116,087	0.11	114,912	0.26	692,935	0.22
5 : รุนแรงมาก	28,112	0.24	142,993	0.61	66,251	0.23	1,519,516	1.42	327,155	0.31	198,886	0.45	2,282,913	0.71
พื้นที่สูง (ภูเขาและที่ลาดหุบเขา ความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์)														
1H : น้อยมาก	156,961	1.34	2,602,010	11.1	2,338,954	8.12	16,532,758	15.45	6,933,578	6.57	13,175,11	29.81	41,739,376	13.02
2H : น้อยมาก	119,478	1.02	232,071	0.99	5,893,472	20.46	19,389,875	18.12	232,175	0.22	13,259	0.03	25,880,330	8.07
3H : น้อยมาก	371,319	3.17	391,474	1.67	2,912,170	10.11	9,780,544	9.14	759,844	0.72	75,135	0.17	14,290,486	4.46
4H : น้อยมาก	70,281	0.60	25,786	0.11	37,446	0.13	2,129,462	1.99	84,427	0.08	331,477	0.75	2,678,879	0.84
5H : น้อยมาก	165,161	1.41	311,772	1.33	282,288	0.98	7,158,845	6.69	nd	nd	2,735,792	6.19	10,653,858	3.32
รวมเนื้อที่ภาค	11,713,521	100	23,441,534	100	28,804,847	100	107,008,14	100	105,533,90	100	44,196,96	100	32,0698,91	100
รวมพื้นที่ที่มีปัญหา*	860,944	7.35	3,312,289	14.1	4,254,476	14.77	23,927,021	22.36	3,472,065	3.29	4,569,965	10.34	40,396,760	12.60

หมายเหตุ: * พื้นที่มีปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน คือ รวมชั้น 3-5 (พื้นที่ราบ) และชั้น 3H-5H (พื้นที่สูง) เขาดวยกัน

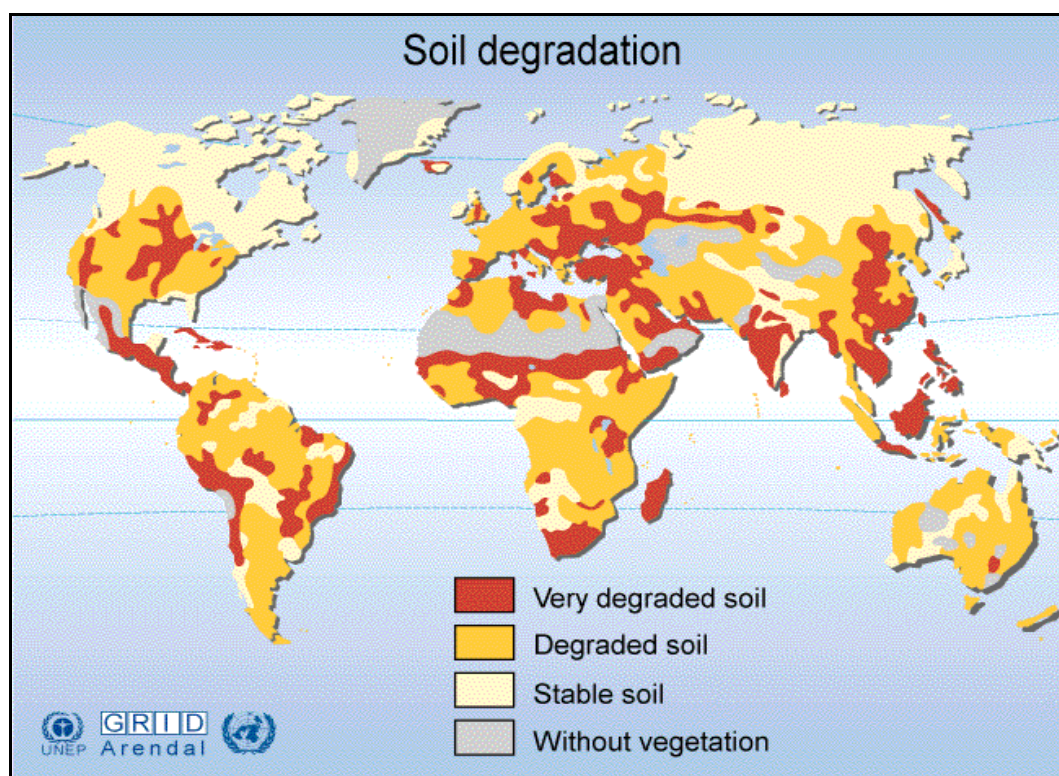
nd หมายถึง มีเนื้อที่น้อยมาก น้อยกว่า 2,000 ไร่

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2543)

กรมพัฒนาที่ดิน (2543) ได้ประเมินการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทยด้วยสมการการสูญเสียดินสากล (universal Soil Loss Equation: USLE) พบว่า พื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของประเทศมีอัตราการสูญเสียดินอยู่ระหว่าง 0-50 ตันต่อไร่ต่อปี โดยแต่ละภาคมีอัตราการสูญเสียดินมากน้อยแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัย ลักษณะของดิน ภูมิอากาศ ภูมิประเทศ พืชพรรณที่ขึ้นปกคลุม และมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ทั้งนี้ ภาคใต้มีการกร่อนของดินสูงกว่าภาคอื่น ๆ คือ พื้นที่ส่วนใหญ่มีการสูญเสียดินระหว่าง 0-50 ตันต่อไร่ต่อปี ภาคเหนือพื้นที่ส่วนใหญ่มีการสูญเสียดินระหว่าง 0-38 ตันต่อไร่ต่อปี พื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคกลางมีการสูญเสียดินระหว่าง 0-17 ตันต่อไร่ต่อปี ภาคตะวันออกมีการสูญเสียดินระหว่าง 0-16 ตันต่อไร่ต่อปี ภาคตะวันตกมีการสูญเสียดินระหว่าง 0-10 ตันต่อไร่ต่อปี และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการสูญเสียดินต่ำที่สุดระหว่าง 0-4 ตันต่อไร่ต่อปี รวมพื้นที่ที่ต้องได้รับการดูแลป้องกันและรักษาจากการเกิดการชะล้างพังทลายประมาณ 134.54 ล้านไร่ (41.95% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ)

เมื่อปี พ.ศ. 2546 เกษตรกรในประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากการปลูกพืชตระกูลถั่ว (ถั่วเหลือง ถั่วเขียว) เป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องด้วยสภาวะของราคาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีราคาที่สูงกว่าพืชตระกูลถั่ว นอกจากนี้ ยังมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าบางส่วนและพื้นที่ที่ปลูกมะขามหวานเปลี่ยนมาปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยที่อัตราการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ปลูกถั่วค่อนข้างสูง (4.9 Mg/ha/year) รวมทั้งในพื้นที่ที่ปลูกมะขาม (3.0 Mg/ha/year) อย่างไรก็ตามจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมาปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า อัตราการชะล้างพังทลายของดินมีค่าสูงขึ้นเป็นสองเท่า คือ 11.7 Mg/ha/year ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจะมีผลกระทบต่ออัตราการชะล้างพังทลายของดินอย่างมาก

ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินในโลก มีผลกระทบต่อพื้นที่ทางการเกษตรคิดเป็น 11.9 ล้านไร่ และทรัพยากรดินเกิดการเสื่อมโทรมด้วยอัตราที่รวดเร็ว กล่าวคือ อัตราความเสื่อมโทรม 31.25 ถึง 43.75 ล้านไร่ต่อปี ทรัพยากรที่ดินที่เสื่อมโทรมส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ที่ดินผิดประเภท และการจัดการที่ดินที่ไม่ถูกวิธี เป็นต้น กระบวนการที่ทำให้ทรัพยากรดินเสื่อมโทรม ได้แก่ ความเป็นกรดของดิน ดินเค็ม การทำเหมืองแร่ โดยที่พื้นที่ดินเสื่อมโทรมประมาณ 3 ใน 4 ส่วนอยู่ในประเทศกำลังพัฒนา ดังแสดงในภาพที่ 5



ที่มา : United Nations Environment Programme – UNEP,1997)

ภาพที่ 5 ระดับความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินทั่วโลก

ปัญหาการพังทลายของดินเป็นสาเหตุสำคัญ ทำให้เกิดดินเสื่อมโทรมเนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินสามารถสูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูกในขั้นตอนของการไถพรวนเพื่อเตรียมดินปลูกพืช ทำให้ดินถูกกัดกร่อนได้ง่ายทั้งจากลม น้ำฝน และน้ำไหลบ่า (นวลรัตน์และศิริวัช, 2550) ที่ทำให้ดินบนถูกชะล้างออกไป ซึ่งธาตุอาหารพืชในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นดินบน การชะล้างพังทลายของดินเกิดขึ้นทั้งในพื้นที่เกษตรกรรมหรือแม้แต่ในพื้นที่ที่เป็นป่าสมบูรณ์ (นิวัติ, 2514) กรมพัฒนาที่ดินได้ประมาณการการเกิดชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 134.5 ล้านไร่ (41.94% ของพื้นที่ประเทศ) ดินที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำประมาณปีละ 27 ล้านตัน ทำให้มีการสูญเสียธาตุอาหารพืชในดินที่ประมาณการมูลค่าประมาณ 3,774.37 ล้านบาท และพื้นที่ซึ่งดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าร้อยละ 1.5 ครอบคลุมเนื้อที่ถึง 98.7 ล้านไร่ (30.7% ของเนื้อที่ประเทศ) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542)

3. ข้อมูลทั่วไปจังหวัดนครสวรรค์

กองสำรวจและจำแนกดิน (2530) ได้สรุปข้อมูลการสำรวจดินจังหวัดนครสวรรค์ ดังนี้

3.1 ที่ตั้งและอาณาเขตจังหวัดนครสวรรค์

นครสวรรค์เป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนล่าง (เส้นรุ้งที่ $16^{\circ} 21' - 15^{\circ} 3'$ เหนือและเส้นแวงที่ $99^{\circ} 5' - 100^{\circ} 50'$ ตะวันออก) มีเนื้อที่ประมาณ 9,597.66 ตารางกิโลเมตร (5,998,532 ไร่) (จากการคำนวณในแผนที่ดิน) มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดต่าง ๆ ดังนี้

ทิศเหนือ	จังหวัดกำแพงเพชรและพิจิตร
ทิศใต้	จังหวัดอุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี และลพบุรี
ทิศตะวันออก	จังหวัดเพชรบูรณ์
ทิศตะวันตก	จังหวัดตาก

3.2 ลักษณะทางภูมิศาสตร์

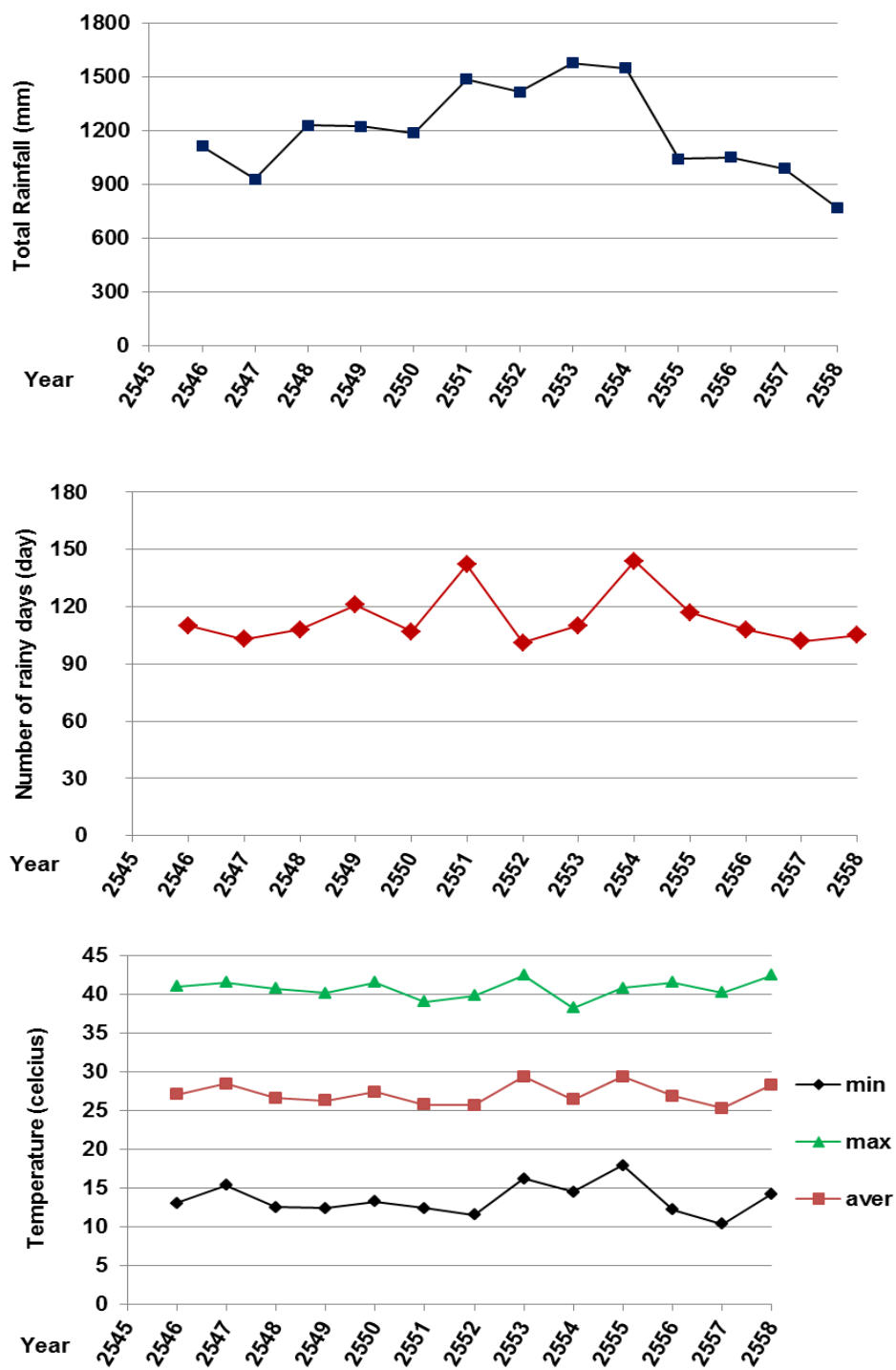
3.2.1 ภูมิอากาศ

ตามระบบการจำแนกภูมิอากาศของโคเพน (Koppen) จังหวัดนครสวรรค์มีภูมิอากาศแบบ Aw (Tropical savanna climate) คือ ภูมิอากาศแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู มีอุณหภูมิสูงตลอดปี และมีฤดูแล้งที่เด่นชัด สภาพภูมิอากาศอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ประเภท คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัดนครสวรรค์มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 1,173.7 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำฝนสะสมในรอบปีช่วง 13 ปี (2546-2558) พบว่า ระหว่างปี พ.ศ. 2551-2554 มีการสะสมปริมาณน้ำฝนสูงสุดประมาณ 1,500 มม. และมีจำนวนวันที่ฝนตก 104.1 วันในรอบปี โดยที่จำนวนวันที่มีฝนตกในแต่ละปีสูงสุด คือ ปี พ.ศ. 2551 และ พ.ศ. 2554 จัดเป็นพื้นที่จังหวัดที่ค่อนข้างแห้งแล้ง เดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนสูงสุด (250.8 มิลลิเมตร) และเดือนธันวาคมปริมาณน้ำฝนจะน้อยที่สุด (6.4 มิลลิเมตร) อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 28.5 องศาเซลเซียส เดือนเมษายนจะมีอุณหภูมิสูงสุด (31.9 องศาเซลเซียส) และเดือนธันวาคมมีอุณหภูมิต่ำสุด (25.2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 71.0 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นจะต่ำสุดในเดือนมีนาคม (61.0 %) และจะสูงสุดในเดือนกันยายน (82.0 %) ดังแสดงในภาพที่ 6

3.2.2 สภาพภูมิประเทศ

นครสวรรค์เป็นจังหวัดที่มีแม่น้ำสำคัญหลายสายมารวมกัน ได้แก่ แม่น้ำปิง แม่น้ำวัง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำเหล่านี้ไหลผ่านบริเวณกลางพื้นที่ของจังหวัดจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ ทำให้มีการพัดพาเอาตะกอนมาทับถมกันจนทำให้เกิดเป็นที่ราบลุ่มกว้างใหญ่ ที่มีความอุดมสมบูรณ์ตั้งแต่ตอนเหนือจนตอนใต้ของจังหวัด กล่าวคือ ประมาณครึ่งหนึ่งของ



ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2559)

ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำฝนรวมทั้งปี จำนวนวันที่ฝนตก และอุณหภูมิของจังหวัดนครสวรรค์ ในรอบ 13 ปี (พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2558)

พื้นที่ของจังหวัดนครสวรรค์มีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบเรียบ พื้นที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ประมาณ 15-50 เมตร และส่วนใหญ่จะมีความลาดชันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ภูมิประเทศบริเวณ อำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครสวรรค์ส่วนใหญ่จะเป็นที่ราบเรียบดังกล่าวมาแล้ว นอกจากทางด้านทิศ ตะวันตกของอำเภอลาดยาว และทางด้านซีกตะวันออกของอำเภอหนองบัว อำเภอไพศาลี และอำเภอ ตากลี จะมีภูมิประเทศแบบลูกคลื่น และภูเขาจากที่ราบตะกอนลำนํ้าพื้นที่จะค่อย ๆ สูงขึ้นไปสู่ทางด้าน ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก และภูมิประเทศจะเปลี่ยนมาเป็นแบบลูกคลื่นสลับกับส่วนที่เป็นภูเขา พื้นที่ของจังหวัดนครสวรรค์จึงมีลักษณะเป็นแอ่งต่ำในตอนกลางจากทิศเหนือถึงทิศใต้ และยกตัวสูงขึ้น ไปทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออก บริเวณที่เป็นภูเขาจะพบมากในเขตอำเภอลาดยาวและอำเภอ ไพศาลี นอกจากนั้นก็จะมีภูเขาบ้างประปรายอยู่ในบริเวณอำเภออื่น ๆ พื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกของ อำเภอลาดยาว ซึ่งเป็นเขตติดต่อกับจังหวัดตากและจังหวัดอุทัยธานี จะมีภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูง ติดต่อกัน ซึ่งยังคงมีลักษณะเป็นป่าใหญ่ที่บั้นอุดมสมบูรณ์ ที่ยังคงมีเหลืออยู่ เพียงแห่งเดียวของจังหวัด นี้ ลักษณะภูมิประเทศแบบที่เป็นลูกคลื่นจะอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 50-150 เมตร และส่วน ใหญ่จะมีความลาดชัน ประมาณ 2-8 เปอร์เซ็นต์ ภูมิประเทศเป็นภูเขาจะอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล ประมาณ 150-1,780 เมตร ภูเขาที่สูงที่สุดของจังหวัดนี้อยู่ในเขตอำเภอลาดยาว คือเขาคาอูโจ ยอดเขา มีความสูงประมาณ 1,780 เมตร

3.3 สภาพของน้ำทั่วไป (surface water)

แม่น้ำสำคัญที่ไหลผ่านจังหวัดนครสวรรค์ ได้แก่ แม่น้ำปิง แม่น้ำน่าน แม่น้ำเจ้าพระยา และ แม่น้ำปิง หลังจากบรรจบกับแม่น้ำวังที่จังหวัดตากแล้ว ไหลผ่านจังหวัดกำแพงเพชรเข้าสู่จังหวัด นครสวรรค์ แม่น้ำน่านเป็นแม่น้ำที่ไหลผ่านจังหวัดพิจิตรคู่มากับแม่น้ำยมและรวมกับแม่น้ำยมที่ตำบล เกยชัย จังหวัดนครสวรรค์ เป็นแม่น้ำไหลลงมาบรรจบกับแม่น้ำปิงที่ปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัด นครสวรรค์ เกิดเป็นแม่น้ำเจ้าพระยา แล้วไหลลงสู่ทิศใต้ของจังหวัดออกสู่จังหวัดอุทัยธานี และจังหวัด ชัยนาท แม่น้ำใหญ่ทั้งสามสายนี้จะมีแขนงของลำน้ำมากมาย ซึ่งมีความสำคัญ อย่างยิ่งต่อการเกษตร การประมง และการคมนาคม ปิงและหนองที่สำคัญ ๆ ที่พบกระจัดกระจายอยู่ในพื้นที่ตอนกลางของ จังหวัด ได้แก่ ปิงบอระเพ็ด ปิงระหานน้ำใส ปิงกระงังาม และหนองตาเวียน เป็นต้น ทางด้านทิศ ตะวันตกของจังหวัดนครสวรรค์ ส่วน ตอนบนของจังหวัดมีแม่น้ำสาขาที่มาจากต้นน้ำลำธารไหลรวมกัน เป็นลำน้ำใหญ่ ได้แก่ แม่น้ำวัง แล้วไหลมารวมลำน้ำสาขาที่คลองตะกาด เกิดเป็นลำคลองน้ำวังมา ไหลผ่านจังหวัดนครสวรรค์ และเรียบ เขตจังหวัดนครสวรรค์กับจังหวัดอุทัยธานี ออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ที่จังหวัดอุทัยธานี สำหรับพื้นที่ตอนล่าง พบว่า ลำน้ำสาขาย่อยที่มาจากต้นน้ำลำธารไหลมารวมกัน เป็นลำน้ำใหญ่ คือ คลองโพธิ์ ที่ไหลเรียบเขตจังหวัดนครสวรรค์ อุทัยธานี แล้วไหลไปรวมกับน้ำวังมา ในเขตจังหวัดอุทัยธานี สำหรับพื้นที่ฝั่งตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์ มีลำธารสาขาย่อยจะรวมเป็น สาขาใหญ่ไหลลงสู่แม่น้ำน่านและปิงบอระเพ็ด ที่ไหลลงสู่แม่น้ำน่าน ได้แก่ คลองเกษม และที่ไหลลงสู่

บึงบอระเพ็ด ได้แก่ คลองบอน คลอง ลำเจ็ดยอด และคลองท่าตะโก เป็นต้น ส่วนพื้นที่ตอนใต้ของจังหวัด มีการขุดคลองชลประทานและคลองส่งน้ำ

3.4 พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน (vegetation and land use)

ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ใช้ทางการเกษตรมากกว่าครึ่งหนึ่ง คือ ประมาณ 64 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดประมาณ 43.7 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มและมีน้ำอุดมสมบูรณ์ นอกจากนี้พืชไร่ที่ปลูก ได้แก่ ข้าวโพด อ้อย ทานตะวัน ข้าวฟ่าง ฝ้าย ถั่วต่าง ๆ และมันสำปะหลัง ซึ่งข้าวโพดเป็นพืชที่ปลูกกันมากที่สุดและมีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดี

