

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### พื้นที่ศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ศึกษาพื้นที่เกษตรกรรมบนพื้นที่สูงในเขตอำเภอร่องขาว จังหวัดแพร่ โดยการสุ่มพื้นที่ตลอดเส้นทางแพร่-น่าน ซึ่งมีลักษณะทำการเกษตรกรรมบนพื้นที่สูงชัน โดยมีจำนวนตัวอย่างในการสุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 29 พื้นที่ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งและลักษณะการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	พิกัด	ความสูง (เมตร)	ทิศทางการลาดเอียง	พืชคลุมดิน	พืชที่ปลูก	พืชรักษา เสถียรภาพ ลาดดิน
1.	018.36378 N/100.36092E	314.64	SW	หญ้า	ข้าวโพด	-
2.	018.37457N/ 100.36592E	315.38	SW	หญ้า	ข้าวโพด	-
3.	018.37457N/ 100.38093E	315.35	NE	หญ้า	ข้าวโพด	-
4.	018.37504N/ 100.38760E	315.37	NW	หญ้า	ข้าวโพด	-
5.	018.37292N/ 100.39291E	315.22	NE	หญ้า	ข้าวโพด	-
6.	018.37618N/ 100.39566E	315.44	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
7.	018.37992N/ 100.40047E	315.70	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
8.	018.37976N/ 100.40596E	315.68	S	หญ้า	ข้าวโพด	-
9.	018.36673N/ 100.41026E	314.78	SE	หญ้า	ข้าวโพด	-
10.	018.36673N/ 100.41317E	314.77	SE	หญ้า	ข้าวโพด	-
11.	018.36868N/ 100.41403E	314.91	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
12.	018.35809N/ 100.40974E	314.18	S	หญ้า	ข้าวโพด	-
13.	018.36021N/ 100.41266E	314.33	W	หญ้า	ข้าวโพด	-

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งและลักษณะการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด	ความสูง (เมตร)	ทิศทางความ ลาดเอียง	พืชคลุมดิน	พืชปลูก	พืชรักษา เสถียรภาพ ลาดดิน
14.	018.36184N/ 100.40579E	314.33	SW	หญ้า	ข้าวโพด	-
15.	018.36738N/ 100.40476E	314.83	N	หญ้า	ข้าวโพด	-
16.	018.37145N/ 100.41541E	315.10	S	หญ้า	ข้าวโพด	-
17.	018.37439N/ 100.41969E	315.29	S	หญ้า	ข้าวโพด	-
18.	018.37846N/ 100.42021E	315.57	SE	หญ้า	ข้าวโพด	-
19.	018.38253N/ 100.42141E	315.85	SE	หญ้า	ข้าวโพด	-
20.	018.36868N/ 100.42365E	314.90	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
21.	018.38481N/ 100.42828E	316.01	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
22.	018.39116N/ 100.42656E	316.44	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
23.	018.39670N/ 100.42605E	316.82	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
24.	018.39377N/ 100.43600E	316.62	S	หญ้า	ข้าวโพด	-
25.	018.39361N/ 100.44373E	316.60	NE	หญ้า	ข้าวโพด	-
26.	018.39638N/ 100.45523E	316.79	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
27.	018.41456N/ 100.47195E	318.03	S	หญ้า	ข้าวโพด	-
28.	018.42954N/ 100.48019E	319.06	E	หญ้า	ข้าวโพด	-
29.	018.44710N/ 100.48483E	320.27	W	หญ้า	ข้าวโพด	-

ลักษณะของดินในพื้นที่ตัวอย่าง

ผลของลักษณะของดินตัวอย่างทั้ง 29 จุด ระดับความลึก 30 cm ตลอดการสุ่มพื้นที่ตลอด

เส้นทางแพร่-น่าน ซึ่งมีลักษณะทำการเกษตรกรรมบนพื้นที่สูงสูงชัน แล้วนำไปวิเคราะห์หาชุดดิน ลักษณะเนื้อดิน การยึดตัวของดินและค่าความเหนียวของดิน ดังตารางที่ 4.2

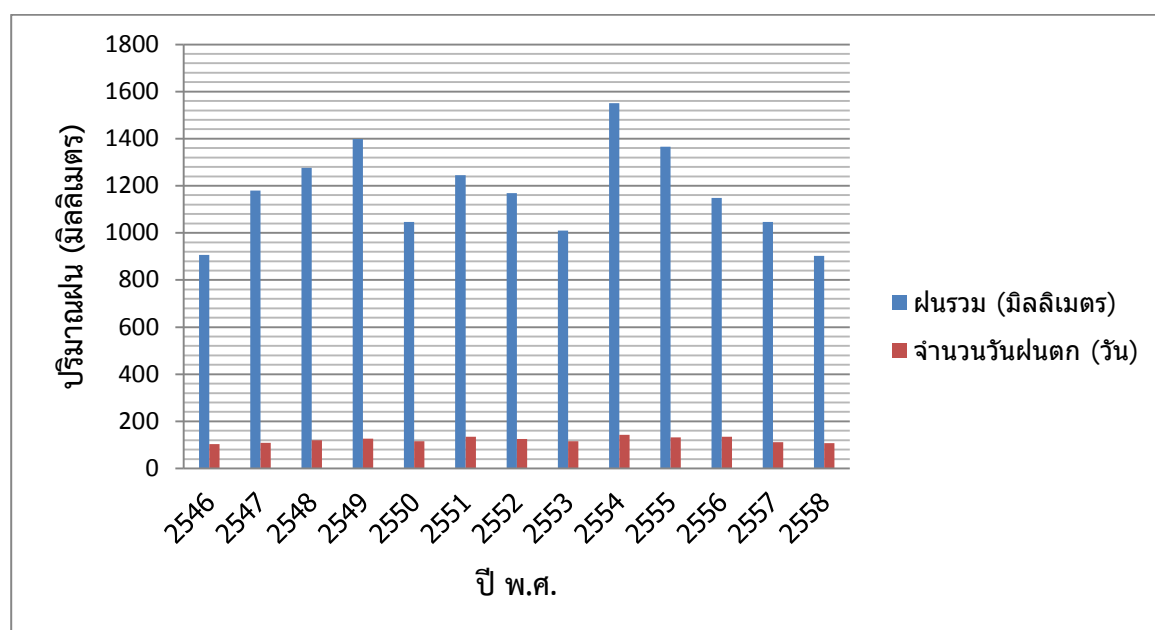
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ (samples NO.)	ชุดดิน (soil series)	เนื้อดินในภาคสนาม (field texture)	ค่าการยึดตัว (consistence)	ค่าความเหนียว ของดิน (plasticity)
1	47D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
2	55C	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
3	47E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
4	55E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
5	47E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
6	47C	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
7	47D	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
8.	47D/55D	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
9.	47D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
10.	55D	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
11.	55D	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
12.	47D/55D	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
13.	47D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
14.	55E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
15.	47E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
16.	47D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
17.	47E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
18.	47D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
19.	47D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
20.	55D	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
21.	47E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
22.	47D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
23.	55D	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
24.	55E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
25.	55D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	ปานกลาง
26.	47E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
27.	47D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
28.	47E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย
29	55D/E	ดินเหนียวปนร่วน	ปานกลาง	น้อย

จากตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติดินพบว่า จำนวนดินตัวอย่างทั้ง 29 จุดมีลักษณะเป็นดินดินเหนียวปนร่วน ซึ่งมีค่าการยึดตัวกันของอนุภาคดินอยู่ระดับปานกลาง ส่วนความเหนียวของดินมีน้อยไปจนถึงปานกลาง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่เสถียรของดินหากมีแรงกระทำกับดินบริเวณดังกล่าว ประกอบกับอยู่บนพื้นที่สูงชันตั้งแต่ 10 องศาขึ้นไป ซึ่งการใช้ประโยชน์ดินที่มีปรับโครงสร้างหน้าดินเพื่อการเกษตรกรรม โดยเฉพาะพืชไร่รากสั้นอย่างข้าวโพดนั้น มีโอกาสที่จะเกิดการเลื่อนสไลด์ของดินได้สูง

### ปริมาณฝน

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนย้อนหลังเป็นเวลา 12 ปี โดยมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 -2558 พบว่า ปริมาณฝนรวมสูงสุดอยู่ในปี พ.ศ. 2554 จำนวน 1550 มิลลิเมตร และเป็นปีที่มีจำนวนฝนตกมากที่สุด จำนวน 143 วัน



ภาพที่ 4.1 ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดแพร่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 -2558

### ผลการประเมินการสูญเสียดิน

การประเมินการสูญเสียดิน โดยใช้สมการการสูญเสียสากล (USLE) ในพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลาย เพื่อพิจารณาความเสี่ยงของพื้นที่สูงชัน โดยพื้นที่ตัวอย่างทั้ง 29 จุด มีการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบเกษตรกรรมพื้นที่สูง โดยมีการปลูกข้าวโพดเป็นพืชหลัก ตั้งแต่บริเวณเชิงเขาขึ้นไป ทำให้เมื่อมีแรงกระทำภายนอก อาทิ น้ำฝน ลม หรืออื่นๆ ทำให้มีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการดินถล่มตัวได้ง่าย ซึ่งจากการวิเคราะห์โอกาสเสี่ยงในการเกิดดินถล่มทั้ง 29 จุด ได้ผลการศึกษา ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** การประเมินการสูญเสียดิน โดยใช้สมการการสูญเสียสากล (USLE) ในพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลาย

ตัวอย่างที่	ปัจจัยการชะล้างของฝน (R- factor)	ปัจจัยความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor)	ปัจจัยความยาวและลาดชันของความลาดเท (LS - factors)	ปัจจัยเกี่ยวกับการจัดการพืช (C- factor)	ปัจจัยเกี่ยวกับการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน (P-factor)	สัมประสิทธิ์ปัจจัยจัดการพืชและการป้องกันการชะล้างพังทลาย (CP)	ค่าเฉลี่ยปริมาณดินที่สูญเสียจากแปลงปลูกข้าวโพดบนที่สูงชัน (ตัน/เฮคแตร์/ปี)
1.	194.38	0.30	6.15	0.50	0.80	0.40	143.74
2.	194.38	0.42	6.50	0.50	0.80	0.40	210.72
3.	194.38	0.59	5.12	0.50	0.60	0.30	178.46
4.	194.38	0.77	4.82	0.50	0.60	0.30	217.84
5.	194.38	0.65	4.96	0.50	0.60	0.30	89.43
6.	194.38	0.39	4.29	0.50	0.60	0.30	98.44
7.	194.38	0.38	6.82	0.50	0.80	0.40	202.41
8.	194.38	0.20	6.69	0.50	0.80	0.40	102.32
9.	194.38	0.35	6.26	0.50	0.80	0.40	172.41
10.	194.38	0.52	5.19	0.50	0.80	0.40	213.73
11.	194.38	0.21	4.19	0.50	0.80	0.40	68.74
12.	194.38	0.25	9.74	0.50	0.90	0.45	93.43
13.	194.38	0.20	12.19	0.50	0.90	0.45	211.48
14.	194.38	0.12	8.38	0.50	0.90	0.45	89.73
15.	194.38	0.37	5.65	0.50	0.80	0.45	164.48
16.	194.38	0.45	5.52	0.50	0.80	0.40	194.67
17.	194.38	0.46	5.74	0.50	0.80	0.40	203.84
18.	194.38	0.20	5.54	0.50	0.80	0.40	87.32
19.	194.38	0.47	4.15	0.50	0.80	0.40	113.47

