

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

การวิจัยเรื่องพฤติกรรมของกำลังรับแรงเฉือนในดินเหนียวที่เสริมกำลังด้วยรากหญ้าธูซี่และรากหญ้าแฝกสำหรับงานป้องกันลาดคันดิน จากการทดลองในสนามและในห้องปฏิบัติการสามารถทราบผลการวิจัยโดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน

การศึกษาดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ ได้นำมาจากบริเวณพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โดยเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวน (disturbed soil) จากการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม

คุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม	
Specific Gravity, G_s	2.70
Dry Unit Weight of Soil (g/cm^3)	1.55
Optimum Moisture Content (%)	21.60
Liquid Limit, LL (%)	49.63
Plastic Limit, PL (%)	22.44
Plasticity Index, PI (%)	27.19
Shrinkage Limit, SL (%)	14.22

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม (ต่อ)

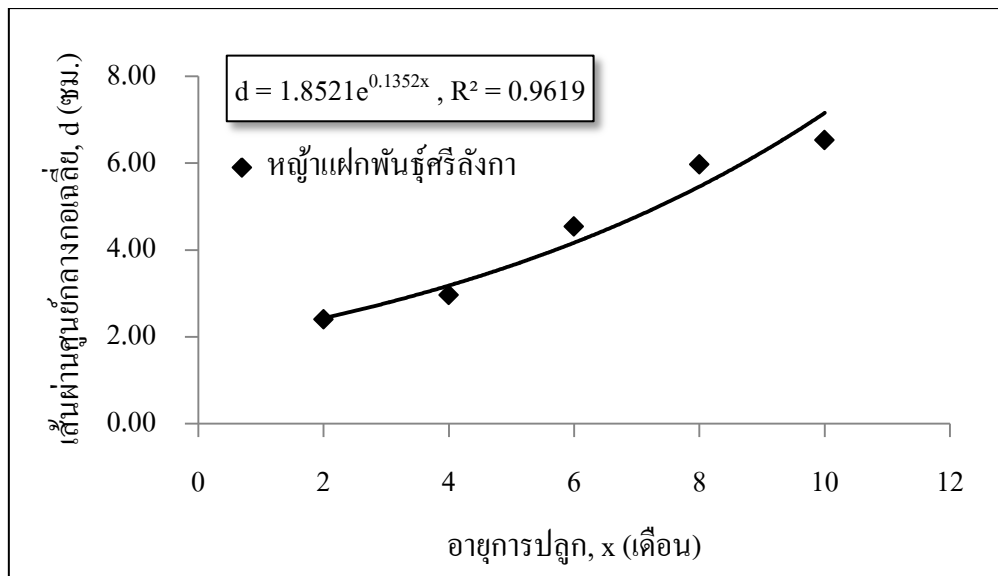
คุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม	
% Finer No. 4	100.00
% Finer No. 10	94.00
% Finer No. 20	85.00
% Finer No. 40	70.99
% Finer No. 100	62.20
% Finer No. 200	51.03
Classification	CL (ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ)