ในปี พ.ศ. 2530 พื้นที่ป่าไม้คงเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 26.8 ของเนื้อที่ทั้งจังหวัด และมีแนวโน้มที่พื้นที่ป่าลดลงทุกปี สาเหตุหลักเกิดจากการบุกรุกเปิดป่าเพื่อนำพื้นที่ไปใช้ทำการเกษตร บริเวณที่ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ดีเกษตรกรก็จะเข้าไปแผ้วถางเพื่อทำการเพาะปลูก ปัจจุบันบริเวณพื้นที่ราบแทบจะไม่มีป่าไม้หลงเหลืออยู่เลย ป่าไม้ส่วนใหญ่ที่ยังคงเหลือจะพบอยู่แต่บริเวณภูเขาที่เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงและยุ่งยากต่อการทำการเกษตร ป่าส่วนใหญ่เป็นป่าเบญจพรรณ พันธุ์ไม้ที่พบ ได้แก่ ตะแบก ตีนนก มะค่าโมง และไผ่ เป็นต้น ป่าแดงหรือป่าโคกพบกระจายอยู่เป็นหย่อม ๆ โดยทั่วไปพันธุ์ไม้ที่พบในป่าชนิดนี้ ได้แก่ ต้นเค็ง ต้นรัง ต้นพลวง และต้นเหียง เป็นต้น ป่าดงดิบส่วนใหญ่พบอยู่ในบริเวณที่มีความชื้นสูง ๆ เช่น บริเวณริมแม่น้ำลำธารหรือบริเวณภูเขาที่มีความชื้นสูง พันธุ์ไม้ที่พบในป่าชนิดนี้ ได้แก่ ต้นไม้ยางขาว ต้นตะแบก และต้นมะค่าโมง เป็นต้น พื้นที่ป่าไม้แปลงใหญ่ที่ยังคงเหลือ อยู่ด้านทิศตะวันตกของอำเภอลาดยาว บริเวณเขตติดต่อกับจังหวัดตากและอุทัยธานี

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. การศึกษาภาคสนามและเก็บตัวอย่างดิน

1.1 แผนที่ดินจังหวัดนครสวรรค์ (กองสำรวจและจำแนกดิน, 2530)

1.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน

อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างดินในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วย ซีซีเอ็ม 137 ดังแสดงในภาพที่ 7 แต่ในการศึกษารั้งนี้ผู้วิจัยไม่สามารถจัดซื้ออุปกรณ์นี้ได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ดัดแปลงอุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินด้วยคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญจากสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยการใช้ท่อกลมทรงกระบอกดัดแปลงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6.92 เซนติเมตร ความยาว 35 เซนติเมตร เป็นการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวน (undisturbed sample) ที่ทราบปริมาตรของตัวอย่างดินที่เก็บจากท่อกลมทรงกระบอกดัดแปลง



ภาพที่ 7 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างดินในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดิน

1.3 เครื่องมือบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS)

1.4 พลั่ว ค้อน ถุงพลาสติก กระดาษทำป้ายรายละเอียดตัวอย่างดิน เชือก ฯ

2. การวิเคราะห์ดิน

2.1 เครื่องมือวิทยาศาสตร์

- 1) UV-Vis Spectrophotometer รุ่น Lambda35, Perkin Elmer
- 2) Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น SensAA, GBC
- 3) Flame Photometer รุ่น M420, Sherwood
- 4) pH meter รุ่น Docu-pH meter, Sartorius
- 5) Balance
- 6) หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี Canberra Industrial Model Ge 2018
- 7) แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม ^{137}Cs โคบอลต์ 60 (^{60}Co) และแบเรียม 133 (^{133}Ba)

2.2 อุปกรณ์วิทยาศาสตร์

- 1) Auto-tritator (Brand)
- 2) Auto-dilutor (Metromh)
- 3) Mixer
- 4) เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์

2.3 สารเคมี AR Grade

วิธีการ

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและวางแผนก่อนออกสำรวจคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

เลือกพื้นที่ศึกษาโดยพิจารณาจากแผนที่ธรณีวิทยา แผนที่สภาพภูมิประเทศ แผนที่ดินกำหนดอาณาเขตบริเวณพื้นที่ศึกษาในแผนที่สภาพภูมิประเทศ กำหนดจุดที่จะเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ตัวแทนแต่ละความลาดชันโดยสังเขป

2. การเก็บตัวอย่างดินและปฏิบัติงานในภาคสนาม

2.1 ศึกษาสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ศึกษาในสนามที่ได้กำหนดไว้ในแผนที่ แล้วพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษาที่เลือกไว้อย่างละเอียด

2.2 กำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินตามแนวลาดเทของพื้นที่ที่คัดเลือก บันทึกจุดพิกัด ความลาดชัน ระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่าง และการใช้ที่ดิน เป็นต้น

2.3 การเก็บตัวอย่างดิน

การประเมินค่าอัตราการชะล้างพังทลายของดินด้วยซีเซียม 137 นั้น การเก็บตัวอย่างดิน จำเป็นจะต้องทราบค่า bulk 137Cs inventories (Bq/m^2) และการสะสมของซีเซียม 137 ตามความลึก (137Cs vertical depth distribution)

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการศึกษาหาปริมาณ 137Cs นั้น โดยการเก็บตัวอย่างดินด้วยท่อเหล็กกลมทรงกระบอกที่ดัดแปลง ดังแสดงในภาพที่ 8 การเก็บตัวอย่างตามแนวตัดขวางความลาดเทในพื้นที่เกษตร จำนวน 6-10 ตำแหน่งขึ้นอยู่กับระยะทางความยาวของ Transect ที่ศึกษา เก็บตัวอย่างดินตัวอย่างละประมาณ 1 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติกายภาพ เคมี และปริมาณ ซีเซียม 137 ในห้องปฏิบัติการ

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่เกษตรด้วยซีเซียม 137 ดำเนินการศึกษาในพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดนครสวรรค์ โดยการคัดเลือกตัวแทนจากพื้นที่ที่เกษตรกรรมจำนวน 8 แนวตัดขวางความลาดเท (Transect A ถึง Transect I) ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยการเก็บตัวอย่างดินตามแนวตัดขวางความลาดเทของพื้นที่ (Transect) การเก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาการประเมินการชะล้างพังทลายของดินด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์นี้ มีเทคนิควิธีการเก็บตัวอย่างดินเฉพาะที่แตกต่างจากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อการศึกษาสมบัติดินทางการเกษตรทั่วไป ดังนั้น การคัดเลือกพื้นที่และวิธีการเก็บตัวอย่างดินจึงได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือจากทบวงการพลังงานระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) สาธารณรัฐออสเตรีย ซึ่งได้ส่งผู้เชี่ยวชาญจากสาธารณรัฐประชาชนจีนมาช่วยแนะนำในการคัดเลือกพื้นที่และเก็บตัวอย่างดิน คือ Professor Yong Li จากสถาบัน Chinese Academy of Agricultural Science (CAAS) กรุงปักกิ่ง สาธารณรัฐประชาชนจีน

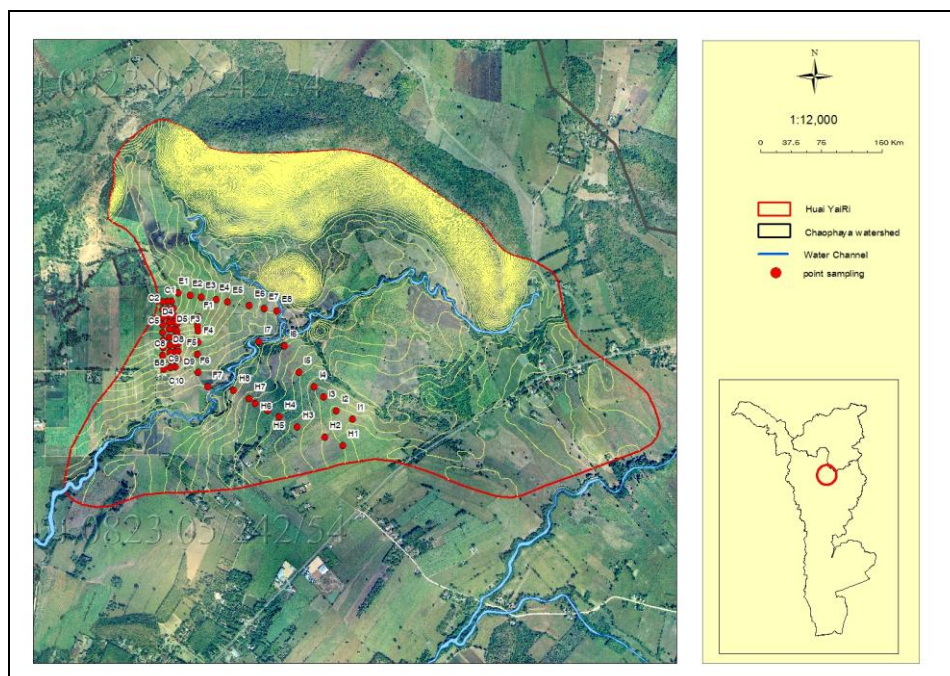
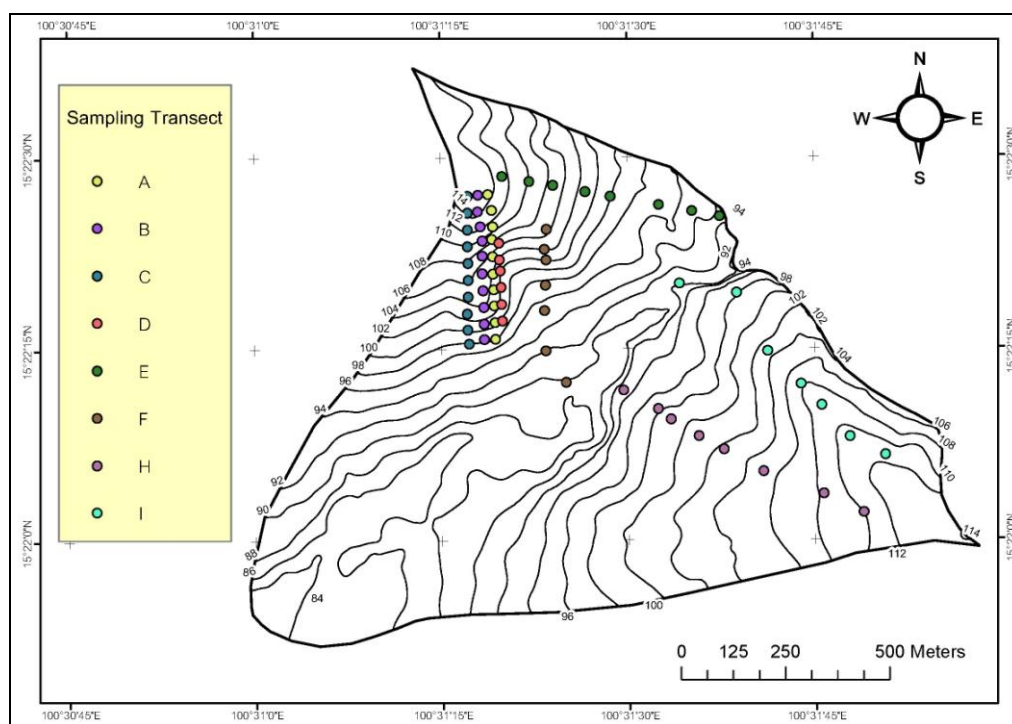
2.3.1. สภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ที่ศึกษาเป็นพื้นที่ดั้งเดิมที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มาตั้งแต่ 50 ปีที่แล้ว ต่อมาเมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2540) เกษตรกรได้เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชอื่นๆ ได้แก่ มันสำปะหลัง ทานตะวัน อ้อย และพืชผักชนิดต่างๆ เป็นต้น

การศึกษานี้ โดยการคัดเลือกพื้นที่เกษตรในจังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 8 แนวตัดขวางตามความลาดเทของพื้นที่ (transect) ได้แก่ Transect A, Transect B, Transect C, Transect D, Transect E, Transect F, Transect H และ Transect I โดยที่ Transect A ถึง Transect F ที่บ้านวังสำราญ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ และ Transect H และ I ที่บ้านขอนแก่นกระพอง ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ ดังแสดงในตารางที่ 8 พื้นที่เก็บตัวอย่างตามความลาดเทในแต่ละแนวนั้น พื้นที่จะลาดเทไปทางเส้นทางน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 การเก็บตัวอย่างดินด้วยท่อทรงกระบอกที่ดัดแปลง



ภาพที่ 9 จุดเก็บตัวอย่างดินที่ศึกษาทั้ง 8 แนวตัดขวางความลาดเทในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์

ตารางที่ 8 ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างดินที่ศึกษาในจังหวัดนครสวรรค์

No	Land use at time	Transect code	X	Y	Downslope distance (m)	Slope (%)	Elevation (m)
1) Transect A : บ้านวังสำราญ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์							
1	maize/	TA1	663342	1700289	0	1.0	113
2	sunflower	TA2	663351	1700251	39	1.7	112
3		TA3	663354	1700212	78	2.4	111
4		TA4	663352	1700181	107	3.2	110
5		TA5	663354	1700140	149	3.8	106
6		TA6	663355	1700098	193	4.0	105
7		TA7	663357	1700060	230	4.7	103
8		TA8	663358	1700021	273	3.4	101
9		TA9	663360	1699981	312	3.8	99
10		TA10	663362	1699941	351	3.4	98
2) Transect B : บ้านวังสำราญ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์							
11	maize/	TB1	663319	1700288	0	1.0	113
12	sunflower	TB2	663318	1700248	41	1.2	112
13		TB3	663324	1700212	78	1.9	112
14		TB4	663329	1700178	112	3.0	109
15		TB5	663329	1700141	149	3.1	107
16		TB6	663329	1700099	192	3.0	106
17		TB7	663331	1700058	232	4.1	103
18		TB8	663333	1700018	274	3.8	102
19		TB10	663335	1699940	353	2.9	98
3) Transect C : บ้านวังสำราญ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์							
20	maize/	TC1	663294	1700285	0	1.4	113
21	sunflower	TC2	663294	1700245	43	2.1	112
22		TC3	663294	1700204	85	2.5	110
23		TC4	663294	1700164	125	2.3	109
24		TC5	663295	1700124	167	2.2	108
25		TC6	663296	1700083	207	2.3	106
26		TC7	663296	1700043	249	3.0	105
27		TC8	663294	1700002	289	3.9	103
28		TC9	663295	1699963	328	2.8	99
29		TC10	663299	1699929	365	2.9	98

ตารางที่ 8 (ต่อ)

No	Land use at time	Transect code	X	Y	Downslope distance (m)	Slope (%)	Elevation (m)
4) Transect D : บ้านวังสำราญ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์							
30	maize/	TD4	663369	1700172	0	3.9	108
31	sunflower	TD5	663371	1700132	42	3.8	106
32		TD6	663373	1700106	67	4.0	105
33		TD7	663375	1700066	105	4.7	103
34		TD8	663376	1700025	146	3.4	101
5) Transect E : บ้านวังสำราญ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์							
35	maize/	TE1	663376	1700333	0	1.8	112
36	sunflower	TE2	663441	1700321	68	2.9	109
37		TE3	663498	1700312	131	3.4	107
38		TE5	663636	1700286	272	2.2	100
39		TE6	663752	1700266	391	1.8	96
40		TE7	663832	1700251	478	1.7	94
41		TE8	663898	1700239	541	5.4	93
6) Transect F : บ้านวังสำราญ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์							
42	maize/	TF1	663483	1700206	0	3.8	106
43	sunflower	TF2	663478	1700158	50	4.0	104
44		TF3	663482	1700132	76	3.5	103
45		TF4	663481	1700072	134	3.8	99
46		TF5	663479	1700010	198	3.2	95
47		TF7	663531	1699838	286	1.4	89

ตารางที่ 8 (ต่อ)

No	Land use at time	Transect code	X	Y	Downslope distance (m)	Slope (%)	Elevation (m)
7) Transect H : บ้านขอนแก่นพะงษ์ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์							
48	maize/	TH1	664245	1699527	0	1.0	108
49	sunflower	TH2	664150	1699572	106	1.4	106
50		TH3	664005	1699625	256	1.7	102
51		TH4	663910	1699678	365	1.4	98
52		TH5	663850	1699710	432	1.4	97
53		TH6	663783	1699750	512	2.4	95
54		TH7	663752	1699775	545	2.5	93
8) Transect I : บ้านขอนแก่นพะงษ์ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์							
55	maize/	TI1	664297	1699666	0	1.4	108
56	sunflower	TI2	664212	1699710	95	0.5	107
57		TI3	664144	1699785	196	2.1	105
58		TI4	664094	1699836	268	2.7	102
59		TI5	664014	1699915	379	2.4	98
60		TI7	663802	1700077	492	1.4	91

รายละเอียดสภาพของพื้นที่ศึกษาในแต่ละ Transect จังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 8 Transects ดังนี้

1) Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D (ภาพที่ 10)

พื้นที่ศึกษาของ Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D นี้เป็นพื้นที่แปลงใหญ่แปลงเดียวกัน สภาพพื้นที่ทั่วไปค่อนข้างราบเรียบ (nearly flat, 1%) ถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (gently undulating, 2-4.7%) พื้นที่ศึกษาอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) ประมาณ 98-113 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 8 ระยะทางความยาวตามแนวตัดขวางตามความลาดเทที่เก็บตัวอย่างดินของ Transect A, Transect B และ Transect C ใกล้เคียงกัน (365 เมตร) ส่วน Transect C ระยะทางจะสั้นกว่า (190 เมตร) ดังแสดงในภาพที่ 11 พืชที่ปลูกในขณะเก็บตัวอย่างดิน คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (land use at time)

2) Transect E และ F (ภาพที่ 12)

พื้นที่ศึกษาของ Transect E และ Transect F เป็นพื้นที่แปลงเดียวกัน สภาพพื้นที่ทั่วไปของ Transect E และ Transect F ค่อนข้างราบเรียบ (1.4-1.8%) ถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (2.2-5.4%) ดังแสดงในตารางที่ 8 พื้นที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 89-112 เมตร ระยะทางความยาวของ Transect E (541 m) ยาวกว่า Transect F (486 m) เล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 13 พืชที่ปลูกในขณะเก็บตัวอย่างดิน คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (land use at time)

3) Transect H (ภาพที่ 14)

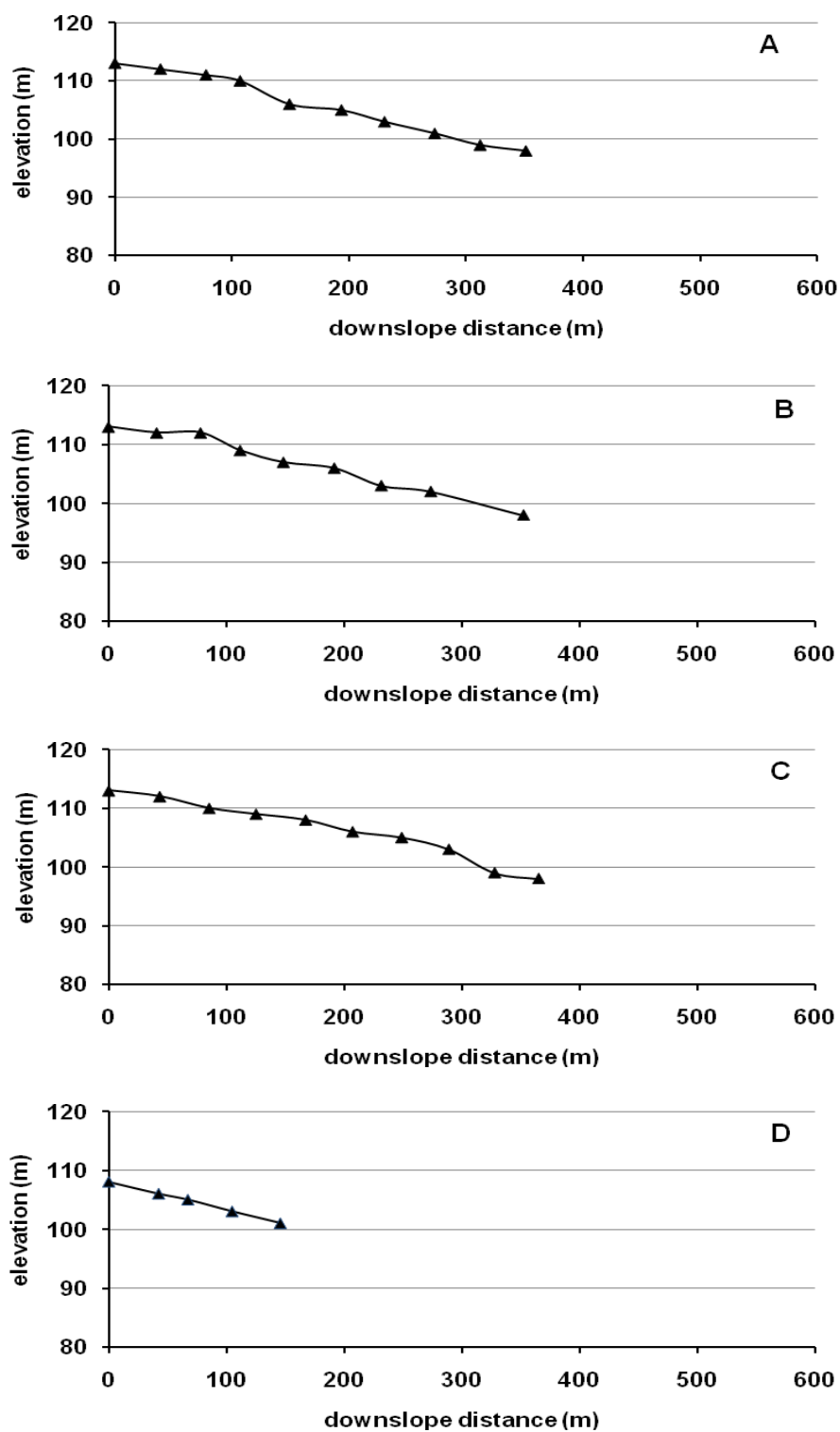
Transect H มีสภาพพื้นที่ทั่วไปค่อนข้างราบเรียบ (nearly flat, slope 1-1.7%) ถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (gently undulating, slope 2.5%) ดังแสดงในตารางที่ 8 พื้นที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 93-108 เมตร ระยะทางความยาวของ Transect H 640 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 15 พืชที่ปลูกในขณะเก็บตัวอย่างดิน คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (land use at time)

4) Transect I (ภาพที่ 14)