ตารางที่ 4.3 การประเมินการสูญเสียดิน โดยใช้สมการการสูญเสียดินสากล (USLE) ในพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลาย (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปัจจัยการชะล้างของฝน (R- factor)	ปัจจัยความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K- factor)	ปัจจัยความยาวและลาดชันของเท (LS - factors)	ปัจจัยเกี่ยวกับการจัดการพืช (C- factor)	ปัจจัยเกี่ยวกับการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน (P- factor)	สัมประสิทธิ์ปัจจัยจัดการพืชและการป้องกันการชะล้างพังทลาย (CP)	ค่าเฉลี่ยปริมาณดินที่สูญเสียดังกล่าวจากข้อมูลการสำรวจพื้นที่ (ตัน/เฮกตาร์/ปี)
20.	194.38	0.17	6.57	0.50	0.60	0.30	86.44
21.	194.38	0.14	11.08	0.50	0.80	0.40	132.42
22.	194.38	0.26	9.95	0.50	0.90	0.45	227.84
23.	194.38	0.53	11.09	0.50	0.90	0.45	232.41
24.	194.38	0.73	9.95	0.50	0.80	0.40	187.32
25.	194.38	0.19	5.64	0.50	0.60	0.30	107.40
26.	194.38	0.27	4.39	0.50	0.90	0.45	132.42
27.	194.38	0.29	6.55	0.50	0.80	0.40	167.84
28.	194.38	0.76	6.43	0.50	0.80	0.40	180.32
29.	194.38	0.58	7.53	0.50	0.60	0.30	175.43

โดยจากเกณฑ์พิจารณาความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของ จักรดูล ศรีนนท์และวิรัชชัย น้อยเอี่ยม ในปี พ.ศ. 2557 สามารถแบ่งได้ดังนี้

0.01-100 ตัน/เฮกตาร์/ปี	มีการชะล้างพังทลายของดินน้อยมาก
1.01 – 5.00 ตัน/เฮกตาร์/ปี	มีการชะล้างพังทลายของดินน้อย
5.01 – 20.00 ตัน/เฮกตาร์/ปี	มีการชะล้างพังทลายของดินปานกลาง
20.01 – 100.00 ตัน/เฮกตาร์/ปี	มีการชะล้างพังทลายของดินรุนแรง
100.01 – 966.65 ตัน/เฮกตาร์/ปี	มีการชะล้างพังทลายของดินรุนแรงมาก

ซึ่งสามารถแบ่งระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินของจุดตัวอย่างทั้ง 29 จุด ได้ดังตาราง 4.4 นี้

ตารางที่ 4.4 ระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินทั้ง 29 จุด

ตัวอย่างจุดที่	ระดับการชะล้างพังทลายของดิน	
	รุนแรง	รุนแรงมาก
1		✓
2		✓
3		✓
4		✓
5	✓	
6	✓	
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓
11	✓	
12	✓	
13		✓
14	✓	
15		✓
16		✓
17		✓
18	✓	
19		✓
20	✓	
21		✓
22		✓
23		✓
24		✓
25		✓
26		✓
27		✓
28		✓
29		✓
รวม	7	22

จากตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์จากสมการการสูญเสียสากล (USLE) ในพื้นที่ตัวอย่างทั้ง 29 จุด พบว่ามีระดับการชะล้างพังทลายของดินทั้งแบบรุนแรงและรุนแรงมาก โดยเฉพาะรุนแรงมากมีถึง 22 จุด จาก 29 จุด ซึ่งถือว่าควรมีการพิจารณามาตรการในการลดการชะล้างพังทลายโดยเร่งด่วน

#### ผลการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณความชื้นในดิน

เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ตัวอย่างทั้ง 29 จุด ตามวิธีการมาตรฐาน ASTM D-1587 โดยเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรด้วยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินทั้ง 29 จุด จากนั้นนำมาอบแห้งโดยเตาอบความร้อน (Oven) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปดินดังกล่าวไปหาผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังอบแห้ง ซึ่งน้ำหนักที่ต่างไปคือน้ำหนักของน้ำในดิน ซึ่งต้องนำไปหาร้อยละของความชื้นในดินโดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ร้อยละปริมาณความชื้นในดินโดยน้ำหนักที่จุดวิกฤตของการขาดเสถียรภาพลาดดิน

ตัวอย่างดินที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนัก (กรัม)	ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนัก
1.	71.32	58.42	12.90	22.08
2.	69.42	52.40	17.02	32.66
3.	68.70	52.12	16.58	31.81
4.	70.82	51.02	19.80	38.80
5.	75.40	64.32	11.08	17.23
6.	71.02	63.42	7.60	11.98
7.	64.32	52.12	12.20	23.41
8.	60.81	49.78	11.03	22.16
9.	72.32	62.22	10.10	16.23
10.	72.54	56.32	16.22	28.80
11.	69.48	54.32	15.16	27.91
12.	67.39	58.26	9.13	15.67
13.	58.78	46.03	12.75	27.70
14.	63.42	50.71	12.71	25.06
15.	61.32	46.08	15.24	33.07
16.	70.32	54.57	15.75	28.86
17.	69.12	58.34	10.80	18.52
18.	67.40	52.42	14.98	28.58
19.	68.42	59.82	8.60	14.38

ตารางที่ 4.5 ร้อยละปริมาณความชื้นในดินโดยน้ำหนักที่จุดวิกฤตของการขาดเสถียรภาพลาดดิน (ต่อ)

ตัวอย่างดินที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนัก (กรัม)	ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนัก
20.	62.63	50.09	12.54	25.03
21.	63.79	53.82	9.97	18.52
22.	68.13	59.78	8.35	13.97
23.	63.15	53.84	9.31	17.29
24.	58.42	48.32	10.10	20.90
25.	59.67	50.08	9.59	19.15
26.	53.42	42.07	11.35	26.98
27.	61.18	50.70	10.48	20.67
28.	60.08	52.13	7.95	15.25
29.	59.72	52.24	7.48	14.32
เฉลี่ยความชื้นในดิน				22.65

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 สามารถนำไปหาค่า Bulk density ( $\rho$ ) ของดินโดยนำตัวอย่างดินที่เก็บได้ทั้ง 29 จุดมาเข้าเตาอบ (oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง เพื่อนำมาหาค่าน้ำหนักดินแห้ง ( $M_s$ ) แล้วนำมาเข้าสู่สูตรเพื่อหาค่า น้ำหนักดินแห้ง ( $M_s$ ) ดังนี้

$$\text{Bulk density } (\rho) = \frac{M_s}{V} = \frac{95}{90} = 1.05 \text{ gm/cm}^3$$