4.2 การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก

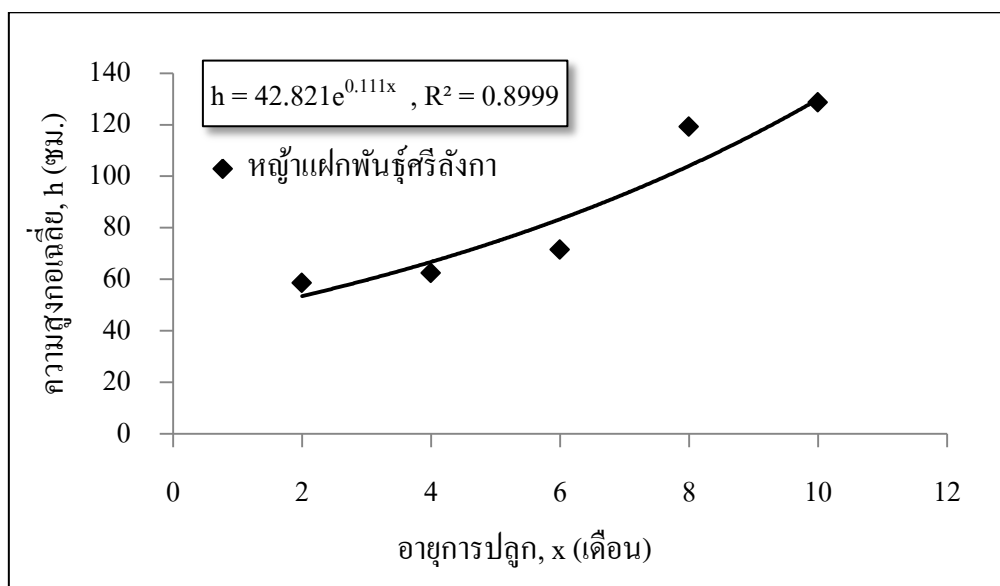
การศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกในสนาม ได้ทำการตรวจสอบการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงกอหญ้าแฝก ที่อายุการปลูก 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ซึ่งได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.1 และ 4.2

จากภาพที่ 4.1 พบว่า หญ้าแฝกที่อายุการปลูก 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกอเฉลี่ยเพิ่มขึ้นดังนี้ 2.40 , 2.96, 4.54, 5.97 และ 6.53 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นถดถอย ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกอเฉลี่ยกับอายุการปลูก ในรูปแบบของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล คือ $d = 1.8521e^{0.1352x}$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9619$

จากภาพที่ 4.2 พบว่า หญ้าแฝกที่อายุการปลูก 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน มีความสูงกอเฉลี่ยเพิ่มขึ้นดังนี้ 58.6 , 62.5, 71.5, 119.2 และ 128.7 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นถดถอย ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกอเฉลี่ยกับอายุการปลูก ในรูปแบบของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล คือ $h = 42.821e^{0.111x}$ โดยมีค่า $R^2 = 0.8999$



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกอเฉลี่ยกับอายุการปลูก



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกอเฉลี่ยกับอายุการปลูก

4.3 การศึกษาการเจริญเติบโตของหนักรูชี

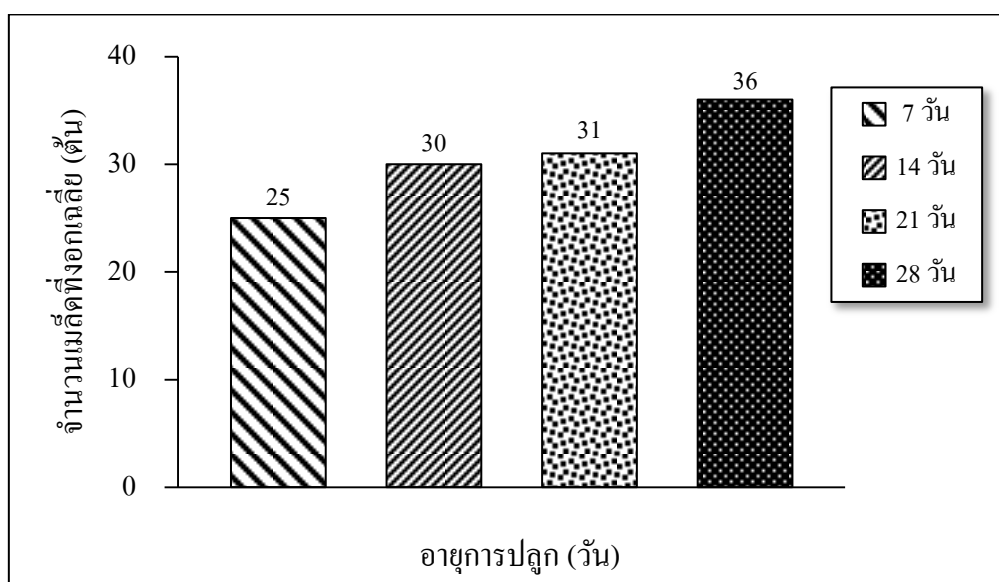
การศึกษาการเจริญเติบโตของหนักรูชีจะทำการศึกษาโดยการปลูกหนักรูชีในห้องปฏิบัติการที่อายุการปลูก 7, 14, 21 และ 28 วัน ทำการตรวจสอบการเจริญเติบโตของหนักรูชีโดยการวัดจำนวนต้นที่งอกและความสูงเหนือผิวดิน จากการศึกษาสามารถทราบผลได้ดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาจำนวนต้นหนักรูชีที่งอก