Transect I มีสภาพพื้นที่ทั่วไปค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (slope 0.5-2.7%) ดังแสดงในตารางที่ 8 พื้นที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 91-108 เมตร ระยะทางความยาวของ Transect I 490 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 15 พืชที่ปลูกในขณะเก็บตัวอย่างดิน คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (land use at time)



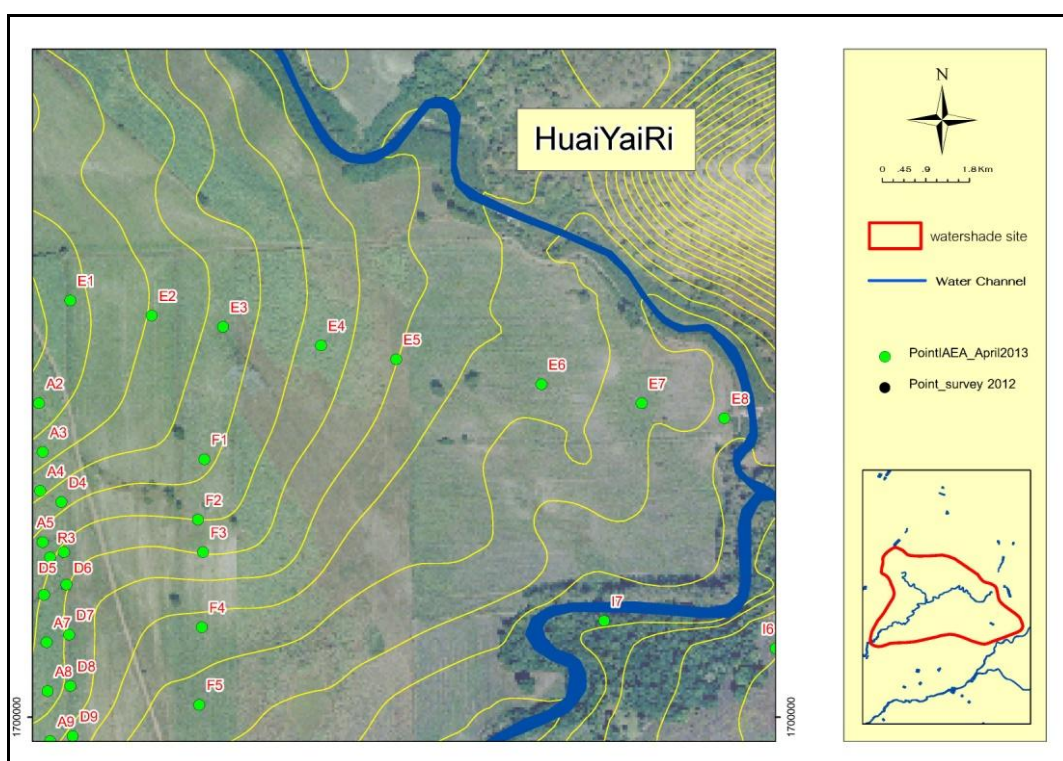
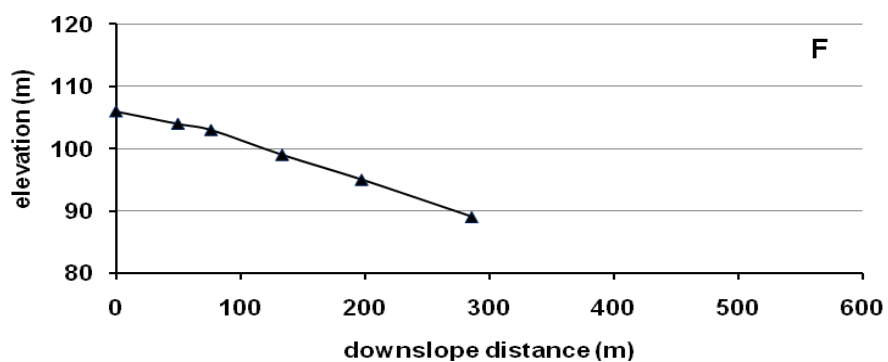
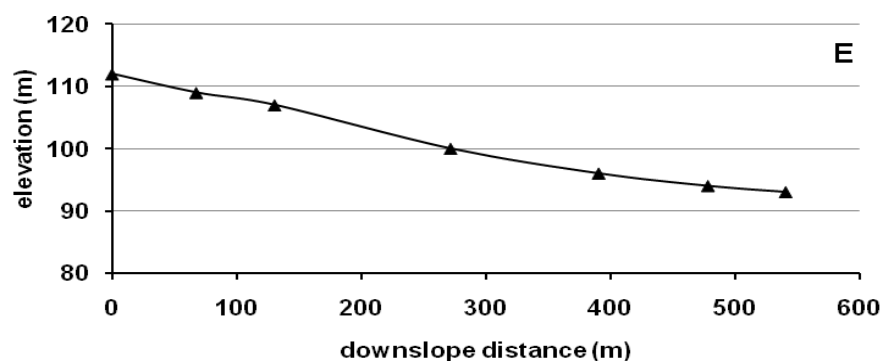
ภาพที่ 10 สภาพพื้นที่เก็บตัวอย่างดินของ Transect A, Transect B, Transect C, Transect D
(เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน พ.ศ. 2555)



ภาพที่ 11 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดินที่ศึกษาตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทของ Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน พ.ศ. 2555)



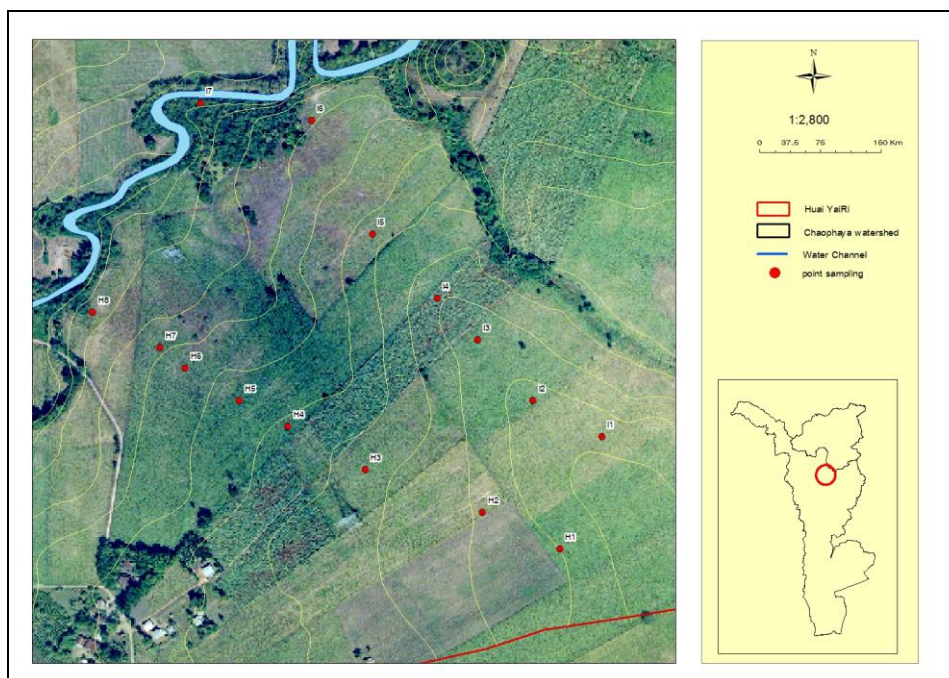
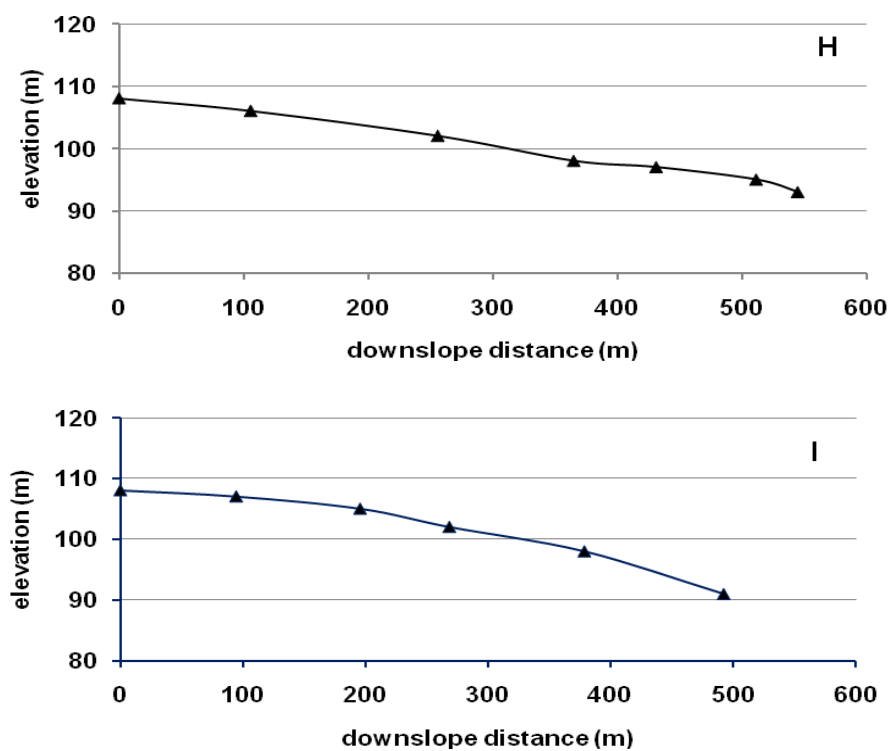
ภาพที่ 12 สภาพแวดล้อมของพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างอย่างดินที่ศึกษา Transect E และ Transect F (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน พ.ศ. 2555)



ภาพที่ 13 จุดเก็บตัวอย่างดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษาของ Transect E และ Transect F (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน พ.ศ. 2555)



ภาพที่ 14 สภาพแวดล้อมของพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างอย่างดินที่ศึกษาของ Transect H, Transect I (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน พ.ศ. 2555)



ภาพที่ 15 จุดเก็บตัวอย่างดินตามระยะทางของแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษาของ Transect H และ Transect I (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเมษายน พ.ศ. 2555)

3. การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินทั้งหมดที่เก็บมาทั้งหมดพร้อมบันทึกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของท่อเก็บตัวอย่างดิน

3.2 การเตรียมตัวอย่างดินเบื้องต้น

3.2.1 นำตัวอย่างดินไปใส่ในภาชนะที่สะอาดและเก็บเศษหินหรือชิ้นส่วนพืชออก

3.2.2 ผึ่งตัวอย่างดินในภาชนะให้แห้งในที่ร่ม (air dried)

3.2.3 ร่อนตัวอย่างดินที่แห้งด้วยตะแกรงสแตนเลสขนาด 2 มิลลิเมตร

3.2.4 นำตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ใส่ขวดที่สะอาดเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ในห้องปฏิบัติการต่อไป

4. การวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ

4.1 ^{137}Cs Activity ด้วยวิธี Gamma spectrometric analysis

1) นำตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงสแตนเลสขนาด 2 มิลลิเมตร ประมาณ 50 กรัม ใส่ลงในภาชนะพลาสติกทรงกลม ปิดฉลากภาชนะพลาสติกด้วยเทปขาว

2) ปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสี (Energy Calibration) โดยการวัดรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ^{137}Cs สารรังสีมาตรฐานที่ใช้ปรับเทียบ คือ Standards Muti nuclide standard ของ Eckert & Ziegler Strahlen

3) วิเคราะห์ ^{137}Cs Activity ด้วยเครื่อง High purity Germanium HPGe (ORTEC GMX, N type) with gamma detector ที่ 662 keV แต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการวิเคราะห์ 8000 นาที

4) สารรังสีมาตรฐานที่ใช้ปรับเทียบเครื่องวัดกระทำโดยใช้เทียบกับสารมาตรฐาน Standards Muti nuclide standard ของ Eckert and Ziegler Strahlen

หน่วยวัดความเข้มข้นของ ^{137}Cs activity คือ Bq/kg

การคำนวณอัตราการชะล้างพังทลาย (erosion rates) ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ คือ Mass Balance II Conversion Model (Walling and He, 1999)

4.2 สมบัติดินทางกายภาพ

4.2.1 การกระจายของขนาดอนุภาค (particle size distribution) อนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว โดยวิธีไปเปต (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ห้มาแจกแจงประเภทเนื้อดิน (soil textural class) โดยเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐ (USDA textural class) (Soil Survey Staff, 1999)

4.2.2 การแจกกระจายขนาดอนุภาคทราย

การวิเคราะห์การกระจายของขนาดอนุภาคทรายด้วยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดต่างๆ (Day, 1965) แยกอนุภาคขนาดทราย 5 ขนาด ได้แก่ ทรายหยาบมาก ทรายหยาบ ทรายปานกลาง ทรายละเอียด ทรายละเอียดมาก ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การจำแนกกลุ่มขนาดของอนุภาคดิน (soil separates) ตามระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA)

อนุภาคขนาดทราย	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)
1. ทรายหยาบมาก (Very Coarse Sand, VCS)	1.00-2.00
2. ทรายหยาบ (Coarse Sand, CS)	0.50-1.00
3. ทรายปานกลาง (Medium Sand, MS)	0.25-0.50
4. ทรายละเอียด (Fine Sand, FS)	0.10-0.25
5. ทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand, VFS)	0.05-0.10

4.3 สมบัติดินทางเคมี

4.3.1 ค่าปฏิกิริยาดิน (soil reaction)

การวิเคราะห์ค่าปฏิกิริยาดิน ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996) ตรวจวัดด้วยเครื่อง pH meter

4.3.2 อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter, SOM)

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินด้วยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934; Walkley, 1935) โดยการใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) เข้มข้น 1 N ทำหน้าที่เป็น oxidizing agent แล้วไทเทรตด้วยสารเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 N เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอินทรีย์คาร์บอนในดิน

การคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ดังนี้

$$\% \text{ OM (organic matter)} = (\% \text{ OC}) \times (1.724)$$

4.3.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยการสกัดด้วยสารละลาย Bray II (Bray and Kurtz, 1945) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (รุ่น Lambda35, Perkin Elmer) ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร

4.3.4 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (extractable potassium)

การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่สกัดได้โดยการสกัดด้วย 1M NH_4OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Flame Photometer (Sherwood) ที่ความยาวคลื่น 383 นาโนเมตร

4.3.5 ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ (extractable potassium)

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ โดยการสกัดด้วย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Pratt, 1965) แล้วตรวจวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (รุ่น SenIIA, GBC)

5 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 รวบรวมข้อมูลผลวิเคราะห์ดินที่ศึกษา ได้แก่ ^{137}Cs Activity สมบัติดินทางกายภาพและเคมี จัดทำตาราง และกราฟ

5.2 คำนวณค่าอัตราการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ศึกษาโดยใช้แบบจำลอง Mass Balance II Model (Walling and He, 1999)

5.3 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Statistica

5.4 ทำแผนที่การชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ศึกษา

สถานที่ศึกษา

1. พื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดนครสวรรค์
2. ห้องปฏิบัติการเคมีดินและกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ
3. ห้องปฏิบัติการนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอบางกรวย จังหวัดนครนายก

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษากการประเมินการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่เกษตรกรรมด้วยซีเซียม 137 ประกอบด้วย ปริมาณซีเซียม 137 ในดิน สมบัติดินทางกายภาพ สมบัติดินทางเคมี การประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดิน (Soil Redistribution Rate, SRD) ด้วยซีเซียม 137 และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการชะล้างพังทลายของดินกับสมบัติดิน ผลการศึกษา ดังนี้

1. ปริมาณซีเซียม 137 ในดิน

ผลการศึกษาปริมาณซีเซียม 137 ในดิน พบว่า พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 8 แนวตัดขวางความลาดเทของพื้นที่ (transect) ดินมีปริมาณซีเซียม 137 อยู่ระหว่าง 0.03-1.2 Bq/kg (ค่าเฉลี่ย 0.5 Bq/kg) เมื่อพิจารณาการสะสมของซีเซียม 137 ในดิน ตามแนวตัดขวางความลาดเทของพื้นที่ในแต่ละ transect ที่ศึกษา พบว่า การสะสมปริมาณซีเซียม 137 ในดิน พบว่า Transect I มีการสะสมปริมาณซีเซียม 137 ในดินสูงสุด (0.49-1.03 Bq/kg เฉลี่ย 0.76 Bq/kg) > Transect H (0.33-1.18 Bq/kg ค่าเฉลี่ย 0.66 Bq/kg) > Transect F (0.50-0.75 Bq/kg ค่าเฉลี่ย 0.64 Bq/kg) > Transect E (0.26-1.22 Bq/kg ค่าเฉลี่ย 0.56 Bq/kg) > Transect C (0.08-0.86 Bq/kg ค่าเฉลี่ย 0.46 Bq/kg) > Transect B (0.08-0.77 Bq/kg ค่าเฉลี่ย 0.40 Bq/kg) > Transect D (0.15-0.49 Bq/kg ค่าเฉลี่ย 0.36 Bq/kg) > Transect A (0.03-0.49 Bq/kg ค่าเฉลี่ย 0.19 Bq/kg) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณซีเซียม 137 ในดินที่ศึกษา (N=60)

No	Transect	No of samples	137Cs (Bq/kg)	
			Range	Average
1	A	10	0.03-0.49	0.19
2	B	9	0.08-0.77	0.40
3	C	10	0.08-0.86	0.46
4	D	5	0.15-0.49	0.36
5	E	7	0.26-1.22	0.56
6	F	6	0.50-0.75	0.64
7	H	7	0.33-1.18	0.66
8	I	6	0.49-1.03	0.76

2. สมบัติกายภาพของดินที่ศึกษา

2.1 ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในดินที่ศึกษา

การกระจายของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวใน ดินตามแนวตัดขวาง ความลาดเทในพื้นที่ศึกษา พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษามีเนื้อดินจัดอยู่ในกลุ่มเนื้อดินปานกลาง ได้แก่ ดินร่วน (loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) ดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 2 การสะสมของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้งและดินเหนียวในดินตามแนวตัดขวาง ความลาดเท พบว่า ดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีอนุภาคขนาดทรายแป้งสูงสุด (27.5-66.1% ค่าเฉลี่ย 45.8%) รองลงมาได้แก่ อนุภาคขนาดทราย (11.6-47.5% ค่าเฉลี่ย 29.1%) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (16.3-38.5% ค่าเฉลี่ย 25.1%) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณของอนุภาคขนาดต่างๆ ในดินที่ศึกษา (N=59)

Variables	VCS*	CS*	MS*	FS*	VFS*	Sand	Silt	Clay
%								
Minimum	0.5	1.0	2.0	3.6	0.5	11.6	27.5	16.3
Maximum	10.6	9.6	9.0	11.0	12.3	47.5	66.1	38.5
Mean	4.9	4.5	4.8	6.7	8.1	29.1	45.8	25.1

หมายเหตุ: VCS* = Very Coarse Sand CS* = Coarse Sand
 MS* = Medium Sand FS* = Fine Sand
 VFS* = Ver Fine Sand

ผลการศึกษาการสะสมปริมาณของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในดินตามแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 11 ดังนี้

ปริมาณอนุภาคขนาดทรายในดินที่ศึกษา Transect A (32.5-47.5 % ค่าเฉลี่ย 37.8%) มีค่าสูงสุด > Transect D (24.8-47.0% ค่าเฉลี่ย 35.9%) > Transect B (28.6-42.7% ค่าเฉลี่ย 33.6%) > Transect C (22.7-30.9% ค่าเฉลี่ย 27.5%) > Transect F (14.5-35.62% ค่าเฉลี่ย 25.5%) > Transect I (18.1-30.7% ค่าเฉลี่ย 22.5%) > Transect H (17.3-30.5% ค่าเฉลี่ย 22.4%) > Transect E (11.6-27.2% ค่าเฉลี่ย 19.9%) ตามลำดับ

ส่วนปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งในดินตามแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา พบว่า Transect H (47.7-66.1% ค่าเฉลี่ย 55.7%) มีค่าสูงสุด > Transect I (38.2-61.6% ค่าเฉลี่ย 53.2%) > Transect E (45.9-52.0% ค่าเฉลี่ย 49.0%) > Transect C (45.2-50.9% ค่าเฉลี่ย 48.0%) > Transect F (40.3-56.2% ค่าเฉลี่ย 47.9%) > Transect D (33.9-50.6% ค่าเฉลี่ย 42.7%) > Transect B (36.0-44.2% ค่าเฉลี่ย 38.9%) > Transect A (27.5-43.8% ค่าเฉลี่ย 36.8%) ตามลำดับ