ดังนั้น เมื่อนำค่ามาหาค่าร้อยละความชื้นในดินโดยปริมาตรที่เป็นจุดวิกฤตของการขาดเสถียรภาพลาดดินจะได้ดังสมการ คือ

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของ water content โดยปริมาตร} &= (\text{ร้อยละของ water content โดยน้ำหนัก}) \\ &\times (\text{Bulk density}) \\ &= (22.65)(1.05) = 23.78 \% \end{aligned}$$

#### ค่าดัชนีพลาสติก

ค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index: PI) เป็นค่าที่แสดงถึงสภาพพลาสติกของดินหรือความเหนียวของดิน ความไวต่อการเปลี่ยนสภาพของมวลดิน ซึ่งสามารถหาได้จากผลต่างของขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก

$$PL = LL - PI$$

PL = ขีดจำกัดของพลาสติกของดิน (Plasticity Limit)

LL = ขีดจำกัดของเหลว (Liquid Limit)

PI = ดัชนีความเป็นพลาสติกของดิน (Plasticity Index)

ถ้า PI ของดินสูงแสดงว่าค่าของดินมีความไวตัวต่ำ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมาก จึงทำให้ดินเปลี่ยนสภาพ เช่น ดินเหนียวอ่อน เป็นต้น ถ้าดัชนีมีค่า PI ต่ำ แสดงว่าดินมีความไวตัวสูง ปริมาณน้ำเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ดินเปลี่ยนสภาพจากกึ่งพลาสติกเป็นของเหลว เช่น ดินเหนียวที่ทรายแฉ่งอยู่มาก

ตารางที่ 4.6 ค่าความเป็นพลาสติกของดิน

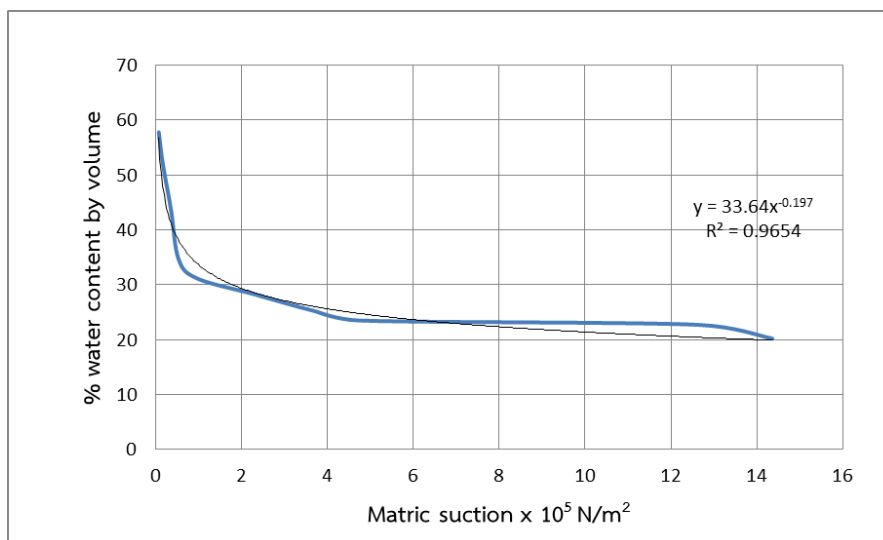
ตัวอย่างที่	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (N/m <sup>2</sup> )	$\phi$	Liquid Limit	Plastic Limit
1.	2.19x10 <sup>3</sup>	15.234x10 <sup>3</sup>	30.4	36.4	21.32
2.	2.12x10 <sup>3</sup>	21.214x10 <sup>3</sup>	31.2	34.2	19.81
3.	1.89x10 <sup>3</sup>	20.301x10 <sup>3</sup>	34.6	31.2	22.11
4.	2.26x10 <sup>3</sup>	28.432x10 <sup>3</sup>	30.1	27.6	20.14
5.	2.07x10 <sup>3</sup>	20.673x10 <sup>3</sup>	45.2	23.9	19.38
6..	2.18x10 <sup>3</sup>	15.010x10 <sup>3</sup>	47.8	30.2	18.14
7.	2.23x10 <sup>3</sup>	24.736x10 <sup>3</sup>	40.1	31.9	21.44
8.	2.24x10 <sup>3</sup>	23.998x10 <sup>3</sup>	32.4	27.3	20.22
9.	2.23x10 <sup>3</sup>	23.743x10 <sup>3</sup>	43.8	29.9	18.32
10.	1.93x10 <sup>3</sup>	20.332x10 <sup>3</sup>	46.9	31.8	21.14
11.	1.28x10 <sup>3</sup>	2.456x10 <sup>3</sup>	44.4	32.2	20.24
12.	2.13x10 <sup>3</sup>	16.034x10 <sup>3</sup>	30.2	34.5	19.38
13.	2.14x10 <sup>3</sup>	2.14x10 <sup>3</sup>	32.7	31.2	18.64
14.	2.23x10 <sup>3</sup>	2.23x10 <sup>3</sup>	35.8	29.7	20.27
15.	2.10x10 <sup>3</sup>	2.10x10 <sup>3</sup>	34.4	30.1	20.11
16.	1.38x10 <sup>3</sup>	1.38x10 <sup>3</sup>	32.4	29.8	20.08
17.	2.22x10 <sup>3</sup>	2.22x10 <sup>3</sup>	44.9	32.1	19.37
18.	2.24x10 <sup>3</sup>	2.24x10 <sup>3</sup>	32.4	27.4	18.48
19.	2.14x10 <sup>3</sup>	2.14x10 <sup>3</sup>	48.7	39.1	19.41
20.	2.03x10 <sup>3</sup>	2.03x10 <sup>3</sup>	36.9	30.2	21.32
21.	2.11x10 <sup>3</sup>	2.11x10 <sup>3</sup>	32.4	24.8	20.18
22.	1.84x10 <sup>3</sup>	1.84x10 <sup>3</sup>	49.2	34.4	19.34
23.	2.14x10 <sup>3</sup>	2.14x10 <sup>3</sup>	47.4	30.7	20.44
24.	1.18x10 <sup>3</sup>	1.18x10 <sup>3</sup>	43.2	32.9	19.32