จากการทดลองโดยนำเมล็ดหนักรูชีปลูกในกระบอกตัวอย่างท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดที่ปลูก 90 เมล็ด ได้ผลการศึกษาจำนวนต้นหนักรูชีที่งอกดังนี้

ตารางที่ 4.2 จำนวนต้นหนักรูชีที่งอกในระยะเวลาของอายุการปลูกที่ต่างกัน

จำนวนระยะเวลาการปลูก (วัน)	ช่วงของจำนวนเมล็ดที่งอก (ต้น)
7	25±6
14	30±8
21	31±4
28	36±6



ภาพที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบจำนวนเมล็ดที่งอกเฉลี่ยกับอายุการปลูกของหนักรูชี

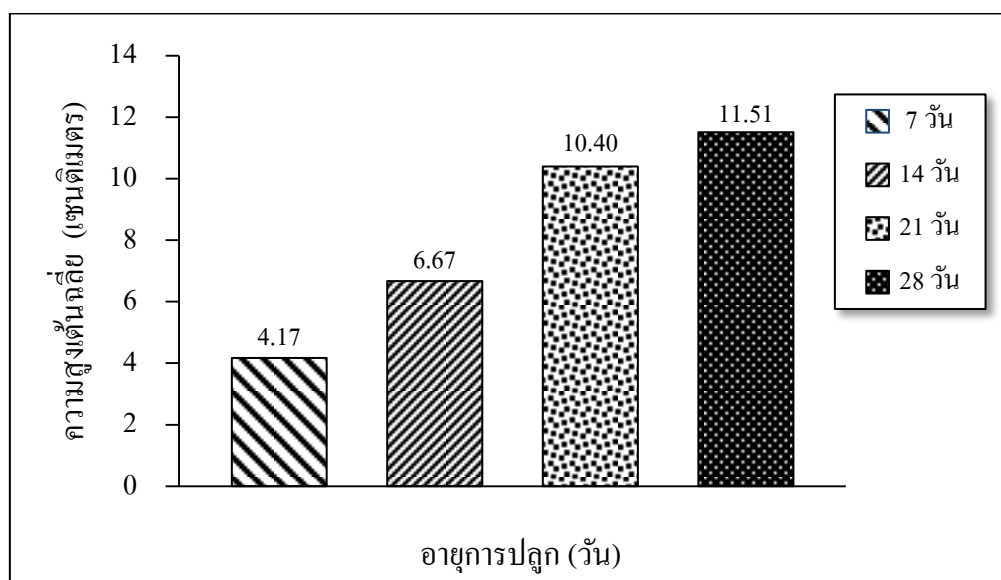
จากภาพที่ 4.3 พบว่า ในระยะเวลาการปลูกที่ 7, 14, 21 และ 28 วัน มีจำนวนต้นหนักรูซี่ที่งอกเฉลี่ยเพิ่มขึ้นดังนี้ 25, 30, 31 และ 36 ต้น ตามลำดับ

4.3.2 การศึกษาความสูงของหนักรูซี่เหนือผิวดิน

จากจำนวนต้นหนักรูซี่ที่งอกในกระบอกตัวอย่างท่อ PVC ได้นำมาทำการศึกษาความสูงของหนักรูซี่เหนือผิวดิน ซึ่งทราบผลการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 4.3 ความสูงลำต้นเหนือดินของหนักรูซี่ในระยะเวลาของอายุการปลูกที่ต่างกัน