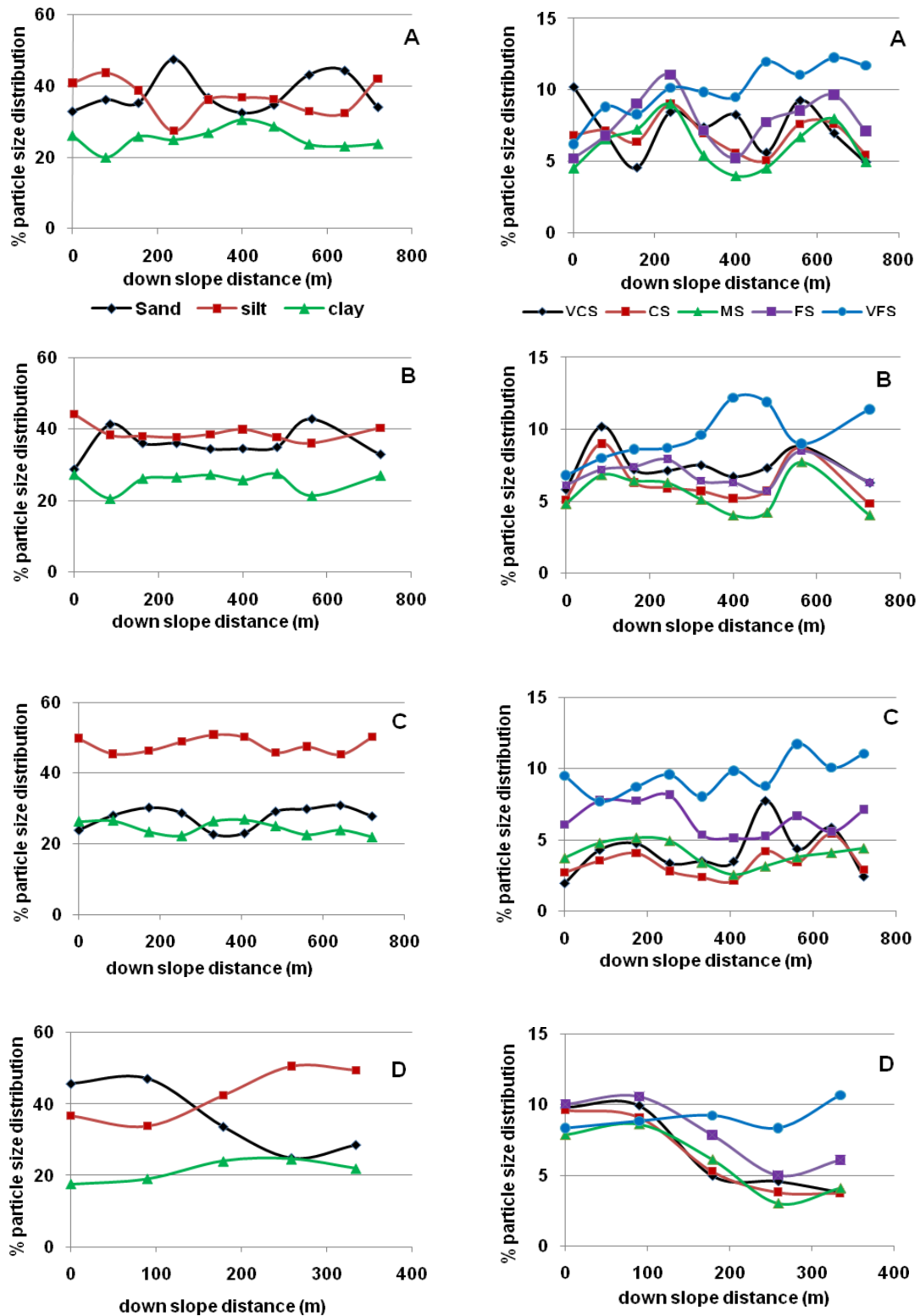
ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวในดินที่ศึกษา Transect E (22.9-38.2% ค่าเฉลี่ย 31.2%) มีค่าสูงสุด > Transect F (21.5-34.1% ค่าเฉลี่ย 26.6%) > Transect A (20.0-30.7% ค่าเฉลี่ย 25.4%) $\approx$ Transect B (20.5-27.5% ค่าเฉลี่ย 25.4%) > Transect C (22.0-26.8% ค่าเฉลี่ย 24.5%) > Transect I (16.3-38.5% ค่าเฉลี่ย 24.3%) > Transect H (16.5-28.1% ค่าเฉลี่ย 21.9%) > Transect D (17.6-24.6% ค่าเฉลี่ย 21.5%) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนย้ายของอนุภาคขนาดต่างๆ ตามระยะทางความลาดเทของพื้นที่ พบว่า อนุภาคขนาดทรายแป้งของทุก แนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา (Transects) มีการเคลื่อนย้ายมากที่สุด รองลงมา คืออนุภาคขนาดทราย และอนุภาคขนาดดินเหนียว ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 16 (Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D) และภาพที่ 17 (Transect E, Transect F, Transect H และ Transect I)

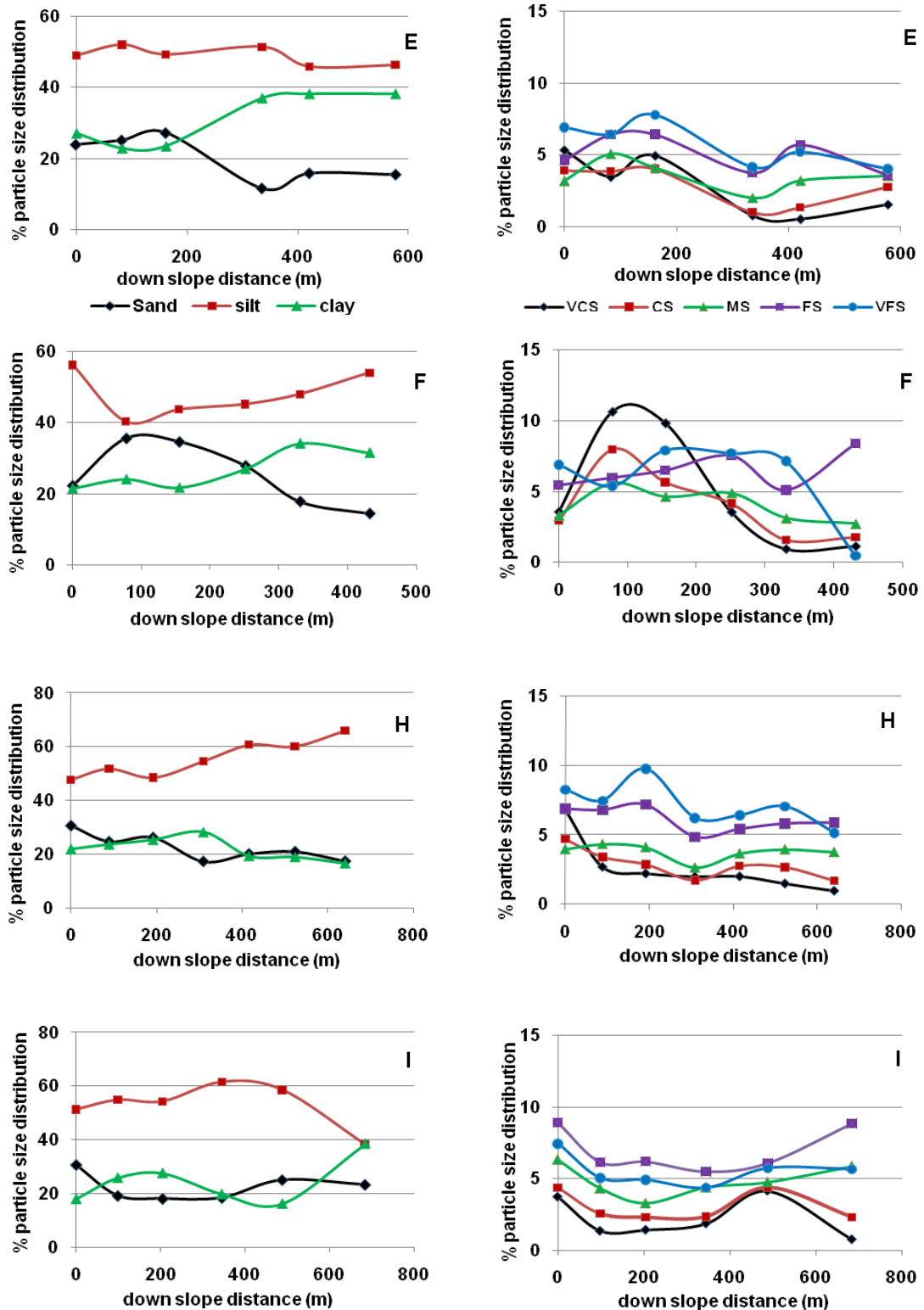
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในดินที่ศึกษากับปริมาณซีเซียม 137 พบว่า ปริมาณซีเซียม 137 ในดินที่ศึกษามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงทางบวกกับอนุภาคขนาดทรายแป้ง ($R^2=0.45$) ในขณะที่ปริมาณซีเซียม 137 ในดินที่ศึกษามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางลบกับปริมาณอนุภาคขนาดทราย ($R^2=0.35$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว ($R^2=0.004$) ดังแสดงในภาพที่ 18

ตารางที่ 12 ปริมาณอนุภาคขนาดต่างๆ ในดินตามแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา (N=59)

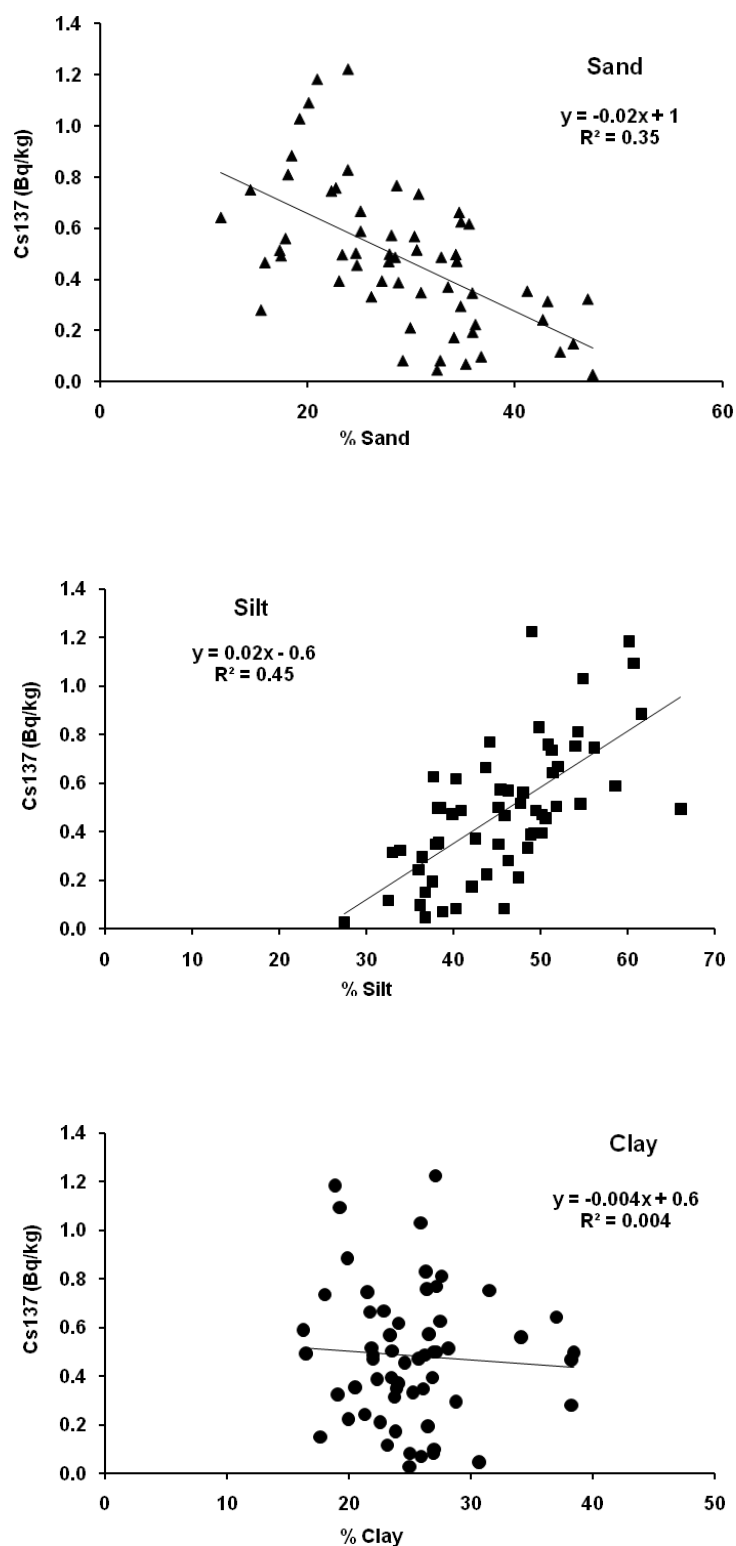
No	Variables	Transect	A	B	C	D	E	F	H	I
		No of samples	10	9	10	5	7	6	7	6
1	sand	Range (%)	32.5-47.5	28.6-42.7	22.7-30.9	24.8-47.0	11.6-27.2	14.5-35.6	17.3-30.5	18.1-30.7
		Mean (%)	37.8	33.6	27.5	35.9	19.9	25.5	22.4	22.5
2	silt	Range (%)	27.5-43.8	36.0-44.2	45.2-50.9	33.9-50.6	45.9-52.0	40.3-56.2	47.7-66.1	38.2-61.6
		Mean (%)	36.8	38.9	48.0	42.7	49.0	47.9	55.7	53.2
3	clay	Range (%)	20.0-30.7	20.5-27.5	22.0-26.8	17.6-24.6	22.9-38.2	21.5-34.1	16.5-28.1	16.3-38.5
		Mean (%)	25.4	25.4	24.5	21.5	31.2	26.6	21.9	24.3
4	very coarse sand	Range (%)	4.5-10.2	5.8-10.2	1.9-7.7	3.8-9.9	0.5-5.3	0.9-10.6	1.0-6.8	0.7-4.1
		Mean (%)	7.2	7.4	4.1	6.6	2.7	4.9	2.6	2.2
5	coarse sand	Range (%)	5.0-9.0	4.8-9.0	2.1-5.4	3.8-9.6	1.0-4.0	1.6-8.0	1.7-4.7	2.3-4.4
		Mean (%)	6.8	6.3	3.4	6.3	2.8	4.0	2.8	3.0
6	medium sand	Range (%)	4.0-9.0	4.0-7.7	2.6-5.1	3.0-8.6	2.0-5.1	2.7-5.6	2.6-4.3	3.3-6.3
		Mean (%)	6.1	5.5	4.0	5.9	3.5	4.1	3.8	4.8
7	fine sand	Range (%)	5.2-11.0	5.7-8.5	5.1-8.2	5.0-10.6	3.6-6.4	5.1-8.4	4.8-7.2	5.5-8.9
		Mean (%)	7.7	6.9	6.5	7.9	5.1	6.5	6.1	6.9
8	very fine sand	Range (%)	6.2-12.3	6.8-12.2	7.7-11.7	8.3-10.7	4.0-7.8	0.5-7.9	5.1-9.8	4.4-7.4
		Mean (%)	10.0	9.6	9.5	9.1	5.7	5.9	7.2	5.5



ภาพที่ 16 ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ในดินตามระยะทางแนวขวางความลาดเทที่ศึกษาของ Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D



ภาพที่ 17 ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ในดินตามระยะทางแนวขวางความลาดเทที่ศึกษา Transect E, Transect F, Transect H และ Transect I



ภาพที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในดินที่ศึกษา กับ ปริมาณซีเซียม 137 (N=59)

2.2 ปริมาณอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ในดินที่ศึกษา

การสะสมของอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ในดินที่ศึกษา พบว่า ดินส่วนใหญ่มีอนุภาคขนาดทรายละเอียดมากที่สุด (Very Fine Sand, VFS) (0.5-12.3% ค่าเฉลี่ย 8.1%) รองลงมาได้แก่ อนุภาคขนาดทรายละเอียด (Fine Sand, FS) (3.6-11.0% ค่าเฉลี่ย 6.7%) อนุภาคขนาดทรายหยาบมาก (Very Coarse Sand, VCS) (0.5-10.60% ค่าเฉลี่ย 4.9%) อนุภาคขนาดทรายหยาบปานกลาง (Medium Sand, MS) (2.0-9.0% ค่าเฉลี่ย 4.8%) และอนุภาคขนาดทรายหยาบ (Coarse Sand, CS) มีปริมาณต่ำสุด (1.0-9.6% ค่าเฉลี่ย 4.8%) ดังแสดงในตารางที่ 12

เมื่อพิจารณาการสะสมของอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ในแต่ละแนวตัดขวางความลาดเท (ภาพที่ 17) พบว่า อนุภาคขนาดทรายที่เคลื่อนย้ายตามแนวตัดขวางความลาดเทมากที่สุดคือ อนุภาคขนาดทรายละเอียดมาก ยกเว้น Transect I อนุภาคขนาดทรายที่เคลื่อนย้ายตามแนวตัดขวางความลาดเทมากที่สุด คือ ขนาดทรายละเอียด ส่วนอนุภาคขนาดทรายขนาดอื่นๆ มีการเคลื่อนย้ายไปในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการเคลื่อนย้ายนี้เป็นกระบวนการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็กจากพื้นที่ตอนบนจึงเคลื่อนย้ายไปสะสมในชั้นดินบนตอนล่างของพื้นที่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Buol *et.al.*, 2003)

3. สมบัติเคมีของดินที่ศึกษา

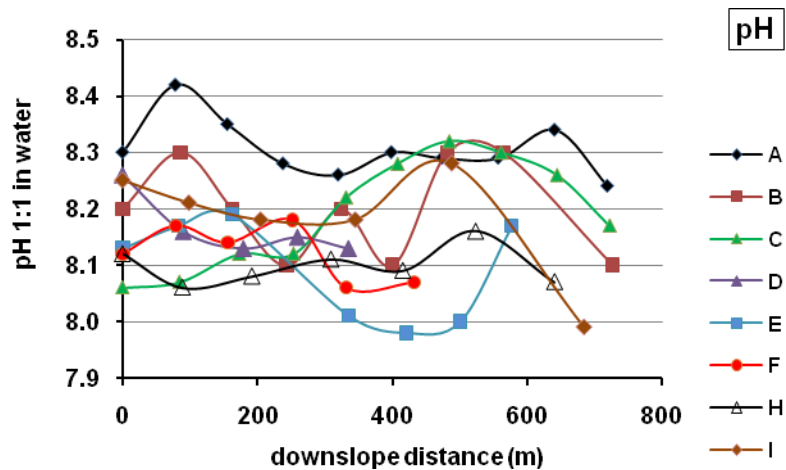
ผลการศึกษาสมบัติเคมีบางประการในดินที่ศึกษา ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม

3.1 ค่าปฏิกิริยาดิน

ค่าปฏิกิริยาในดินที่ศึกษา พบว่า ดินทุกบริเวณมีค่าปฏิกิริยา ดินเป็นด่าง (pH 8.0-8.4 ค่าเฉลี่ย 8.2) ดังแสดงในตารางที่ 13 ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุต้นกำเนิดดินในบริเวณนี้ คือ หินปูน เมื่อพิจารณาค่าปฏิกิริยาดินตามระยะทางของแนวตัดขวางความลาดเท พบว่า ดินในตอนล่างสุดของพื้นที่มีค่าปฏิกิริยาดินลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบใน Transect เดียวกัน ดินจาก Transect A มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างสูงกว่าดินจากบริเวณอื่นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 19

ตารางที่ 13 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ศึกษา (N=60)

Variables	OM	pH 1:1	P	K	Ca	Mg
	%	in water	mg/kg			
Minimum	1.7	8.0	0.2	158	6560	73
Maximum	4.5	8.4	227.4	539	12462	799
average	3.1	8.2	39.4	305	9321	212



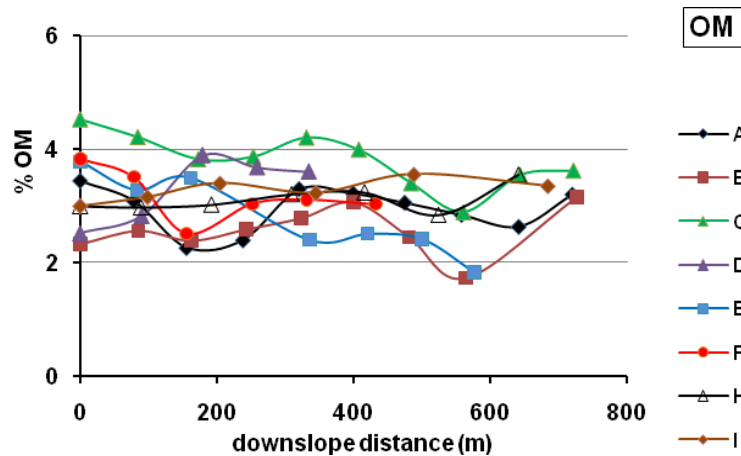
ภาพที่ 19 ค่าปฏิกิริยาของดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา

3.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter, SOM)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 1.7-4.5 (ค่าเฉลี่ย 3.1%) ดังแสดงในตารางที่ 13 เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินแต่ละ Transect ที่ศึกษา พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงสุด คือ Transect C (1.68-2.63% ค่าเฉลี่ย 2.21%) > Transect D (1.46-2.26% ค่าเฉลี่ย 1.92%) > Transect I (1.74-2.06% ค่าเฉลี่ย 1.91%) > Transect F (1.45-2.22% ค่าเฉลี่ย 1.84%) > Transect H (1.65-2.06% ค่าเฉลี่ย 1.81%) > Transect A (1.31-1.99% ค่าเฉลี่ย 1.70%) > Transect E (1.06-2.19% ค่าเฉลี่ย 1.63%) > Transect B (1.00-1.83% ค่าเฉลี่ย 1.48%) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14 การสะสมอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าลดลงตามความลาดชันของพื้นที่ และส่วนใหญ่ของดินในส่วนล่างสุดของพื้นที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาสะสมเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 20

ตารางที่ 14 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินในแต่ละ Transect ที่ศึกษา (N=60)

No	Variables	Transect	A	B	C	D	E	F	H	I
		No of samples	10	9	10	5	7	6	7	6
1	pH	Range (mg/kg)	8.2-8.4	8.1-8.3	8.1-8.3	8.1-8.3	8.0-8.2	8.1-8.2	8.1-8.2	8.0-8.3
		Average (mg/kg)	8.3	8.2	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8.2
2	OM	Range (%)	1.31-1.99	1.00-1.83	1.68-2.63	1.46-2.26	1.06-2.19	1.45-2.22	1.65-2.06	1.74-2.06
		Average (%)	1.70	1.48	2.21	1.92	1.63	1.84	1.81	1.91
3	P	Range (mg/kg)	0.3-77.6	0.2-83.1	22.8-227.4	1.0-62.3	9.8-111.6	1.2-64.9	30.1-71.1	22.5-47.2
		Average (mg/kg)	20.1	16.6	81.7	37.1	40.3	29.7	52.1	31.1
4	K	Range (mg/kg)	189.2-389.2	232.2-443.2	176.2-418.2	262.7-354.2	158.2-539.2	219.2-455.2	353.2-486.2	228.2-408.2
		Average (mg/kg)	253.3	287.7	303.8	317.7	267.1	307.5	421.9	314.7
5	Ca	Range (mg/kg)	7168-9906	6560-9220	8534-10876	7166-9902	8568-12130	7900-12462	9006-11276	8948-11118
		Average (mg/kg)	8593.4	7827.3	9918.4	8724.4	10230.9	10034	9918	9807
6	Mg	Range (mg/kg)	73.1-170	94.2-190.1	150.5-267.1	138.1-254.3	169.6-799.2	187.7-627.2	191.2-238	176.1-514.7
		Average (mg/kg)	121.3	134.8	206.4	185	335.7	319.3	213.7	258.4

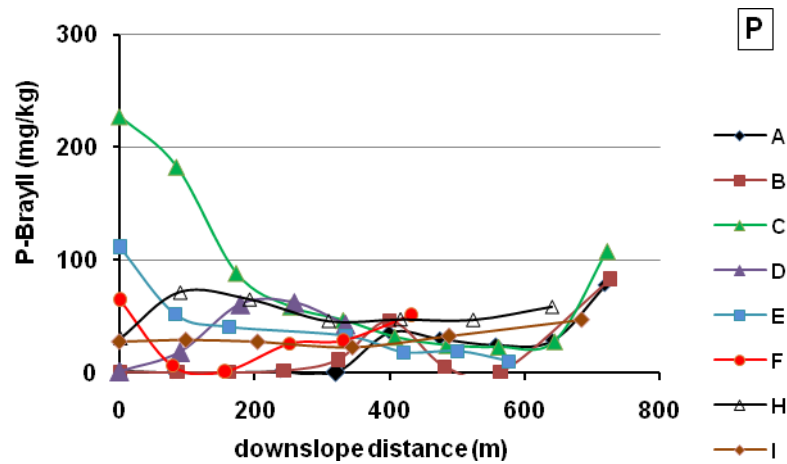


ภาพที่ 20 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทในพื้นที่ศึกษา

3.3 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (Phosphorus, P)

ปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 0.2-227.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่าเฉลี่ย 39.4 mg/kg) ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยที่ Transect C (22.8-227.4 mg/kg ค่าเฉลี่ย 81.7 mg/kg) มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงสุด > Transect H (30.1-71.1 mg/kg ค่าเฉลี่ย 52.1 mg/kg) > Transect E (9.8-111.6 mg/kg ค่าเฉลี่ย 40.3 mg/kg) > Transect D (1.0-62.3 mg/kg ค่าเฉลี่ย 37.1 mg/kg) > Transect I (22.5-47.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 31.1 mg/kg) > Transect F (1.2-64.9 mg/kg ค่าเฉลี่ย 29.7 mg/kg) > Transect A (0.3-77.6 mg/kg ค่าเฉลี่ย 20.1 mg/kg) > Transect B (0.2-83.1 mg/kg ค่าเฉลี่ย 16.6 mg/kg) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14

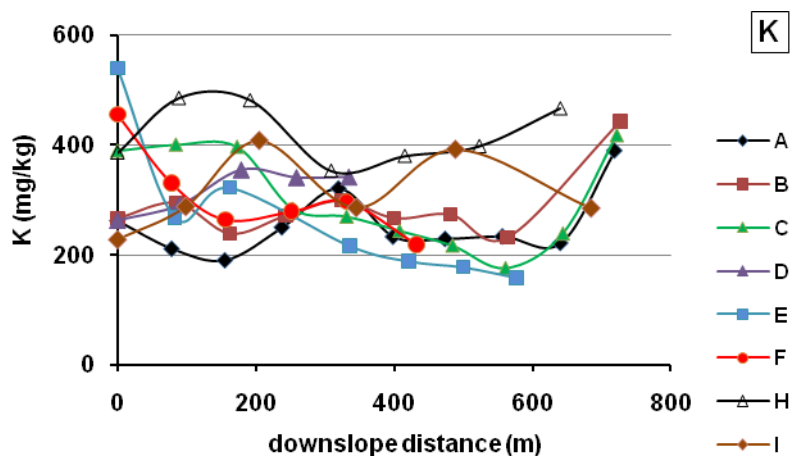
เมื่อพิจารณาการสะสมฟอสฟอรัสในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเท พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในดินตอนบนของ Transect มีค่าสูงแล้วจะลดลงตามระยะทางที่ดินเคลื่อนย้ายตามความลาดเทของพื้นที่ และมีปริมาณเพิ่มขึ้นในดินที่ถูกพัดพาไปในดินตอนล่างสุด ดังแสดงในภาพที่ 21 เช่นเดียวกันกับอินทรีย์วัตถุในดิน



ภาพที่ 21 ปริมาณฟอสฟอรัสในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทพื้นที่ศึกษา

3.4 ปริมาณโพแทสเซียมในดิน (Potassium, K)

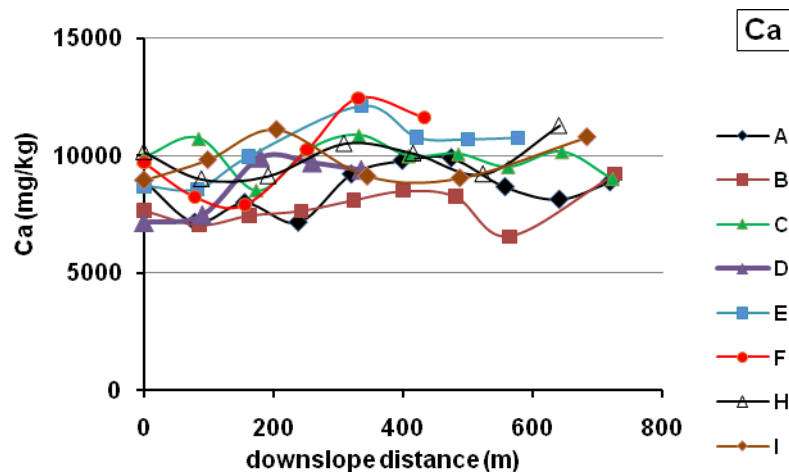
ปริมาณโพแทสเซียมในดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 158.2-539.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 305 mg/kg ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยที่ Transect H (353.2-486.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 421.9 mg/kg) มีปริมาณโพแทสเซียมในดินสูงสุด > Transect D (262.7-354.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 317.7 mg/kg) > Transect I (228.2-408.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 314.7 mg/kg) > Transect F (219.2-455.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 307.5 mg/kg) > Transect C (176.2-418.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 303.8 mg/kg) > Transect B (232.2-443.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 287.7 mg/kg) > Transect E (158.2-539.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 267.1 mg/kg) > Transect A (189.2-389.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 253.3 mg/kg) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14 การสะสมของโพแทสเซียมในดินตามระยะทางของแนวตัดขวางความลาดเทมีลักษณะเช่นเดียวกับการสะสมของฟอสฟอรัสในดิน ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ปริมาณโพแทสเซียมในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทในพื้นที่ศึกษา

3.5 ปริมาณแคลเซียมในดิน (Calsium, Ca)

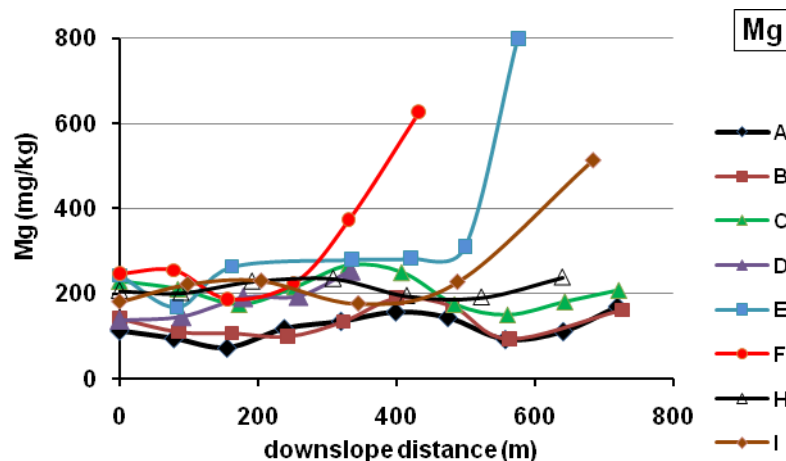
ปริมาณแคลเซียมในดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 6,560-12,462 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 9,321 mg/kg) ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยที่ Transect E (8,568-12,130 mg/kg ค่าเฉลี่ย 10,230.9 mg/kg) มีปริมาณแคลเซียมในดินสูงสุด > Transect F (7,900-12,462 mg/kg ค่าเฉลี่ย 10,034 mg/kg) > Transect C (8,534-10,876 mg/kg ค่าเฉลี่ย 9,918.4 mg/kg) > Transect H (9,006-11,276 mg/kg ค่าเฉลี่ย 9,918 mg/kg) > Transect I (8,948-11,118 mg/kg ค่าเฉลี่ย 9,807 mg/kg) > Transect D (7,166-9,902 mg/kg ค่าเฉลี่ย 8,724.4 mg/kg) > Transect A (7,168-9,906 mg/kg ค่าเฉลี่ย 85,93.4 mg/kg) > Transect B (6,560-9,220 mg/kg ค่าเฉลี่ย 7,827.3 mg/kg) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14 การสะสมแคลเซียมในดินตามระยะทางของแนวตัดขวางความลาดเทในตำแหน่งล่างสุดของพื้นที่ส่วนใหญ่มีปริมาณสูงกว่าในตอนบนของพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ปริมาณแคลเซียมในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา

3.6 ปริมาณแมกนีเซียมในดิน (Magnesium, Mg)

ปริมาณแมกนีเซียมในดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 73-799 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่าเฉลี่ย 212 mg/kg) ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยที่ Transect E (169.6-799.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 335.7 mg/kg) มีปริมาณแมกนีเซียมในดินสูงสุด > Transect F (187.7-627.2 mg/kg ค่าเฉลี่ย 319.3 mg/kg) > Transect I (176.1-514.7 mg/kg ค่าเฉลี่ย 258.4 mg/kg) > Transect H (191.2-238.0 mg/kg ค่าเฉลี่ย 213.7 mg/kg) > Transect C (150.5-267.1 mg/kg ค่าเฉลี่ย 206.4 mg/kg) > Transect D (138.1-254.3 mg/kg ค่าเฉลี่ย 185.0 mg/kg) > Transect B (94.2-190.1 mg/kg ค่าเฉลี่ย 134.8 mg/kg) > Transect A (73.1-170.0 mg/kg ค่าเฉลี่ย 121.3 mg/kg) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14 เมื่อพิจารณาการสะสมแมกนีเซียมในดินตามระยะทางของแนวตัดขวางความลาดเท พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นในดินที่ถูกพัดพาไปในดินตอนล่างสุด ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ปริมาณแมกนีเซียมในดินตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเทที่ศึกษา

4. การประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดิน (soil erosion)

การประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดินโดยการคำนวณด้วย Mass Balance II model (Walling and He, 1999) ด้วยปริมาณซีเซียม 137

อัตราการทับถมและการสูญเสียดินตามแนวตัดขวางตามความลาดเทในพื้นที่ศึกษา พบว่า อัตราการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์ในแต่ละ Transect (net soil loss) มีค่าแตกต่างกัน โดยที่ค่า soil redistribution rate ของ Transect A [(-32.3)-(-101.1) t/ha/yr, net soil erosion (-63.0) t/ha/yr] มีค่าสูงสุด > Transect D [(-28.6)-(-69.4) t/ha/yr, net soil erosion (-39.8) t/ha/yr] > Transect B [(-15.9)-(-65.5) t/ha/yr, net soil erosion (-37.5) t/ha/yr] > Transect C [(-4.4)-(-100.4) t/ha/yr, net soil erosion (-33.8) t/ha/yr] > Transect E

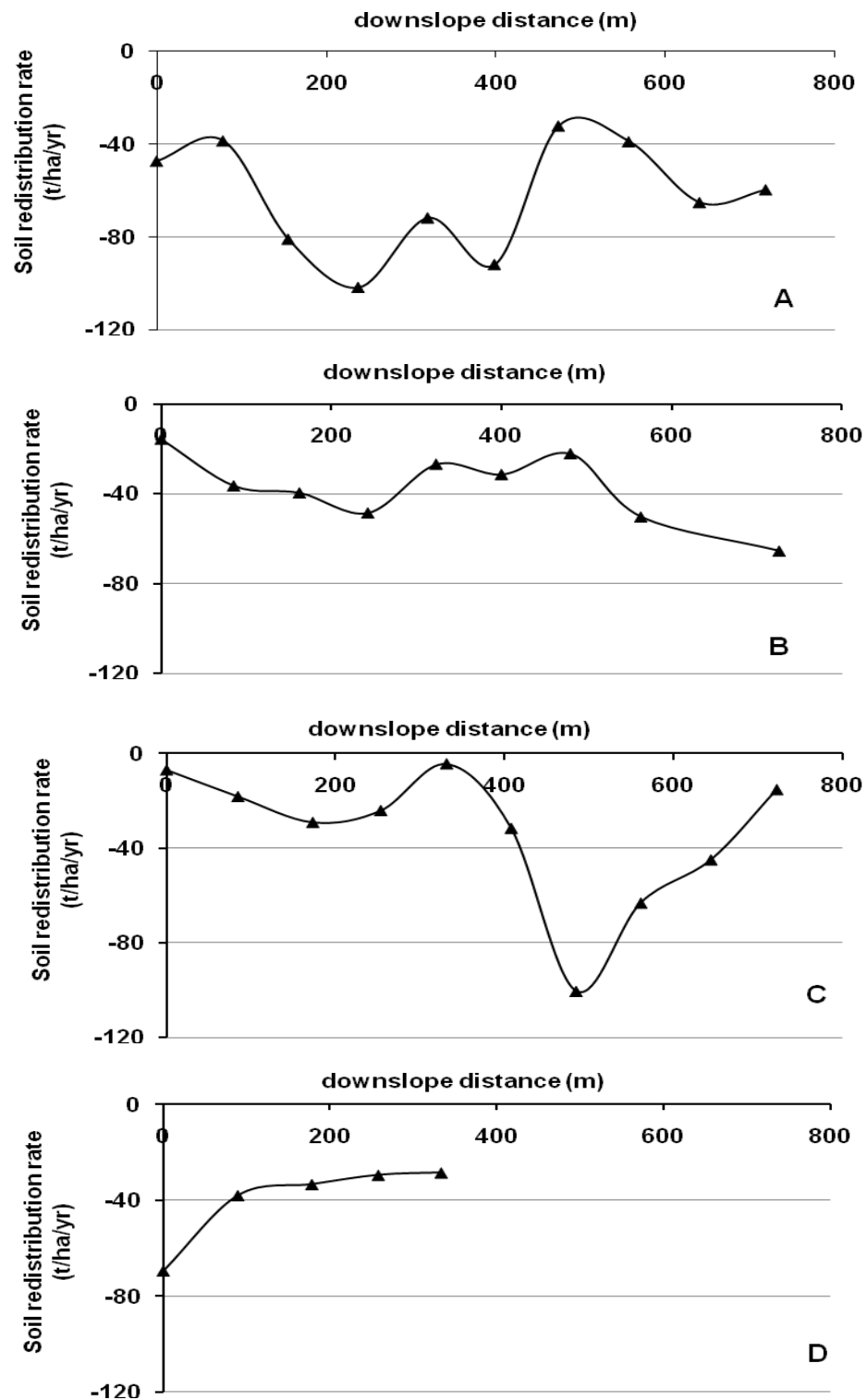
[(+3.9)-(-66.9) t/ha/yr, net soil erosion (-22.3) t/ha/yr] > Transect F [(+6.5)-(-47.3) t/ha/yr, net soil erosion (-17.2) t/ha/yr] > Transect H [(+33.9)-(-47.3) t/ha/yr, net soil erosion (-6.3) t/ha/yr] > Transect I [(+35.6)-(-41.4) t/ha/yr, net soil erosion (+2.6) t/ha/yr] ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 15

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนย้ายของดินไปทับถมหรือการสูญเสียในแต่ละตำแหน่งตามระยะทางแนวตัดขวางความลาดเท พบว่า แต่ละตำแหน่งแนวตัดขวางที่ศึกษานั้น บางตำแหน่งดินถูกชะล้างสูญเสียในขณะที่บางตำแหน่งจะมีดินเคลื่อนย้ายมาทับถมในพื้นที่ที่ศึกษาทั้ง 8 แนวตัดขวาง ดังแสดงในตารางที่ 15 กล่าวคือ ทุกตำแหน่งที่ศึกษาตัวอย่างดินของ Transect A, Transect B, Transect C, และ Transect D เกิดการชะล้างพังทลายหรือสูญเสียดินทุกตำแหน่ง ไม่พบจุดที่ตะกอนมาทับถม คือ Deposition point เท่ากับศูนย์ในทุก Transect ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากในขณะที่ผู้วิจัยไปเก็บตัวอย่างดินในเดือนเมษายน 2555 นั้น เกษตรกรเจ้าของแปลงได้เตรียมดินไถพรวนเพื่อเตรียมปลูกทานตะวันในช่วงต้นฤดูฝน (พฤษภาคม) ดังนั้น ทำให้ทุกตำแหน่งดินที่ศึกษาเกิดการชะล้างพังทลาย ส่วนแนวตัดขวางที่ศึกษาอีก 4 แนวตัดขวาง (Transect E, Transect F, Transect H และ Transect I) พบว่า ดินมีการเคลื่อนย้ายมาทับถม (deposit) และการสูญเสีย (soil loss) คาดว่าขึ้นกับสภาพของพื้นที่ในแต่ละจุดนั้นๆ (micro-relief) ว่าเป็นที่ราบหรือลอนลาด โดยที่ Transect E มีจุดที่เกิดการชะล้างพังทลาย (erosion) 4 ตำแหน่ง และจุดที่มีการทับถมของดิน (deposition) 3 ตำแหน่ง Transect F มีจุดที่เกิดการชะล้างพังทลาย 5 ตำแหน่ง และจุดที่มีการทับถมของดิน 1 ตำแหน่ง Transect H มีจุดที่เกิดการชะล้างพังทลาย 5 ตำแหน่ง และจุดที่มีการทับถมของดิน 2 ตำแหน่ง และ Transect I มีจุดที่เกิดการชะล้างพังทลาย 3 ตำแหน่ง และจุดที่มีการทับถมของดิน 3 ตำแหน่ง

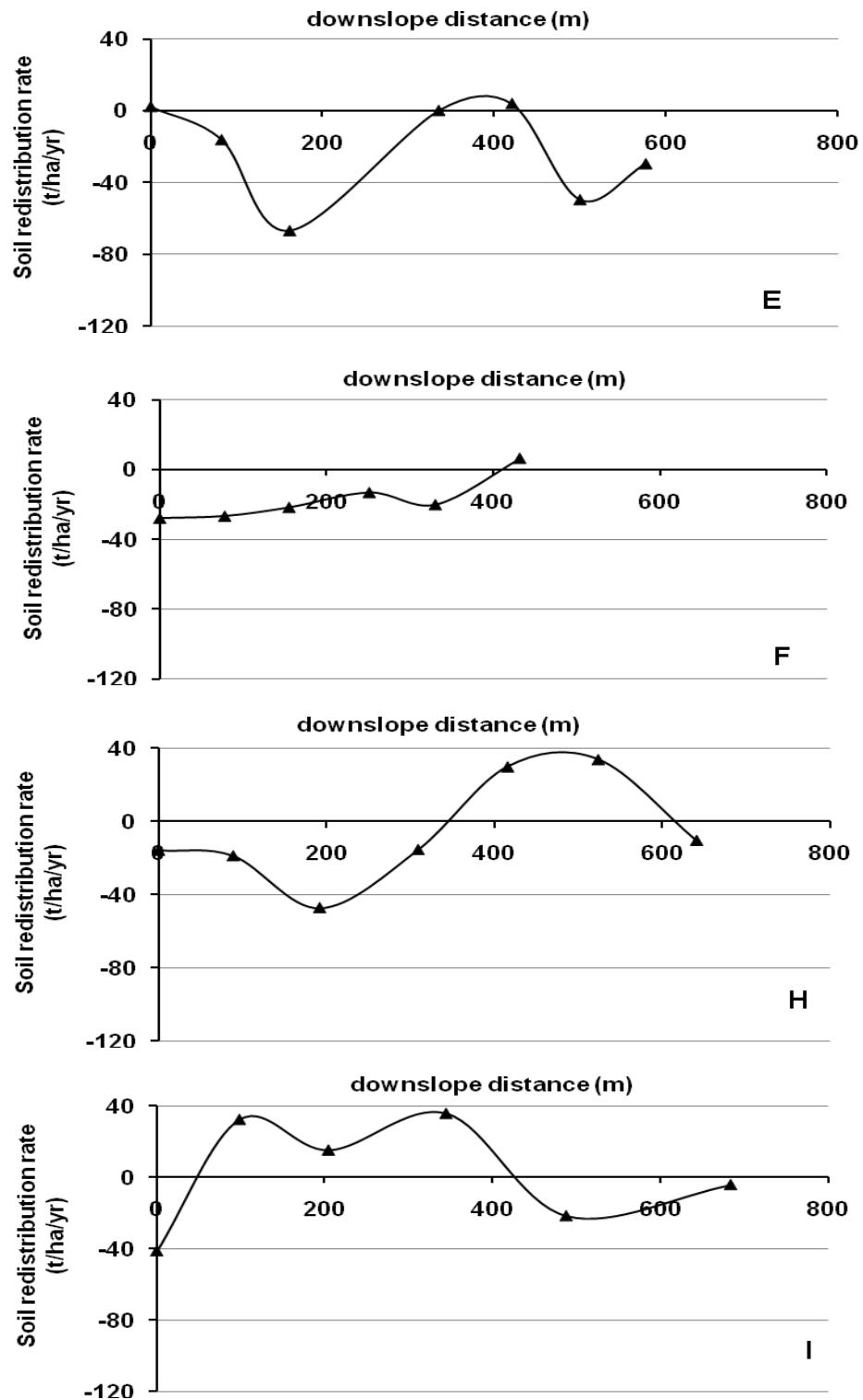
จากภาพที่ 25 แสดงค่าอัตราการชะล้างพังทลายของดินตามระยะทางแนวความลาดเทของ Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D พบว่า แต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างดินมีค่า soil redistribution rate ต่ำกว่า 0 คือ มีค่าติดลบในทุกตำแหน่ง แสดงว่าทุกจุดที่เก็บตัวอย่างดินเป็นจุดที่ดินถูกชะล้างออกไป ส่วนภาพที่ 26 แสดงค่าอัตราการชะล้างพังทลายของดินตามระยะทางแนวความลาดเทของ Transect E, F, H, I จะเห็นว่า Transect E มีจุดเก็บตัวอย่างดินจำนวน 3 ตำแหน่งที่มีค่า soil redistribution rate มากกว่าศูนย์ ซึ่งแสดงถึงจุดที่มีการทับถมของดิน เช่นเดียวกับ Transect F ที่มีจุดทับถมดิน 1 ตำแหน่ง Transect H 2 ตำแหน่ง และ Transect I 3 ตำแหน่ง ดังนั้น จากตารางที่ 15 ภาพที่ 25 และภาพที่ 26 จะเห็นได้ว่าการศึกษการชะล้างพังทลายของดินด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์นี้ ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ซีเซียม 137 มีข้อดี คือ ผู้วิจัยสามารถทราบว่าพื้นที่ที่ศึกษานั้นๆ ในแต่ละตำแหน่งของสภาพพื้นที่ micro-relief มีการชะล้างสูญเสียดินหรือการทับถมของดิน ซึ่งทำให้มีประโยชน์ที่สามารถนำข้อมูลไปใช้วางแผนการจัดการดินได้อย่างละเอียดถูกต้องมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น รวมทั้งความยั่งยืนของการใช้ที่ดินต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 15 ค่าอัตราการกระจายของดินที่ศึกษา (Soil Redistribution Rate)