ตารางที่ 4.6 ค่าความเป็นพลาสติกของดิน (ต่อ)

ตัวอย่างที่	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (N/m <sup>2</sup> )	$\phi$	Liquid Limit	Plastic Limit
25.	$2.04 \times 10^3$	$2.04 \times 10^3$	31.8	29.4	20.18
26.	$2.21 \times 10^3$	$2.21 \times 10^3$	44.6	34.8	21.10
27.	$2.27 \times 10^3$	$2.27 \times 10^3$	47.9	35.3	19.85
28.	$2.13 \times 10^3$	$2.13 \times 10^3$	30.4	24.8	20.11
29.	$2.12 \times 10^3$	$2.12 \times 10^3$	49.8	34.2	20.52
เฉลี่ย	20.438	17.540	39.034	31.103	20.031

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับแรงดันในช่องว่างเม็ดดิน

จากภาพที่ 4.2 นำดินตัวอย่างจากพื้นที่ตัวอย่างทั้ง 29 จุดมาหาค่า Soil water characteristics curve โดยทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ pressure plate extractor ซึ่งได้ผลการศึกษาของความชื้นในดินที่ความดัน 0.07, 0.16, 0.36, 0.53, 0.95, 2.98, 3.64, 4.73, 12.64, 14.36 ( $\times 10^5$  N/m<sup>2</sup>) ซึ่งเป็นค่าของ soil water characteristics curve ของดินตัวอย่างทั้ง 29 จุดในพื้นที่จังหวัดแพร่ ดังนี้



ภาพที่ 4.2 ระดับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินกับแรงดันในช่องว่างเม็ดดิน

ซึ่งจากการหาความสัมพันธ์ของระดับความชื้นกับแรงดันในช่องว่างเม็ดดินเฉลี่ยทั้ง 29 จุด จะได้ความสัมพันธ์ คือ  $Y = 33.64x^{-0.197}$  โดยที่ค่า  $R^2$  หรือ Coefficient of determinant เท่ากับ 0.9654

## ผลการศึกษาความสามารถในลดการชะล้างพังทลายของดินจากต้นกระถินไทย

### 1. ลักษณะทางกายภาพของรากต้นกระถินไทย

ชุดต้นกระถินไทยที่มีอายุ 3, 5, 7, 9 และ 11 เดือน ในพื้นที่ เพื่อพิจารณาลักษณะรากของกระถิน พบว่ากระถินมีลักษณะของ VH type โดยมีรากยึดลักษณะแนวตั้งยาวต่อแนวระนาบดังภาพที่ 4.3 ซึ่งจะทำให้รับแรงเฉือนได้ดีเมื่อเกิดการเลื่อนของดิน



ภาพที่ 4.3 ลักษณะของรากกระถินไทยแบบ VH Type

### 2. การวัดขนาดของรากแนวตั้งและแนวระนาบของต้นกระถินในพื้นที่ตัวอย่าง

ทำการวัดขนาดของรากทั้งแนวตั้งและแนวระนาบของต้นกระถินไทยตามอายุ คือ 3 5 7 9 และ 11 เดือน ดังภาพที่ 4.4 และผลการวัดได้ดังตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.4 การวัดขนาดของรากต้นกระถินทั้งแบบแนวตั้งและแนวระนาบ

**ตารางที่ 4.7** ขนาดของรากต้นกระถินไทยในพื้นที่ (เฉลี่ย)

อายุ (เดือน)	ความสูง (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	พื้นที่ของราก (ซม. <sup>2</sup> )
3	5.83 ± 0.40	11.24 ± 0.43	30.04 ± 2.82
5	48.56 ± 2.98	65.26 ± 1.16	199.82 ± 2.32
7	128.57 ± 2.60	98.24 ± 4.32	282.43 ± 3.21
9	152.34 ± 3.33	109.35 ± 1.15	288.53 ± 4.23
11	188.21 ± 2.86	113.23 ± 0.82	298.32 ± 2.88

#### การทดสอบกำลังรับแรงดึงของรากกระถิน

การทดสอบกำลังรับแรงดึงที่จะมีต่อรากของต้นกระถินอายุ 11 เดือน ในการลดการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ตัวอย่างที่มีการทำการเกษตรกรรมบนพื้นที่สูง เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยค่าเฉลี่ยความชื้นในดินกับแรงดันในช่องว่างในดินเป็นค่าเฉลี่ยของดินตัวอย่างทั้ง 29 จุด โดยนำมาหาค่าแรงดึงของรากต้นกระถิน โดยการทดสอบแรงดึงตำแหน่งจุดคราก (yield point) ของราก เป็นหน่วยแรง (stress) ที่จุดของวัสดุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างถาวร โดยค่าหน่วยแรงมีค่าต่ำกว่าจุดครากของวัสดุนั้นๆ เมื่อเอาหน่วยแรงออกวัสดุสามารถกลับเข้าสู่สภาพเดิม วิธีการหาจุดครากกระทำโดยการนำวัสดุไปทดสอบแรงดึง ด้วยการให้แรงดึงแล้ววัดการยืดตัว นำค่าทั้งสองมาเขียนเส้นความสัมพันธ์ จุดสุดท้ายที่เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงเรียกว่า จุดคราก

กรณีเส้นความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง สามารถหาจุดครากได้โดยที่ 0.2% ของความเครียด (stress) ลากเส้นตัวขนานกับเส้นสัมผัสส่วนโค้งแรกของเส้นสัมพันธ์ไปตัดเส้นความสัมพันธ์ที่จุดไหนจุดนั้นจะเป็นจุดคราก

#### ผลการหาจุดคราก

ค่า yield strength ( $f_y$ ) ได้จากการนำค่าของจุดคราก (yield point) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของรากต้นกระถิน โดยได้ผลการศึกษา ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การหาจุดคราก (yield point)