จำนวนระยะเวลาการปลูก (วัน)	ความสูงของต้นหนักรูซี่เหนือผิวดิน	
	ช่วงความสูงเหนือดิน (เซนติเมตร)	จำนวนที่ทดสอบ (ต้น)
7	4.17±3.19	31
14	6.67±3.95	38
21	10.40±7.91	35
28	11.51±9.71	42



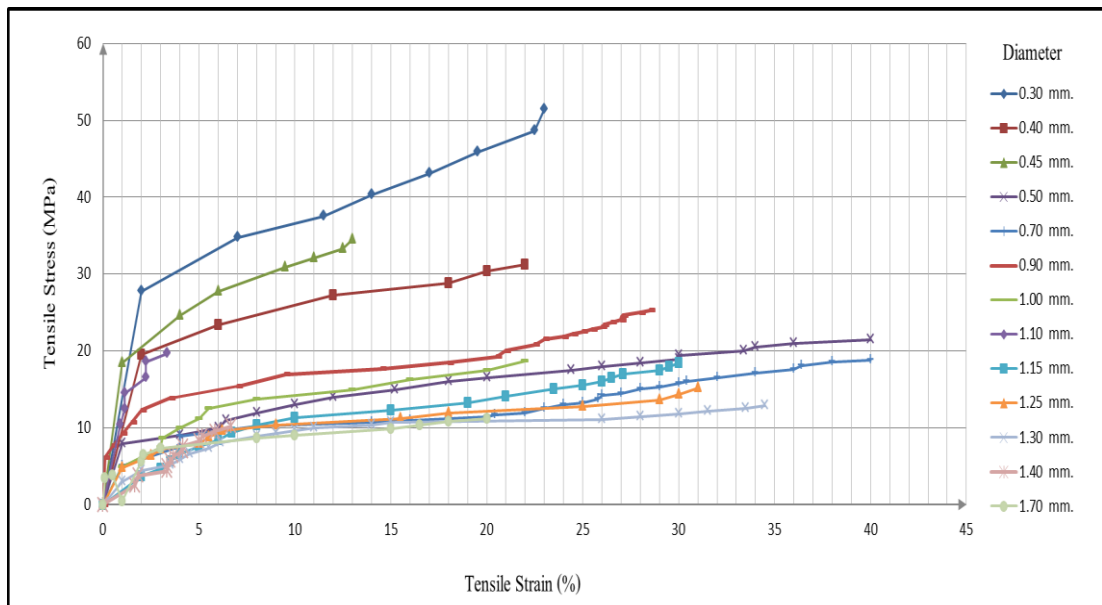
ภาพที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความสูงของหนักรูซี่เฉลี่ยกับอายุการปลูก

จากภาพที่ 4.4 พบว่า ในระยะเวลาการปลูกที่ 7, 14, 21 และ 28 วัน ความสูงลำต้นเหนือดินของหญ้าฐี่เฉลี่ยเพิ่มขึ้นดังนี้ 4.17, 6.67, 10.40 และ 11.51 เซนติเมตร ตามลำดับ