Transect	A	B	C	D	E	F	H	I
No of samples	10	9	10	5	7	6	7	6
Soil Redistribution Rate (t/ha/yr)	(-32.3) - (-1.01.1)	(-15.9) - (-65.5)	(-4.4) - (-100.4)	(-28.6) - (-69.4)	(3.9) - (-66.9)	(6.5) - (-47.3)	(33.9) - (-47.3)	(35.6) - (-41.4)
Erosion point/ Deposit point	10/0	9/0	10/0	5/0	4/3	5/1	5/2	3/3
Mean erosion (t/ha/yr)	-62.97±23.88	-37.46±15.50	-33.77±29.30	-39.81±16.97	-40.59±27.72	-21.97±5.92	-21.54±14.72	-22.48±18.58
Mean deposite (t/ha/yr)	0	0	0	0	2.07	6.46	31.87±2.80	27.69±11.01
Net soil loss (t/ha/yr)	-62.97	-37.46	-33.77	-39.81	-24.08	-19.38	-6.28	-2.61



ภาพที่ 25 ค่า soil redistribution rate (t/ha/yr) ตามระยะทางแนวความลาดเทในพื้นที่ศึกษา
Transect A, Transect B, Transect C, และ Transect D



ภาพที่ 26 ค่า soil redistribution rate (t/ha/yr) ตามระยะทางแนวความลาดเทในพื้นที่ศึกษา
Transect E, Transect F, Transect H, และ Transect I

5. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการชะล้างพังทลายของดินกับสมบัติดินในพื้นที่ศึกษา

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการชะล้างพังทลายของดินกับสมบัติดินทางกายภาพ (ปริมาณอนุภาคดินขนาดต่าง ๆ) ของดินในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 16

อัตราการกระจายของดิน (Soil Redistribution Rate, SRD) มีความสัมพันธ์เส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางบวกกับปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งของดินที่ศึกษา ($r=0.66^{***}$) แสดงว่าอัตราการเคลื่อนที่ของดินเป็นไปในทิศทางเดียวกันการปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้ง ดังแสดงในภาพที่ 27 และภาพที่ 28 แต่ดินมีอัตราการกระจายของดินสัมพันธ์เป็นเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางลบกับปริมาณอนุภาคขนาดทราย ($r=-0.66^{***}$) และไม่มีความสัมพันธ์เส้นตรงกับอนุภาคขนาดดินเหนียว ($r=-0.07$) ดังแสดงภาพที่ 29 กล่าวคือ เมื่อเกิด กระบวนการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ พบว่า อนุภาคขนาดทรายแป้งของดินจะถูกชะล้างเคลื่อนย้ายออกจากพื้นที่ได้มากที่สุดสัมพันธ์กับปริมาณดินที่เคลื่อนย้าย ในขณะที่อนุภาคขนาดทรายจะไม่มีการเคลื่อนย้ายออกไปจากพื้นที่ ซึ่งอนุภาคขนาดทรายในทุกขนาดมีความสัมพันธ์เส้นตรงในทางลบกับค่าอัตราการชะล้างพังทลายของดิน ดังนี้ โดยที่ค่าอัตราการชะล้างพังทลายของดินมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งเส้นตรงทางลบกับอนุภาคขนาดทรายหยาบมาก (VCS, $r=-0.60^{***}$) อนุภาคขนาดทรายหยาบ (CS, $r=-0.60^{***}$) อนุภาคขนาดทรายละเอียดมาก (VFS, $r=-0.56^{***}$) และอนุภาคขนาดทรายหยาบปานกลาง (MS, $r=-0.45^{***}$) แต่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอนุภาคขนาดทรายละเอียด (FS, $r=-0.37^{**}$)

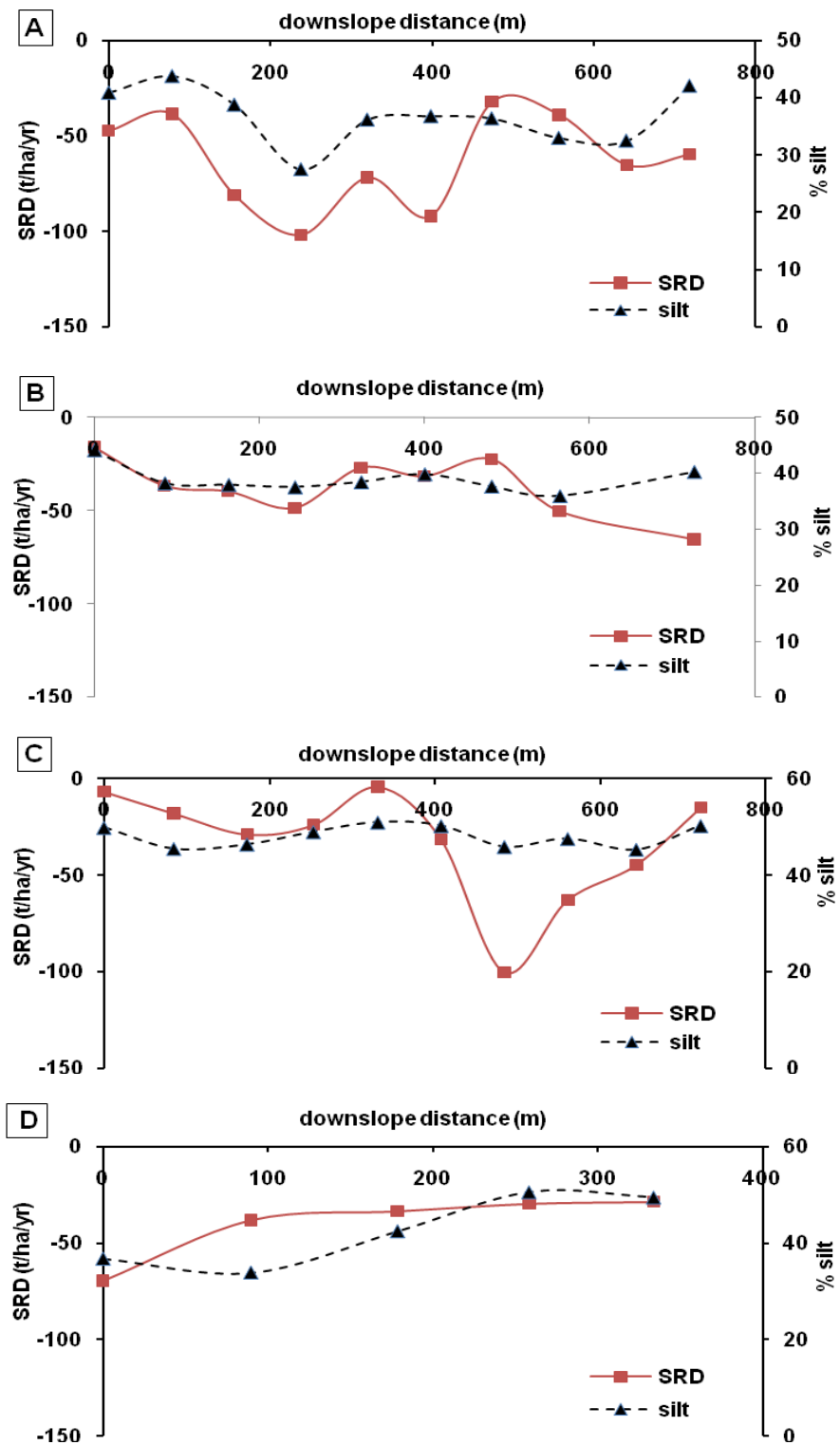
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอนุภาคขนาดทรายขนาดต่างๆ พบว่า อนุภาคขนาดทรายขนาดต่างๆ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางบวกด้วยกันทุกขนาด ส่วน อนุภาคขนาดทรายมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางลบกับอนุภาคขนาดทรายแป้ง ($r=-0.82^{***}$) และอนุภาคขนาดดินเหนียว ($r=-0.39^{**}$) แต่อนุภาคขนาดดินเหนียวไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับอนุภาคขนาดทรายแป้ง ($r=-0.20$) จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของการชะล้างพังทลายกับขนาดของอนุภาคขนาดทรายหยาบปานกลางมีค่ามากกว่าความสัมพันธ์กับอนุภาคขนาดทรายละเอียด (ตารางที่ 16) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zhao *et.al* (2011) ที่พบว่าการชะล้างพังทลายของดินมีความสัมพันธ์กับอนุภาคขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร มีค่ามากกว่าความสัมพันธ์กับอนุภาคขนาด 0.2-0.25 มิลลิเมตร

ตารางที่ 16 ค่าสหสัมพันธ์เส้นตรงของสมบัติทางกายภาพและค่าอัตราการชะล้างพังทลายของดิน
ที่ศึกษา (N=59)

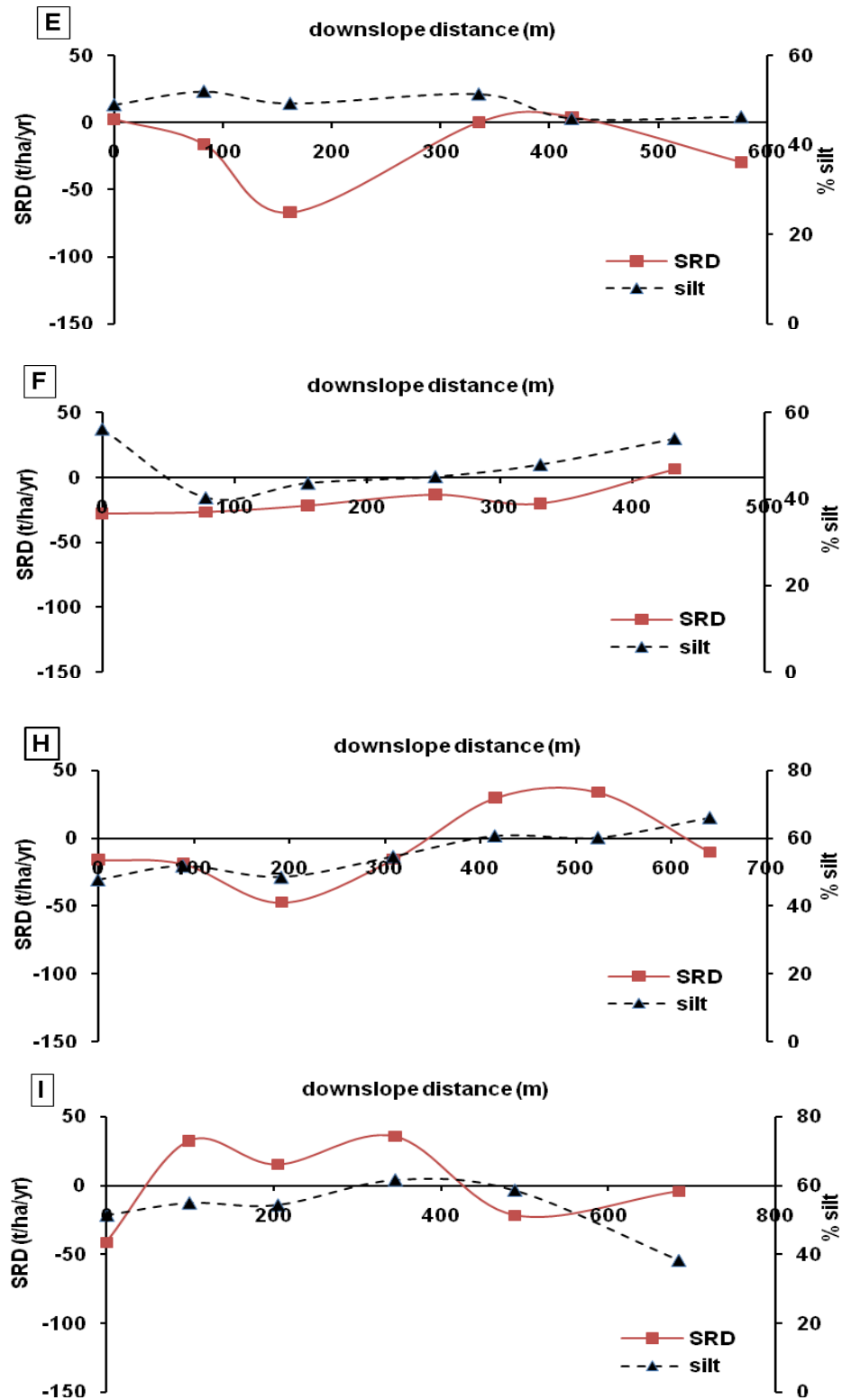
Variables	SRD	VCS	CS	MS	FS	VFS	Sand	Silt
VCS	-0.60***							
CS	-0.60***	0.91***						
MS	-0.45***	0.59***	0.83***					
FS	-0.37**	0.35**	0.58***	0.84***				
VFS	-0.56***	0.45***	0.44***	0.31*	0.30*			
Sand	-0.66***	0.87***	0.94***	0.84***	0.69***	0.65***		
Silt	0.66***	-0.73***	-0.78***	-0.67***	-0.55***	-0.55***	-0.82***	
Clay	0.07	-0.32*	-0.36**	-0.36**	-0.29*	-0.24	-0.39**	-0.20

หมายเหตุ:

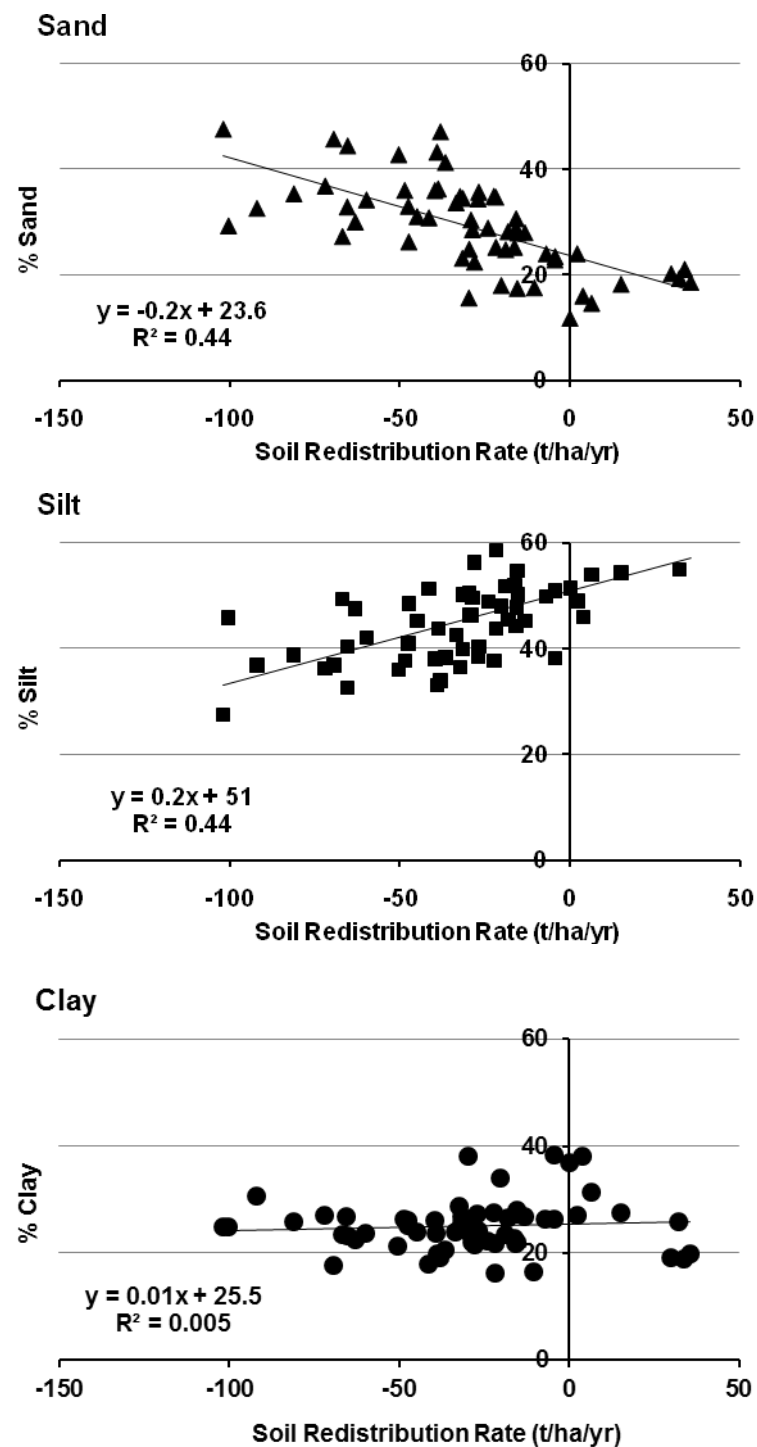
- * ค่าสหสัมพันธ์เส้นตรงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P 0.05)
- ** ค่าสหสัมพันธ์เส้นตรงที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (P 0.01)
- *** ค่าสหสัมพันธ์เส้นตรงที่ระดับความเชื่อมั่น 99.9% (P 0.001)
- SRD = Soil Redistribution Rate (t/ha/yr)
- VCS = Very Coarse Sand
- CS = Coarse Sand
- MS = Medium Sand
- FS = Fine Sand
- VFS = Very Fine Sand



ภาพที่ 27 ค่าอัตราการกระจายของดิน (soil redistribution rate, SRD) และปริมาณอนุภาคขนาดทรายแบ่งตามระยะทางของแนวความลาดเทพื้นที่ของ Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D



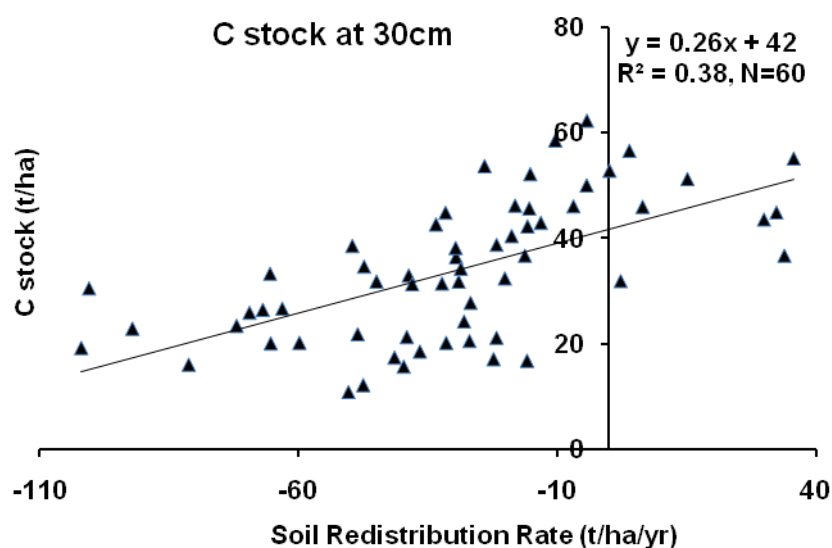
ภาพที่ 28 ค่าอัตราการกระจายของดิน (soil redistribution rate, SRD) และปริมาณอนุภาคขนาดทรายแบ่งตามระยะทางของแนวความลาดเทพื้นที่ของ Transect E, Transect F, Transect H และ Transect I



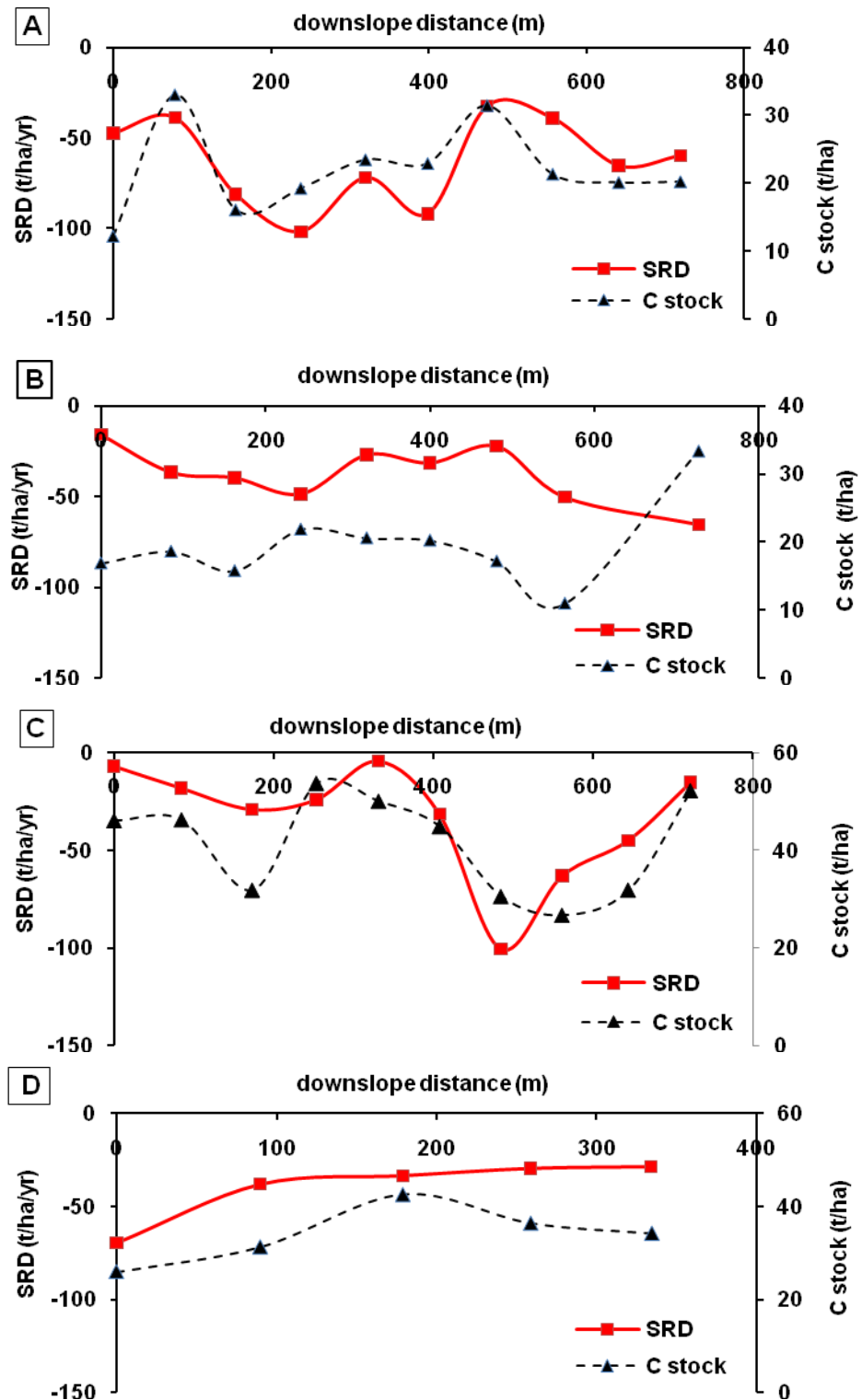
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการกระจายของดินกับปริมาณอนุภาคขนาดทราย อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดดินเหนียว

6. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการชะล้างพังทลายของดินกับปริมาณคาร์บอนในดิน