ตัวอย่างที่	เส้นผ่านศูนย์กลางของรากกระถินไทย (มม.)	ความเครียดของราก (นิวตัน)	ความเค้นจุดคราก (นิวตัน)
1.	2.5	300	$15.278 \times 10^6$
2.	3.0	312	$11.034 \times 10^6$
3.	4.5	724	$11.380 \times 10^6$
4.	3.5	468	$12.160 \times 10^6$
5.	3.0	412	$14.571 \times 10^6$
6.	5.0	792	$10.084 \times 10^6$
7.	2.5	308	$15.686 \times 10^6$
8.	3.0	325	$11.494 \times 10^6$
9.	3.5	336	$8.730 \times 10^6$
10.	2.5	309	$15.737 \times 10^6$
11.	2.0	298	$23.714 \times 10^6$
12.	2.5	311	$15.839 \times 10^6$
13.	3.5	424	$11.017 \times 10^6$
14.	3.0	432	$15.278 \times 10^6$
15.	3.5	367	$9.536 \times 10^6$
16.	3.5	382	$9.926 \times 10^6$
17.	2.7	324	$14.147 \times 10^6$
18.	2.6	329	$15.491 \times 10^6$
19.	3.1	432	$14.309 \times 10^6$
20.	3.4	448	$12.335 \times 10^6$
21.	2.9	327	$12.376 \times 10^6$
22.	2.5	320	$16.297 \times 10^6$
23.	2.1	318	$22.952 \times 10^6$
24.	3.2	413	$12.838 \times 10^6$
25.	2.8	324	$13.154 \times 10^6$
26.	3.4	429	$11.812 \times 10^6$
27.	2.9	324	$12.263 \times 10^6$
28.	2.7	324	$14.147 \times 10^6$
29.	2.8	319	$12.951 \times 10^6$



ภาพที่ 4.5 การทดสอบแรงดึงของรากต้นกระถิน

จากตารางที่ 4.8 การทดสอบความสามารถของรากกระถิน พบว่า แต่ละจุดมีค่าจุดครากแตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาความเครียดของรากจะสูงแปรผันตรงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากต้นกระถิน ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อต้นกระถินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้น จะทำให้ความสามารถของรากในการรับแรงกระทำต่อรากเพิ่มขึ้น

#### การหามุมระหว่างแนวรากกับแนวลาดชันของพื้นที่

การหามุมระหว่างแนวรากของต้นกระถินกับแนวดึงของราก ( $\alpha$ ) โดยใช้สูตร  $90 - (\alpha + \beta)$  ซึ่ง  $\alpha$  จะได้เท่ากับ  $\alpha = 90 - \beta$  - มุมระหว่างแนวรากกับแนวดึง ซึ่งจะได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 มุมระหว่างแนวรอกของต้นกระถินกับแนวดิ่งของรอกกระถินอายุ 11 เดือน

ตัวอย่าง ที่	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง รอก (มม.)	พื้นที่หน้าตัดของ ดินต่อกำลังรับ แรงดึง ( $10^5$ $m^2$ )	มุมระหว่าง แนวรอกกับ แนวดิ่ง (องศา)	มุมลาด เอียง (องศา)	มุมเอียง ( $\alpha$ ) องศา	Sin $\alpha$	$f_{tr} A_{tr}$ sin $\alpha$ /d ( $N/m^2$ )
1.	2.5	1.30	30.71	10.44	48.86	0.753	347.805
2.	3.0	1.75	32.60	10.37	47.03	0.731	455.330
3.	4.5	2.43	40.31	10.48	39.22	0.632	514.027
4.	3.5	1.78	34.82	10.36	44.84	0.705	462.411
5.	3.0	1.54	31.20	10.46	48.34	0.747	598.649
6.	5.0	3.42	42.73	10.39	36.91	0.600	608.599
7.	2.5	1.24	48.32	10.09	31.61	0.524	268.214
8.	3.0	1.13	34.61	10.23	45.50	0.713	257.238
9.	3.5	1.69	33.70	10.56	45.74	0.716	422.545
10.	2.5	1.12	30.82	11.26	47.94	0.742	408.689
11.	2.0	0.98	49.31	10.34	30.36	0.505	366.751
12.	2.5	1.21	31.22	10.56	48.24	0.745	339.953
13.	3.5	1.47	36.42	10.56	43.04	0.682	290.657
14.	3.0	1.09	39.31	15.21	35.49	0.580	333.060
15.	3.5	2.11	33.21	10.07	46.73	0.728	523.144
16.	3.5	1.84	40.82	14.02	35.18	0.576	339.353
17.	2.7	1.34	38.31	7.64	44.06	0.695	313.692
18.	2.6	1.19	37.23	6.46	46.34	0.723	429.935
19.	3.1	1.22	32.11	8.01	49.89	0.764	459.901
20.	3.4	1.44	34.21	8.15	47.65	0.739	677.971
21.	2.9	1.18	28.92	14.74	46.36	0.723	763.198
22.	2.5	1.03	35.4	10.24	44.36	0.699	419.048
23.	2.1	1.03	34.20	10.22	45.58	0.714	544.495
24.	3.2	2.07	39.60	10.94	39.46	0.635	527.340
25.	2.8	1.39	32.40	7.86	49.74	0.763	498.240
26.	3.4	1.42	36.30	15.26	38.44	0.621	336.001
27.	2.9	1.27	32.40	10.22	47.38	0.735	408.817
28.	2.7	1.27	31.80	11.10	47.10	0.732	346.095
29.	2.3	1.03	36.30	10.21	43.49	0.688	286.799
			รวม				12547.957