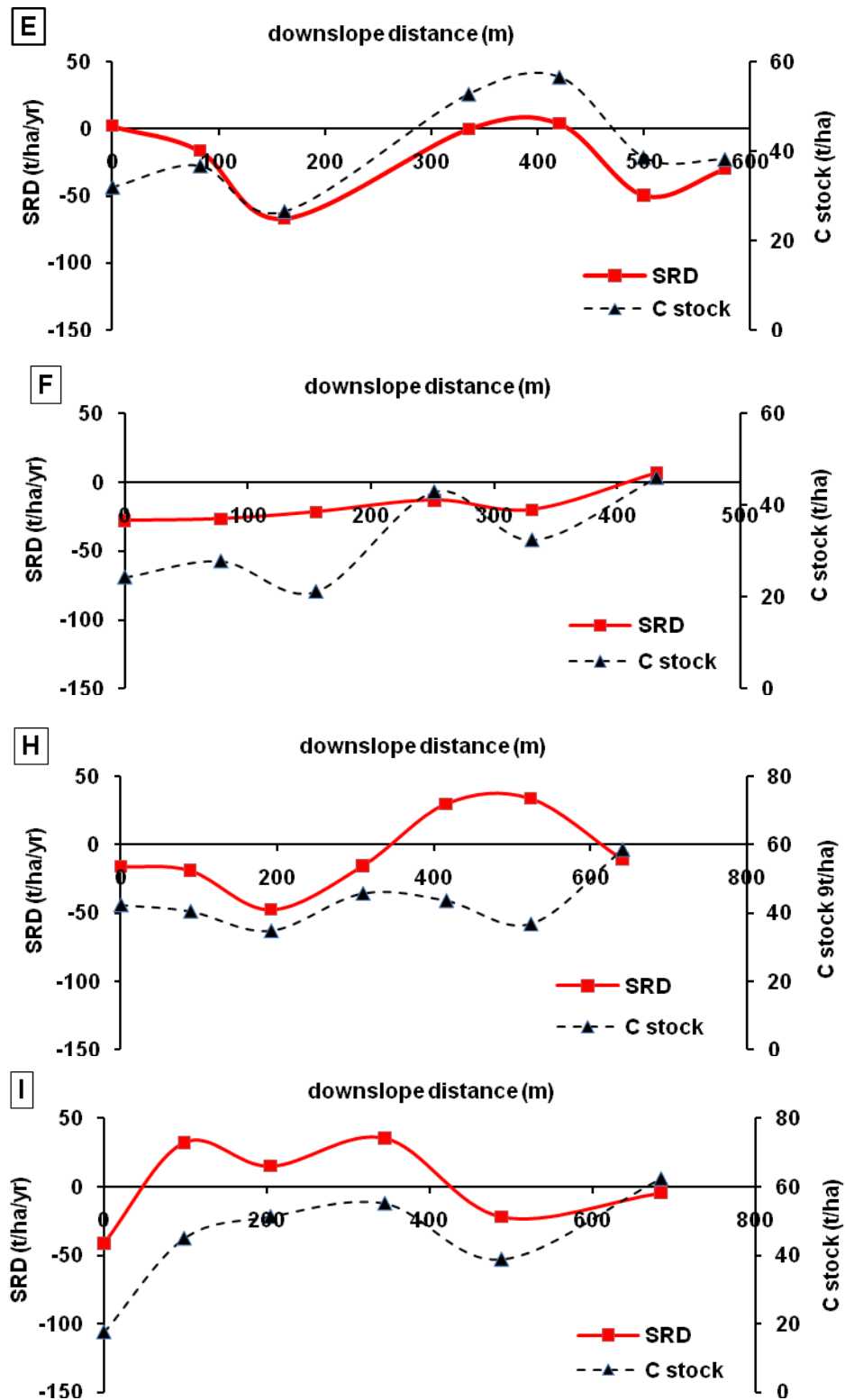
การสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Carbon stock) ที่ความลึก 30 เซนติเมตรในพื้นที่ศึกษาพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ ดินที่เคลื่อนย้ายตามความลาดเทของพื้นที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเป็นเส้นตรงกับการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดิน ดังแสดงในภาพที่ 30 แสดงว่าในบริเวณที่มีการชะล้างสูญเสียดินมาก (ค่า soil redistribution rate มีค่าติดลบมาก) ดินนี้ก็จะมียปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำ ในทางตรงข้ามหากบริเวณที่มีการทับถมของดิน คือ ค่า soil redistribution rate มีค่าเป็นบวก ดินนี้ก็จะมียปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง ดังนั้น การป้องกันการเกิดการชะล้างพังทลายของดินจึงเป็นสิ่งจำเป็นยิ่ง เนื่องจากการสูญเสียดินนี้หมายถึงการสูญเสียธาตุอาหารพืชที่ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในอินทรีย์วัตถุที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอินทรีย์คาร์บอนในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Brady and Weil, 2008) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนในดินที่ความลึก 30 เซนติเมตร ในแต่ละจุดของตัวอย่างดินตามระยะทางตามแนวตัดขวางของพื้นที่ศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนกับอัตราการชะล้างพังทลายของดินมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 31 (Transect A, Transect B, Transect C, Transect D) และภาพที่ 32 (Transect E, Transect F, Transect H, Transect I) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Du และคณะ (1998) พบว่าซีเซียม 137 จะดูดยึดตรึงกับแร่ดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุในดินอย่างแข็งแรงมาก ทำให้สามารถนำไอโซโทปต่างๆ มาใช้ในการศึกษาติดตามการชะล้างพังทลายของดินได้



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการ กระจายของดิน (soil redistribution rate, t/ha/yr) กับปริมาณคาร์บอนในดินที่ความลึก 30 ซม. (N=60)

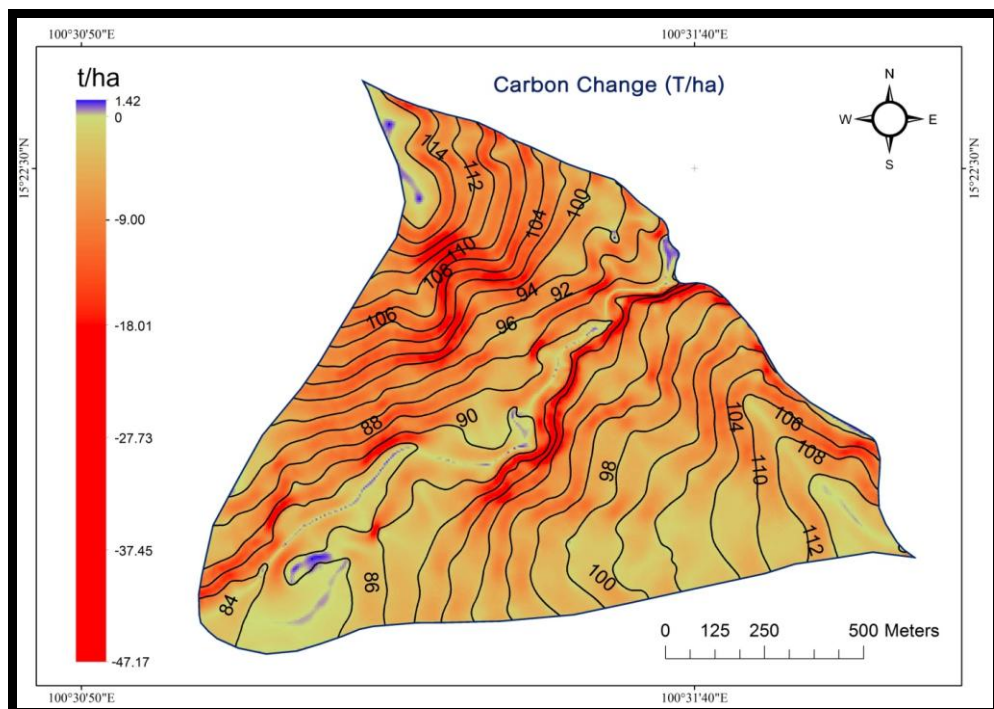


ภาพที่ 31 ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินที่ความลึก 30 ซม. กับอัตราการกระจายของดินตามระยะทางความลาดเทในพื้นที่ศึกษา Transect A, Transect B, Transect C และ Transect D



ภาพที่ 32 ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินที่ความลึก 30 ซม. กับอัตราการสะสมของดินตามระยะทาง ความลาดเทในพื้นที่ศึกษา Transect E, Transect F, Transect H และ Transect I

จากการคำนวณปริมาณคาร์บอนในดินที่ความลึก 30 เซนติเมตร เมื่อนำข้อมูลดังกล่าว ร่วมกับ soil redistribution rate และแผนที่ contour map ไปจัดทำแผนที่การสูญเสียคาร์บอน โดยใช้เทคนิคของธรณีสถิติ (geostatistical techniques) ดังแสดงในภาพที่ 33 พบว่า บริเวณที่มีความลาดชันสูงก็จะมีอัตราการสูญเสียคาร์บอนที่สูงด้วย ในขณะที่บริเวณพื้นที่ราบต่ำ พบว่าจะมีอัตราการสูญเสียคาร์บอนในดินที่ต่ำ ส่วนในพื้นที่ตอนกลางความลาดชัน (mid slopes) พบว่า เป็นบริเวณที่มีการสูญเสียหรือการทับถมดินในปริมาณที่น้อย ซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีการเคลื่อนย้ายของ ดิน (zones of soil transport)



ภาพที่ 33 แผนที่แสดงอัตราการกระจายของปริมาณคาร์บอนในดินในพื้นที่ศึกษา

สรุปผลการศึกษา

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินด้วยซีเซียม 137 ในพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดนครสวรรค์ ปัจจุบันพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และทานตะวันในแต่ละรอบปี จำนวน 8 แนวตัดขวางความลาดเทของพื้นที่ (transect) ผลการศึกษาสรุปได้ ดังนี้

(1) ดินในพื้นที่ศึกษามีปริมาณซีเซียม 137 อยู่ระหว่าง 0.03-1.2 Bq/kg (ค่าเฉลี่ย 0.5 Bq/kg) โดยที่ Transect I มีปริมาณซีเซียม 137 ในดินสูงสุด > Transect H > Transect F > Transect E > Transect C > Transect B > Transect D > Transect A

(2) การประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดินในการศึกษานี้ด้วยการคำนวณจากปริมาณซีเซียม 137 ด้วย Mass Balance II Model พบว่า ดินที่ศึกษามีอัตราการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในระดับน้อยมากถึงปานกลาง กล่าวคือ Transect A-D เป็นพื้นที่ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายดินในระดับปานกลาง ส่วน Transect E-I มีอัตราการชะล้างพังทลายดินในระดับน้อยถึงค่อนข้างน้อย

(3) อัตราการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ศึกษามีความสัมพันธ์เส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้านบวกกับปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้ง แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคขนาดทรายทุกขนาด โดยที่ดินที่ศึกษามีเนื้อดินเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินร่วนปนดินเหนียว และดินร่วนเหนียวปนทราย จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักของอนุภาคดินส่วนใหญ่ คือ อนุภาคขนาดทรายแป้ง

(4) การประเมินค่า soil redistribution rate จากค่าปริมาณซีเซียม 137 ในดินนั้น มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายของอนุภาคดิน (soil particle movement) ที่เกิดจากการชะล้างพังทลายโดยน้ำ ลม และการไถพรวน เป็นต้น

(5) อัตราการเคลื่อนย้ายของดินตามความลาดเทของพื้นที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเป็นเส้นตรงกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินในชั้นดินบนที่ความลึก 30 เซนติเมตร

(6) ดินในพื้นที่ศึกษามีค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดินกำเนิดดินในพื้นที่นี้ คือ หินปูน (limestone) ปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส แคลเซียมและแมกนีเซียม มีค่าลดลงตามความลาดชันของพื้นที่ อย่างไรก็ตามในดินตอนล่างสุดพบว่า ดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินในที่ดินบนที่ติดกัน

(7) แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของคาร์บอนที่สะสมในดิน พบว่า ในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะมีปริมาณคาร์บอนในดินต่ำกว่าในพื้นที่ราบหรือมีความลาดชันน้อย

ข้อเสนอแนะ

การประเมินหาอัตราการชะล้างพังทลายของดินด้วยซีเซียม 137 สามารถนำมาใช้เป็น tracer ในการประเมินหาอัตราการชะล้างพังทลายของดินได้รวดเร็ว โดยการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับพื้นที่อ้างอิง (reference site) ทำให้ทราบข้อมูลในแต่ละตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินว่ามีการสูญเสียดินหรือการทับถมดินในพื้นที่ศึกษาของสภาพพื้นที่ (landscape) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ซีเซียม 137 รวมทั้งการแปลผลข้อมูล จำเป็นจกต้องดำเนินการโดยผู้ที่มีความรู้ความสามารถทางด้านนิวเคลียร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2535. สถานะทรัพยากรดินและปัญหาการใช้ประโยชน์. ฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ สำนักงานเลขานุการกรม กรุงเทพฯ.
- _____. 2542. รายงานงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- _____. 2543. การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย. สืบค้นจาก: http://www.ddd.go.th/dddwebsite/web_ord/Technical/HTML/Technical06037.html.
- _____. 2545. การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย. บทความสืบค้นจาก: www.ddd.go.th/dddwebsite/web_ord/Technical/HTML/Technical06037.html [5 มกราคม 2558].
- _____. 2556. ยุทธศาสตร์กรมพัฒนาที่ดินในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555 – 2559) ฉบับปรับปรุง ณ วันที่ 18 มกราคม 2556. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 44 น.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2559. สถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา พ.ศ. 2546-2558. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- กองสำรวจและจำแนกดิน. 2530. รายงานการสำรวจดินจังหวัดนครสวรรค์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 426. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 230 น.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นวรรตน์ ไกรพานนท์ และ ศิวัช แก้วเจริญ. 2550. ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในดิน เปนแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 22(3): 50-55
- นิพนธ์ ตั้งธรรม และอภินันท์ ขอพร. 2540. การสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลองปลูกพืชที่ใช้การอนุรักษ์ดินและน้ำแบบต่างๆบนพื้นที่ลาดเขาโครงการทดลองจัดการลุ่มน้ำแม่สายจังหวัดเชียงใหม่. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิติ เรื่องพานิช. 2514. รายงานวนศาสตร์วิจัย เล่มที่ 13. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมาคมนิเวศรักษ์แห่งประเทศไทย. กัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อม. บทความสืบค้นจาก: <http://www.nst.or.th/article/article54/article54-006.html>

- เสวต ประกายรุ่งรค์มี วิชัย พันธนะหิรัญ และชาลี นาวานุเคราะห์ . 2554. การวิเคราะห์การชะล้างพังทลายของดิน โดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE) เพื่อประเมินการสูญเสียธาตุอาหารพืชในลุ่มน้ำห้วยแม่ประจัน. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 14: 92-103.
- พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ. 2559. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 133 ตอนที่ 67 ก, 5 สิงหาคม 2559. 44 หน้า.
- Bernard, C.; L., Mabit; S., Wicherek and M.R., Laverdiere. 1998. Long-term soil redistribution in a small French watershed as estimated from ^{137}Cs data. *Journal of Environmental Quality* 27: 1178–1183.
- Bray, R.H. and L.T., Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci* 59: 39-45.
- Brady, N.C. and R.R., Weil. 2008. *The Nature and Properties of Soils*, 13th ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Buol, S.W.; R.J., Southard; R.C., Graham. and P.A., McDaniel. 2003. *Soil Genesis and Classification*. 5th ed. Iowa State Press, A Blackwell Publishing Company, Iowa.
- Carter, M.W. and A.A., Mognissi. 1977. Three decades of nuclear testing, *Health Phys.* 33: 55–71.
- Dahlman, R.C.; C.W., Francis and T., Tamura. 1975. Radiocesium cycling in vegetation and soil, Mineral cycling in Southeastern ecosystems, USAEC Symposium Series, Conference-740513 (Howell F.G., J.B. Gentry and M.H. Smith eds). US Atomic Energy Commission, Washington, DC: 462–481.
- Day, P.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 546-566. In C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties*. Monograph No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Dissanayake, C.K.; P., Mahawatte; K., Abeynayake and TSB., Weerasekera. 2010. Use of Caesium-137 technique for the assessment of soil erosion in two selected sites in Uma Oya Catchment in Sri Lanka. In the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.

- Du, M.; H.; Q., Yang; K.M., Chang; and T., HATTA. 1998. Caesium-137 fallout depth distribution in different soil profiles and significance for estimating soil erosion rate. *Sciences of Soils* (3): 23–33.
- Eyman, L.D. and N.R., Kevern. 1975. Cesium-137 and stable cesium in a hypereutrophic lake. *Health Physics* 28: 549–555.
- Fang, H.J.; X.M., Yang; X.P., Zhang and A.Z., Liang. 2006. Using ¹³⁷Cs tracer technique to evaluate erosion and deposition of black soil in Northeast China. *Pedosphere* 16 (2): 201–209.
- Garcia Agudo, E. 1998. Global distribution of ¹³⁷Cs inputs for soil erosion and sediment studies, IAEA-TECDOC-1028, IAEA, Vienna, Austria. 117–121.
- Gorji, M.; M., Khodadadi; M., Ghanadi Maragheh; A., Bahrami Samani; H.M., Seyed Hosseini and G., Zahedi Amiri. 2014. Using Cs 137 measurements to estimate soil redistribution rates in a cultivated land in Iran. *World Journal of Agricultural Sciences* 10 (1): 01-08.
- He, Q. and D.E., Walling. 1997. The distribution of fallout ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb in undisturbed and cultivated soils. *Applied Radiation and Isotopes* 48: 677–690.
- International Atomic Energy Agency. 1989. Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies. IAEA-Tecdoc-1741, IAEA, Vienna, Austria.
- Kilmer, V.J. and L.T., Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. *Soil Science* 68: 15-24.
- Mabit, L.; M., Benmansour and D.E., Walling. 2008. Comparative advantages and limitations of fallout radionuclides (¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb and ⁷Be) to assess soil erosion and sedimentation. *Journal of Environmental Radioactivity* 99: 1799–1807.
- Menendez R., S. Fernandez, and J. Soto. 2009. The application of Cs-137 to post-fire erosion in north-west Spain. *Geoderma* 150(1-2): 54-63.

- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigation Reports No.42, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, USDA.
- Poreba, G.J. 2006. Caesium-137 as a soil erosion tracer: a review. *Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology* 25: 37-46.
- Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. In C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties*. Monograph No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Ritchie, J.C.; J.A., Spraberry and J.R., McHenry. 1974. Estimating soil erosion from the redistribution of fallout ^{137}Cs . *Soil Science of America Proceedings* 38: 137-139.
- Ritchie, J.C. and J.R., McHenry. 1990. Application of radioactive fallout Cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. *Journal of Environmental Quality* 19:215-233.
- Rogowski, A.S. and T., Tamura. 1965. Movement of ^{137}Cs by runoff erosion and infiltration on the alluvial caprina silt loam. *Health Physics* 11: 1333-1340.
- Rogowski, A.S. and T., Tamura. 1970. Environmental mobility of cesium-137. *Radiation Botany* 10: 35-45.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, 2th ed. Agricultural Handbook No. 436. U.S. Govt. Printing Office, Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington, DC.
- Srisutham, M. 2010. Application of ^{137}Cs accumulation in soil in predicting soil erosion from different land uses in Haui Raen-Klongpid watershed, Eastern Thailand. In the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1–6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
- Sutherland, R.A. and E., De Jong. 1990. Quantification of soil redistribution in cultivated fields using caesium-137, Outlook, Saskatchewan, Canada, *Soil Erosion- Experiments and Models* (BRYAN, R.B., Ed.). *Catena* 17: 177–193

- UNEP. 1997. World Atlas of Desertification, 2nd ed. N. Middleton and D. Thomas (ed.). Nairobi and London: UNEP and Arnold. 182 p.
- United Nation. 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Walkley, A. 1935. An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils. *Journal of Agricultural Science* 25: 598-609.
- Walkley, A. and C.A., Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter: a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-35.
- Walling, D.E and Q., He. 1999. Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. *Journal of Environmental Quality* 28: 611-622.
- Walling, D.E., Q., He and Y., Zhang. 2014. Conversion models and related software, pp.125-148. In Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. Guildlines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies, IAEA-TECOC-1741. Joint FAO/IAEA Programme, Vienna.
- _____ and T.A., Quine. 1993. Use of ¹³⁷Cs as a tracer of erosion and sedimentation: Handbook for the application of the ¹³⁷Cs technique. Report to the UK Overseas Development Administration, Exeter, UK.
- Yamagata, N.; S., Matsuda and K., Kodaira. 1963. Run-off of caesium-137 and strontium-90 from rivers. *Nature* 200: 668-669.
- Zapata, F. (ed.). 2002. Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands. 219p.
- _____. 2003. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advantages and future developments. *Soil and Tillage Research* 69: 3-13.

- Zapata, F. and M.L., Nguyen. 2009. Soil erosion and sedimentation studies using environmental radionuclides. In environmental nuclides: Tracers and timers of terrestrial processes, pp. 295-322, vol 16 of Radioactivity in the environment. Vienna, Austria: IAEA.
- Zhao, P.; W., Omran and A.M., Amer. 2011. Effects of erosion and deposition on particle size distribution of deposited farmland soils on the chinese loess plateau. *Revista Brasileira De Ciência Solo* 35 (6): 2135-2144.
- Zupanc, V. and L., Mabit 2010. Nuclear techniques support to assess erosion and sedimentation processes: A preliminary step in investigating the use of ^{137}Cs as soil tracer. *Slovenia Dela* 33: 21–36.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณ ^{137}Cs Activity และอัตราการชะล้างพังทลายของดินโดยคำนวณจาก
Mass Balance II Model

No	Code	จุดพิกัด		137Cs activity (Bq/kg)	soil redistribution rate (t/ha/yr)
		X	Y		
Transect A					
1	A1	663342	1700289	0.49	-47.5
2	A2	663351	1700251	0.22	-38.7
3	A3	663354	1700212	0.07	-81.2
4	A4	663352	1700181	0.03	-101.9
5	A5	663354	1700140	0.10	-71.9
6	A6	663355	1700098	0.05	-92.0
7	A7	663357	1700060	0.30	-32.3
8	A8	663358	1700021	0.32	-39.1
9	A9	663360	1699981	0.12	-65.3
10	A10	663362	1699941	0.17	-59.8
Transect B					
11	B1	663319	1700288	0.77	-15.9
12	B2	663318	1700248	0.36	-36.5
13	B3	663324	1700212	0.35	-39.7
14	B4	663329	1700178	0.20	-48.6
15	B5	663329	1700141	0.50	-27.0
16	B6	663329	1700099	0.47	-31.5
17	B7	663331	1700058	0.63	-22.3
18	B8	663333	1700018	0.24	-50.3
19	B10	663335	1699940	0.08	-65.5
Transect C					
20	C1	663294	1700285	0.83	-6.9
21	C2	663294	1700245	0.57	-18.2
22	C3	663294	1700204	0.57	-29.0
23	C4	663294	1700164	0.39	-24.0
24	C5	663295	1700124	0.76	-4.3

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

No	Code	จุดพิกัด		Cs-137 activity (Bq/kg)	soil redistribution rate (t/ha/yr)
		X	Y		
Transect C					
25	C6	663296	1700083	0.39	-31.6
26	C7	663296	1700043	0.08	-100.4
27	C8	663294	1700002	0.21	-63.1
28	C9	663295	1699963	0.35	-44.9
29	C10	663299	1699929	0.47	-15.2
Transect D					
30	D4	663369	1700172	0.15	-69.4
31	D5	663371	1700132	0.32	-38.0
32	D6	663373	1700106	0.37	-33.4
33	D7	663375	1700066	0.46	-29.6
34	D8	663376	1700025	0.49	-28.6
Transect E					
35	E1	663376	1700333	1.22	2.2
36	E2	663441	1700321	0.67	-16.3
37	E3	663498	1700312	0.39	-66.9
38	E5	663636	1700286	0.64	0.1
39	E6	663752	1700266	0.47	3.9
40	E7	663832	1700251	0.26	-49.6
41	E8	663898	1700239	0.28	-29.6
Transect F					
42	F1	663483	1700206	0.75	-28.0
43	F2	663478	1700158	0.62	-26.8
44	F3	663482	1700132	0.66	-21.7
45	F4	663481	1700072	0.50	-13.2
46	F5	663479	1700010	0.56	-20.1
47	F7	663531	1699838	0.75	6.5

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

N0	Code	จุดพิกัด		137Cs activity	soil redistribution rate
		X	Y	(Bq/kg)	(t/ha/yr)
Transect H					
48	H1	664245	1699527	0.52	-15.8
49	H2	664150	1699572	0.50	-18.8
50	H3	664005	1699625	0.33	-47.3
51	H4	663910	1699678	0.52	-15.4
52	H5	663850	1699710	1.09	29.9
53	H6	663783	1699750	1.18	33.9
54	H7	663752	1699775	0.49	-10.4
Transect I					
55	I1	664297	1699666	0.73	-41.4
56	I2	664212	1699710	1.03	32.3
57	I3	664144	1699785	0.81	15.1
58	I4	664094	1699836	0.89	35.6
59	I5	664014	1699915	0.59	-21.7
60	I7	663802	1700077	0.50	-4.3

ตารางผนวกที่ 2 ผลวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคดินขนาดต่างๆ ของดินที่ศึกษา

No	Code	VCS*	CS*	MS*	FS*	VFS*	Sand	Silt	Clay	Textural
		1-2	0.5-1.0	0.25-0.5	0.1-0.25	0.05-0.1				Classes**
							mm			
							%			
Transect A										
1	A1	10.2	6.8	4.5	5.2	6.2	32.9	40.9	26.2	L
2	A2	6.9	7.2	6.5	6.8	8.8	36.2	43.8	20.0	L
3	A3	4.5	6.3	7.2	9.0	8.3	35.3	38.8	25.9	L
4	A4	8.4	9.0	9.0	11.0	10.1	47.5	27.5	25.0	SCL
5	A5	7.4	7.0	5.4	7.1	9.9	36.8	36.2	27.0	L
6	A6	8.2	5.6	4.0	5.2	9.5	32.5	36.8	30.7	CL
7	A7	5.6	5.0	4.5	7.7	12.0	34.8	36.4	28.8	CL
8	A8	9.2	7.6	6.7	8.6	11.1	43.2	33.0	23.8	L
9	A9	6.9	7.6	8.0	9.6	12.3	44.4	32.5	23.1	L
10	A10	4.9	5.5	4.9	7.1	11.7	34.1	42.1	23.8	L
Transect B										
11	B1	5.8	5.1	4.8	6.1	6.8	28.6	44.2	27.2	CL
12	B2	10.2	9.0	6.8	7.2	8.0	41.2	38.3	20.5	L
13	B3	7.2	6.3	6.4	7.4	8.6	35.9	38.0	26.1	L
14	B4	7.1	5.9	6.3	7.9	8.7	35.9	37.6	26.5	L
15	B5	7.5	5.7	5.1	6.4	9.6	34.3	38.5	27.2	CL
16	B6	6.7	5.2	4.0	6.3	12.2	34.4	39.9	25.7	L
17	B7	7.3	5.7	4.2	5.7	11.9	34.8	37.7	27.5	CL
18	B8	8.8	8.7	7.7	8.5	9.0	42.7	36.0	21.3	L
19	B10	6.3	4.8	4.0	6.3	11.4	32.8	40.3	26.9	L
Transect C										
20	C1	1.9	2.7	3.7	6.1	9.5	23.9	49.8	26.3	L
21	C2	4.3	3.5	4.8	7.8	7.7	28.1	45.4	26.5	L
22	C3	4.7	4.1	5.1	7.7	8.7	30.3	46.3	23.4	L
23	C4	3.3	2.8	4.9	8.2	9.6	28.8	48.9	22.3	L

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

No	Code	VCS*	CS*	MS*	FS*	VFS*	Sand	Silt	Clay	Textural
		1-2	0.5-1.0	0.25-0.5	0.1-0.25	0.05-0.1				Classes**
		mm								
		%								
Transect C										
24	C5	3.5	2.4	3.4	5.4	8.0	22.7	50.9	26.4	SiL
25	C6	3.4	2.1	2.6	5.1	9.8	23.0	50.2	26.8	SiL
26	C7	7.7	4.2	3.2	5.3	8.8	29.2	45.8	25.0	L
27	C8	4.3	3.4	3.8	6.7	11.7	29.9	47.5	22.6	L
28	C9	5.8	5.4	4.1	5.6	10.0	30.9	45.2	23.9	L
29	C10	2.4	2.9	4.4	7.1	11.0	27.8	50.2	22.0	SiL
Transect D										
30	D4	9.8	9.6	7.9	10.0	8.3	45.6	36.8	17.6	L
31	D5	9.9	9.1	8.6	10.6	8.8	47.0	33.9	19.1	L
32	D6	5.0	5.3	6.1	7.9	9.2	33.5	42.5	24.0	L
33	D7	4.6	3.8	3.0	5.0	8.4	24.8	50.6	24.6	SiL
34	D8	3.8	3.8	4.1	6.1	10.7	28.5	49.5	22.0	L
Transect E										
35	E1	5.3	3.9	3.2	4.6	6.9	23.9	49.0	27.1	CL
36	E2	3.4	3.8	5.1	6.4	6.4	25.1	52.0	22.9	SiL
37	E3	4.9	4.0	4.1	6.4	7.8	27.2	49.3	23.5	L
38	E5	0.8	1.0	2.0	3.7	4.1	11.6	51.4	37.0	SiCL
39	E6	0.5	1.3	3.2	5.7	5.2	15.9	45.9	38.2	SiCL
40	E7	no sample								
41	E8	1.5	2.8	3.6	3.6	4.0	15.5	46.3	38.2	SiCL
Transect F										
42	F1	3.6	3.0	3.3	5.5	6.9	22.3	56.2	21.5	SiL
43	F2	10.6	8.0	5.6	6.0	5.4	35.6	40.3	24.1	L
44	F3	9.8	5.7	4.7	6.5	7.9	34.6	43.7	21.7	L
45	F4	3.5	4.2	4.9	7.6	7.7	27.9	45.2	26.9	L

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

No	Code	VCS*	CS*	MS*	FS*	VFS*	Sand	Silt	Clay	Textural	
		1-2	0.5-1.0	0.25-0.5	0.1-0.25	0.05-0.1					Classes**
		mm									
		%									
<u>Transect F</u>											
46	F5	0.9	1.6	3.1	5.1	7.2	17.9	48.0	34.1	SiCL	
47	F7	1.1	1.8	2.7	8.4	0.5	14.5	54.0	31.5	SiCL	
<u>Transect H</u>											
48	H1	6.8	4.7	3.9	6.9	8.2	30.5	47.7	21.8	L	
49	H2	2.7	3.4	4.3	6.8	7.5	24.7	51.8	23.5	SiL	
50	H3	2.2	2.9	4.1	7.2	9.8	26.2	48.5	25.3	L	
51	H4	2.0	1.7	2.6	4.8	6.2	17.3	54.6	28.1	SiCL	
52	H5	2.0	2.7	3.6	5.4	6.4	20.1	60.7	19.2	SiL	
53	H6	1.5	2.7	3.9	5.8	7.0	20.9	60.2	18.9	SiL	
54	H7	1.0	1.7	3.7	5.9	5.1	17.4	66.1	16.5	SiL	
<u>Transect I</u>											
55	I1	3.7	4.4	6.3	8.9	7.4	30.7	51.3	18.0	SiL	
56	I2	1.3	2.5	4.3	6.1	5.0	19.2	54.9	25.9	SiL	
57	I3	1.4	2.3	3.3	6.2	4.9	18.1	54.3	27.6	SiCL	
58	I4	1.9	2.3	4.4	5.5	4.4	18.5	61.6	19.9	SiL	
59	I5	4.1	4.4	4.8	6.1	5.7	25.1	58.6	16.3	SiL	
60	I7	0.7	2.3	5.9	8.8	5.6	23.3	38.2	38.5	CL	

หมายเหตุ :

* VCS = Very Coarse Sand

CS = Coarse Sand

MS = Medium Sand

FS = Fine Sand

VFS = Ver Fine Sand

** S = sand

LS = loamy sand

SL = sandy loam

SCL = sandy clay loam

SiCL = silty clay loam

SC = sandy clay

ตารางผนวกที่ 3 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ศึกษา

No	code	OM (%)	pH 1:1 in water	P Bray II (mg/kg)	K Ammonium acetate pH7 (mg/kg)	Ca Ammonium acetate pH7 (mg/kg)	Mg
<u>Transect A</u>							
1	A1	3.43	8.3	1.7	261	8952	113
2	A2	3.08	8.4	0.3	210	7168	95
3	A3	2.26	8.4	0.4	189	8004	73
4	A4	2.39	8.3	1.1	249	7174	118
5	A5	3.29	8.3	0.5	320	9218	136
6	A6	3.21	8.3	35.6	232	9800	158
7	A7	3.05	8.3	30.1	228	9906	145
8	A8	2.84	8.3	24.7	233	8680	93
9	A9	2.63	8.3	28.6	221	8146	112
10	A10	3.19	8.2	77.6	389	8886	170
<u>Transect B</u>							
11	B1	2.32	8.2	0.6	267	7666	142
12	B2	2.56	8.3	0.3	295	7038	110
13	B3	2.38	8.2	0.2	239	7450	108
14	B4	2.59	8.1	1.7	272	7648	100
15	B5	2.78	8.2	11.5	299	8108	135
16	B6	3.06	8.1	45.9	267	8500	190
17	B7	2.45	8.3	5.4	274	8256	172
18	B8	1.72	8.3	0.4	232	6560	94
19	B10	3.15	8.1	83.1	443	9220	163
<u>Transect C</u>							
20	C1	4.53	8.1	227.4	390	9946	229
21	C2	4.22	8.1	182.7	401	10742	211
22	C3	3.82	8.1	88.4	397	8534	175
23	C4	3.87	8.1	58.4	284	10266	216
24	C5	4.21	8.2	46.6	270	10876	267

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

No	code	OM (%)	pH 1:1 in water	P Bray II (mg/kg)	K Ammonium acetate pH7 (mg/kg)	Ca Ammonium acetate pH7 (mg/kg)	Mg Ammonium acetate pH7 (mg/kg)
<u>Transect C</u>							
25	C6	3.99	8.3	31.6	244	10000	250
26	C7	3.40	8.3	24.2	217	10086	175
27	C8	2.89	8.3	22.8	176	9534	150
28	C9	3.55	8.3	27.6	239	10176	181
29	C10	3.62	8.2	107.7	418	9024	208
<u>Transect D</u>							
30	D4	2.52	8.3	1.0	263	7166	138
31	D5	2.82	8.2	18.4	290	7472	147
32	D6	3.89	8.1	60.9	354	9902	191
33	D7	3.68	8.2	62.3	340	9698	194
34	D8	3.60	8.1	43.0	341	9384	254
<u>Transect E</u>							
35	E1	3.78	8.1	111.6	539	8706	244
36	E2	3.27	8.2	51.6	268	8568	170
37	E3	3.49	8.2	40.3	322	9960	264
38	E5	2.40	8.0	32.3	216	12130	280
39	E6	2.51	8.0	17.8	188	10786	283
40	E7	2.41	8.0	18.9	177	10698	310
41	E8	1.83	8.2	9.8	158	10768	799
<u>Transect F</u>							
42	F1	3.83	8.1	64.9	455	9704	247
43	F2	3.51	8.2	6.3	330	8250	255
44	F3	2.51	8.1	1.2	264	7900	188
45	F4	3.04	8.2	25.8	279	10246	225
46	F5	3.11	8.1	28.6	297	12462	374
47	F7	3.03	8.1	51.4	219	11642	627

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

No	code	OM (%)	pH 1:1 in water	P Bray II (mg/kg)	K Ammonium acetate pH7 (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
<u>Transect H</u>							
48	H1	2.99	8.1	30.1	386	10160	206
49	H2	2.97	8.1	71.1	486	9006	202
50	H3	3.02	8.1	64.9	482	9142	229
51	H4	3.20	8.1	45.8	353	10518	235
52	H5	3.23	8.1	47.3	380	10100	195
53	H6	2.84	8.2	46.8	398	9224	191
54	H7	3.55	8.1	58.3	467	11276	238
<u>Transect I</u>							
55	I1	3.01	8.3	27.6	228	8948	181
56	I2	3.16	8.2	29.1	288	9820	222
57	I3	3.40	8.2	27.5	408	11118	230
58	I4	3.23	8.2	22.5	286	9114	176
59	I5	3.56	8.3	32.6	392	9040	227
60	I7	3.35	8.0	47.2	285	10802	515

ตารางผนวกที่ 4 ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินของสมบัติทางเคมี (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

4.1 ค่าปฏิกิริยาดิน (soil reaction, pH) (ดิน : น้ำ = 1:1)

ระดับ	พิสัย
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.5
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	> 9.0

4.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter, SOM)

ระดับ	พิสัย (g/kg)
ต่ำมาก (VL)	< 5
ต่ำ (L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ (ML)	10-15
ปานกลาง (M)	15-25
ค่อนข้างสูง (MH)	25-35
สูง (H)	35-45
สูงมาก (VH)	> 45

4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II)

ระดับ	ฟอสฟอรัส (mg/kg)
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (ML)	6-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-25
สูง (H)	25-45
สูงมาก (VH)	> 45

4.4 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (NH₄OAc pH7)

ระดับ	โพแทสเซียม (mg/kg)
ต่ำมาก (VL)	< 30
ต่ำ (L)	30-60
ปานกลาง (M)	60-90
สูง (H)	90-120
สูงมาก (VH)	> 120

ตารางผนวกที่ 5 การแบ่งชั้นสภาพพื้นที่ตามความลาดชัน

สัญลักษณ์	ความลาดชัน (%)	ความลาดชันเชิงซ้อน (Complex slope)	ความลาดชันเชิงเดี่ยว (Simple slope)
A	0-2	ราบเรียบถึงค่อนข้าง ราบเรียบ (level to nearly level)	ราบเรียบถึงค่อนข้าง ราบเรียบ (level to nearly level)
B	2-5	ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (gently undulating)	ลาดชันเล็กน้อยมาก (very gently sloping)
C	5-12	ลูกคลื่นลอนลาด (undulating)	ลาดชันเล็กน้อย (gently sloping)
D	12-20	ลูกคลื่นลอนชัน (rolling)	ลาดชันสูง (strongly sloping)
E	20-35	เนินเขา (hilly)	สูงชันปานกลาง (moderately steep)
F	35-50	สูงชัน (steep)	สูงชัน (steep)
G	50-75	สูงชันมาก (very steep)	สูงชันมาก (very steep)
H	>75	สูงชันมากที่สุด (extremely steep)	สูงชันมากที่สุด (extremely steep)

คำศัพท์ทางนิวเคลียร์ (พระราชบัญญัติพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ, พ.ศ. 2559)

พลังงานนิวเคลียร์ หมายความว่า พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากการแยก รวม หรือแปลง นิวเคลียส

รังสี หมายความว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาคใด ๆ ที่มีความเร็ว ซึ่งสามารถก่อให้เกิด การแตกตัวเป็นไอออนได้ในตัวกลางที่ผ่านไ

วัสดุแก๊สมันตรังสี หมายความว่า ธาตุหรือสารประกอบใด ๆ ที่องค์ประกอบส่วนหนึ่งมีโครงสร้าง ภายในอะตอมไม่คงตัว และสลายตัวโดยปลดปล่อยรังสีออกมา ทั้งที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือเกิดจากการ ผลิต หรือการใช้วัสดุนิวเคลียร์ การผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสี หรือกรรมวิธีอื่นใด ทั้งนี้ ไม่รวมถึงวัสดุ แก๊สมันตรังสีที่มีลักษณะเป็นวัสดุนิวเคลียร์

ค่าครึ่งชีวิตของสารแก๊สมันตรังสี (half life)

ไอโซโทปของธาตุในโลกนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเสถียร (Stable) และชนิดไม่เสถียร (Unstable) โดยที่โลกที่เราอยู่นี้เกิดจากการสังเคราะห์ทางนิวเคลียร์เมื่อกว่า 4.6×10^9 ปี มาแล้ว ดังนั้น ไอโซโทปที่หลงเหลืออยู่ในปัจจุบันมักเป็นพวกที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำสุด คือ ชนิดเสถียร พวกไม่เสถียร ก็อาจมีบ้างเพียงส่วนน้อย นอกจากนั้นก็ยังมีไอโซโทปรังสีบางชนิดเช่น คาร์บอน- 14 เกิดมาจากปฏิกิริยา นิวเคลียร์จากรังสีคอสมิกที่มาจากนอกโลกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา แต่ปัจจุบันมีการนำไอโซโทปเสถียร ไปอาบรังสีนิวตรอนภายหลังทำปฏิกิริยานิวเคลียร์แล้วกลายเป็นพวกไม่เสถียร เช่น ไอโอดีน - 131 และ เทคนิเชียม-99m

การสลายตัวของไอโซโทปนี้เกิดเองตามลักษณะกายภาพ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของมัน เองตามธรรมชาติคือไม่อยู่ตัวจะสลายตัว (Decay) เนื่องจากตอนกำเนิดมักอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited State) ซึ่งจะมีระดับพลังงานศักย์สูงเหมือนแท่งน้ำที่อยู่สูงเมื่อเปิดก๊อกน้ำก็ไหลลงสู่ที่ต่ำกว่า จนสุดท้ายคือระดับพื้นดินซึ่งเป็นระดับล่างสุด คือระดับเสถียรไม่ไหลไปไหนอีกแล้วนิวเคลียสของ ไอโซโทปที่ไม่เสถียร ซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้นจะสลายตัวลงสู่ระดับพลังงานศักย์ที่ต่ำกว่า ว่าโดยการ ปลดปล่อยอนุภาคชนิดต่างๆ เช่นแอลฟา บีตาหรือแกมมาออกมาด้วย และเมื่อสลายตัวแล้วตัวเองก็ มักจะเปลี่ยนไปเป็นธาตุใหม่ซึ่งแตกต่างจากธาตุเดิม เช่น ฟอสฟอรัส- 32 เมื่อสลายตัวโดยแผ่ รังสีบีตา แล้วจะกลายเป็นกำมะถัน-32 เป็นต้น การสลายตัวของไอโซโทปรังสีแต่ละชนิดจ ะมีค่าคงตัวค่าหนึ่งซึ่ง บอกถึงอัตราการสลายตัวของไอโซโทปนั้นๆ เรียกว่า ค่าครึ่งชีวิต โดยถือเอาระยะเวลาที่ไอโซโทปรังสี สลายตัวเหลือปริมาณครึ่งหนึ่งของที่มีอยู่เดิม เช่น เรเดียม- 226 มีครึ่งชีวิต 1,620 ปี หมายความว่า หากมีเรเดียม-226 จำนวน 2 กรัม เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1,620 ปี เรเดียม- 226 นี้จะสลายตัวเหลือ ปริมาณเพียง 1 กรัมและพอต่อไปอีก 1,620 ปี ก็จะลดลงเหลือเพียง 0.5 กรัม ฯลฯ

ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

การเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ ยังผลให้เกิดการแผ่รังสี หรือมีอนุภาคที่มีพลังงานเกิดขึ้น ไอโซโทป รังสีหรือนิวไคลด์รังสี (Radionuclide) จึงเป็นแหล่งกำเนิดรังสีชนิดหนึ่งในหลายชนิด การวัดจำนวนไอโซโทปรังสี หรือนิวไคลด์รังสี ไม่อาจทำได้โดยการชั่งน้ำหนักหรือตวงวัดได้ เพราะไอโซโทป รังสีจะปนอยู่ กับไอโซโทปอื่นๆเสมอ แม้แต่เมื่อทำการแยกให้บริสุทธิ์แล้ว เมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็จะทำให้เกิดธาตุใหม่ขึ้นปะปน ดังนั้นปริมาณกัมมันตภาพรังสีในขณะใดขณะหนึ่ง จึงวัดได้โดยวัดรังสีที่เกิดขึ้น ในขณะนั้น ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ที่เกิดขึ้น หน่วยของปริมาณกัมมันตภาพรังสีเดิมอาศัยการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ ของธาตุเรเดียมหนัก 1 กรัม ซึ่งเท่ากับ 3.7×10^{10} Disintegration per Second และเรียกว่า 1 คูรี (Ci)

$$1 \text{ คูรี (Ci)} = 3.7 \times 10^{10} \text{ ครั้งต่อวินาที}$$

ต่อมาใช้ SI unit หน่วยของกัมมันตรังสี ควรจะเป็นวินาที แต่ให้ใช้ชื่อเฉพาะว่า 1 เบคเคอเรล (Bq) ดังนั้น

$$1 \text{ (Bq)} = 1 \text{ s}^{-1} \text{ และ } 1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจะมีผลเมื่อเข้าสู่ร่างกายเพราะรังสีที่เกิดขึ้นจะถูกดูดกลืนในอวัยวะและเนื้อเยื่อของร่างกายมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์นั้นให้อนุภาคแอลฟาหรือเบตา เพราะอนุภาคทั้งสองเป็นอนุภาคที่มีพิสัยต่ำแน่นอนว่าจะต้องถ่ายทอดพลังงานทั้งหมดให้อวัยวะและเนื้อเยื่อในร่างกายทำให้เกิดอันตรายมากที่สุด