ตารางที่ 4.10 มุมระหว่างแนวรากของต้นกระถินกับแนวตั้งของรากกระถินอายุต่างๆ

ตัวอย่าง ที่	$f_{tr} A_{tr} \sin\alpha/d$ (N/m <sup>2</sup> ) (3 เดือน)	$f_{tr} A_{tr} \sin\alpha/d$ (N/m <sup>2</sup> ) (5 เดือน)	$f_{tr} A_{tr} \sin\alpha/d$ (N/m <sup>2</sup> ) (7 เดือน)	$f_{tr} A_{tr} \sin\alpha/d$ (N/m <sup>2</sup> ) (9 เดือน)
1.	134.74	138.48	155.79	233.68
2.	127.16	130.70	147.03	220.55
3.	157.45	161.82	182.05	273.08
4.	137.47	141.29	158.95	238.43
5.	151.01	155.21	174.61	261.91
6.	186.42	191.60	215.55	323.32
7.	91.82	94.37	106.17	159.25
8.	83.43	85.75	96.46	144.70
9.	95.17	97.81	110.04	165.06
10.	117.82	121.09	136.23	204.34
11.	105.73	108.67	122.25	183.38
12.	128.63	132.20	148.73	223.09
13.	99.50	102.27	115.05	172.58
14.	87.02	89.43	100.61	150.92
15.	131.96	135.63	152.58	228.88
16.	94.77	97.41	109.58	164.37
17.	118.69	121.99	137.24	205.86
18.	120.07	123.49	138.83	208.25
19.	120.15	121.54	138.93	208.39
20.	118.26	97.76	136.73	205.10
21.	95.12	108.64	109.98	164.98
22.	105.71	156.29	122.22	183.33
23.	152.07	156.25	175.83	263.74
24.	152.03	129.17	175.78	263.67
25.	125.68	129.17	145.32	217.98
26.	93.84	96.44	108.50	162.75
27.	103.13	105.99	119.24	178.86
28.	118.48	121.77	137.00	205.49
29.	82.68	84.98	95.00	143.40
รวม	3,436.01	3,537.21	3,972.28	5959.34

จากตาราง 4.9 และ 4.10 ผลของมุมระหว่างแนวรากของต้นกระถินกับแนวตั้งของรากมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากและพื้นที่หน้าตัดรากกระถินเพิ่มขึ้นจะทำให้มุมระหว่างแนวรากของต้นกระถินกับแนวตั้งของรากเพิ่มขึ้นนั่นคือ ความสามารถในการรองรับแรงดึงของดินเพิ่มมากขึ้น แม้ว่าดินจะมีการหลุดออกจากกันเนื่องจากอิทธิพลภายนอกแต่รากของต้นกระถินจะ

สามารถรับแรงดึงของดินที่หลุดออกได้ตามความสามารถที่ขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากและพื้นที่หน้าตัดรากกระถินนั่นเอง ซึ่งเมื่อพิจารณาตารางที่ 4.9 ซึ่งให้เห็นว่าต้นกระถินที่มีอายุ 11-12 เดือน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรากขนาดใหญ่ย่อมสามารถรับแรงดึงหรือแรงลากของดินที่หลุดออกจากหน้าดินได้ดีกว่าต้นกระถินที่มีอายุน้อย ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรากเล็กกว่า

#### ผลการศึกษา Matric Suction ของดิน

ซึ่งเมื่อพิจารณาการรับแรงของรากต้นกระถินและพื้นที่ของรากกระถินในการรับแรงดึงของรากกระถินในช่วงอายุ 3, 5, 7, 9 และ 11 เดือน โดยแต่ละช่วงอายุ มีการแตกกิ่ง 3 แนว ดังนั้นเมื่อพิจารณาการแตกแรงทั้ง 3 แนวของรากกระถิน จะครอบคลุมพื้นที่รวมของรากกระถิน ซึ่งเมื่อนำข้อมูลนี้เข้าไปคำนวณ โดยสูตร  $\sum \frac{A_{tr} f_{tr} \sin \alpha}{d}$  ต่อ 1 ตารางเมตร ดังตารางที่ 4. 11 โดยการคำนวณจากสูตร

$$\mu_{ss} = \frac{[C + (\gamma h \cos^2 \beta \tan \phi)] + \left[ \sum \frac{A_{tr} f_{tr} \sin \alpha}{d} \right] - [\gamma h \sin \beta \cos \beta]}{\tan \phi}$$

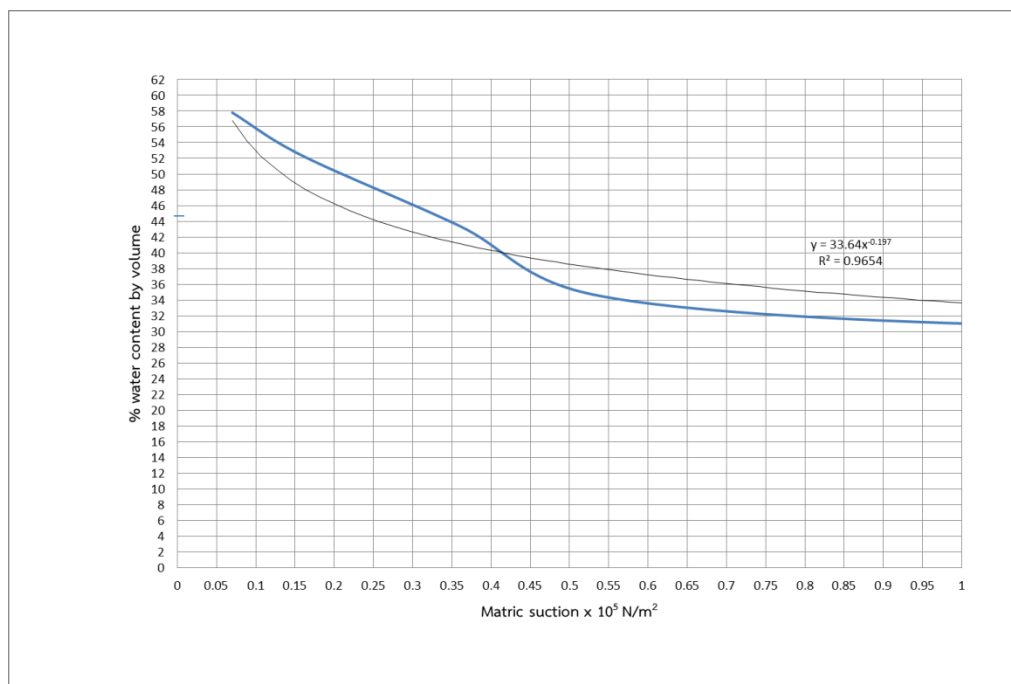
ตารางที่ 4.11 ค่า Matric suction ของดินต่อแต่ละช่วงอายุรากกระถินในพื้นที่สูง

ตัวอย่างที่	3 เดือน	5 เดือน	7 เดือน	9 เดือน	11 เดือน
1	40,448.22	40458.74	40484.10	40665.14	40811.39
2	49,945.86	49951.71	49978.67	49797.85	50487.74
3	42,789.27	42795.60	42824.93	43010.12	43306.16
4	63,975.34	63966.49	63996.87	64224.82	64520.37
5	36,716.35	36720.52	36739.79	36826.69	37160.88
6	26432.35	31034.33	31056.05	31149.43	31412.44
7	46167.77	46170.80	46184.81	46252.14	46377.25
8	37544.45	37949.92	37966.79	38079.97	38220.14
9	24858.21	24860.97	24873.72	24956.22	25199.60
10	33955.08	33958.15	33972.32	34055.91	34227.27
11	12504.08	12507.08	12520.95	12586.88	12770.63
12	41495.59	41501.72	41530.13	41658.88	41858.67
13	41231.53	41235.84	41255.75	41343.28	41529.29
14	48368.33	48371.67	48387.16	41847.19	48709.47
15	35871.73	35877.08	35901.84	35998.25	36443.04
16	11676.17	11680.33	11699.50	11778.77	12061.56
17	27196.46	27199.77	27215.07	27270.62	27392.14
18	60542.27	60547.65	60571.83	60644.84	61030.54
19	36281.73	36282.95	36298.23	36368.08	36580.21

ตารางที่ 4.11 ค่า Matric suction ของดินต่อแต่ละช่วงอายุรากกระถินในพื้นที่สูง (ต่อ)

ตัวอย่างที่	3 เดือน	5 เดือน	7 เดือน	9 เดือน	11 เดือน
20	41620.03	41592.72	41644.63	41725.75	42365.49
21	33108.94	33130.24	33132.35	33199.11	34161.66
22	32637.82	32680.97	32651.56	32690.52	32907.78
23	28691.51	28695.36	28713.37	28807.23	29052.37
24	12889.42	12865.08	12914.71	13009.17	13289.08
25	30830.91	32697.70	32723.71	32842.28	33292.92
26	39680.49	39683.13	39695.36	39755.77	39926.06
27	34079.14	34081.72	34454.27	34138.99	34355.35
28	31685.46	31691.07	31717.03	31817.30	32073.41
29	24772.70	24774.64	24783.11	24831.15	24945.19

ค่าที่ได้ในตารางที่ 4.11 ไปเทียบค่าในกราฟในภาพที่ 4.6 ระดับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินกับแรงดันในช่องว่างเม็ดดิน เพื่อหาค่า ร้อยละ water content ในแต่ละจุดทั้ง 29 จุดและความสามารถของรากกระถินในแต่ละช่วงอายุในการเพิ่มเสถียรภาพลาดดิน เพื่อลดการชะล้างพังทลายของหน้าดินในพื้นที่เกษตรกรรมบนที่สูง โดยขยายมาจากภาพที่ 4.2 ซึ่งจากการเปรียบเทียบกับกราฟดังกล่าวจะได้ค่าร้อยละของการ water content หรือความสามารถในการชะลอการชะล้างพังทลายของดินจากน้ำในดินที่เพิ่มขึ้นจากการชะหน้าดินของน้ำฝนและการพังหน้าดินตามหลักพลศาสตร์ของดิน



ภาพที่ 4.6 ปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรของรากต้นกระถินช่วงอายุต่างๆ เพื่อประเมินเสถียรภาพลาดดินในพื้นที่เกษตรกรรมพื้นที่สูง

ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่า Matric suction พบว่า รากต้นกระถินมีผลต่อปริมาณความชื้นในดินที่แตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของเสถียรภาพลาดดินเมื่อรากกระถินมีอายุเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาได้จากร้อยละของปริมาณความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุรากต้นกระถินสูงขึ้น จากตารางที่ 4.12 จะพบว่าแนวโน้มของร้อยละของปริมาณความชื้นในดินจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของรากต้นกระถินสูงขึ้น จากอายุ 3, 5, 7, 9 และ 11 เดือนตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ผลของร้อยละของปริมาณความชื้นในดินต่ออายุรากของต้นกระถินในพื้นที่เกษตรกรรม  
พื้นที่สูงในจังหวัดแพร่

ตัวอย่างที่	อายุรากกระถิน				
	3 เดือน (ร้อยละ)	5 เดือน (ร้อยละ)	7 เดือน (ร้อยละ)	9 เดือน (ร้อยละ)	11 เดือน (ร้อยละ)
1.	40.5	41.5	41.8	42.0	42.5
2.	35.2	35.8	35.8	35.8	38.1
3.	39.0	39.2	39.5	39.5	40.2
4.	33.5	33.4	33.6	33.7	34.0
5.	40.8	42.2	42.9	42.8	43.8
6.	44.7	45.8	46.0	45.8	46.1
7.	37.0	37.5	37.6	37.2	37.8
8.	37.4	42.0	42.0	42.0	42.8
9.	48.3	48.6	48.8	49.0	49.2
10.	41.5	41.8	44.8	44.8	44.8
11.	47.0	51.7	54.0	54.1	54.6
12.	40.0	40.0	40.0	40.2	40.7
13.	40.0	40.0	40.3	40.5	40.8
14.	36.0	36.8	36.8	41.2	41.6
15.	41.0	43.4	43.7	43.8	44.3
16.	51.0	54.3	54.6	54.8	55.2
17.	43.0	47.7	47.8	47.9	47.9
18.	31.0	33.8	33.8	34.0	34.8
19.	41.0	43.4	43.8	44.1	44.6
20.	40.0	40.0	40.0	40.2	40.9
21.	41.8	45.3	45.4	45.6	45.9
22.	42.0	45.3	45.5	45.8	46.2
23.	41.3	46.3	46.8	47.2	47.8
24.	47.0	54.1	54.1	54.5	55.1
25.	42.2	45.3	45.5	45.7	46.4
26.	41.1	41.3	41.5	41.6	42.2
27.	41.8	44.5	44.7	44.9	45.6
28.	42.2	45.6	45.8	46.3	47.0
29.	47.9	48.0	48.0	48.8	49.2