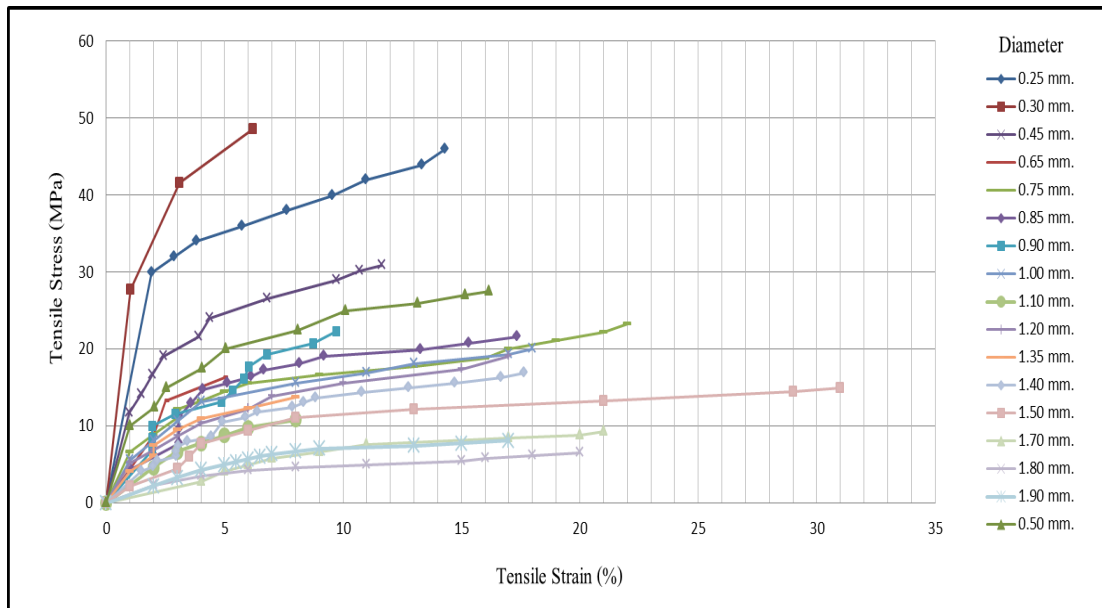
4.4 ผลการทดสอบแรงดึงรากหญ้าแฝก

การทดสอบแรงดึงรากหญ้าแฝก ได้ทำการทดสอบโดยนำตัวอย่างรากจากการปลูกในกระบอกท่อ PVC ในห้องปฏิบัติการมาทดสอบที่อายุการปลูก 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ตามลำดับ จากผลการทดสอบได้นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

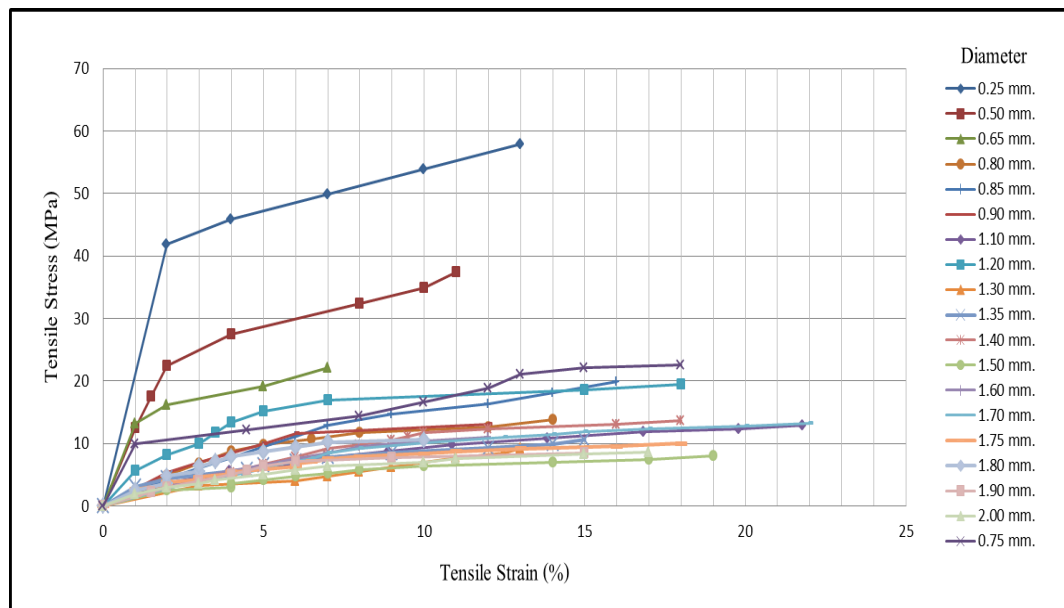
4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Stress) กับความเครียดดึง (Tensile Strain) ของรากหญ้าแฝกดังภาพที่ 4.5 ถึง 4.9 ตามลำดับ



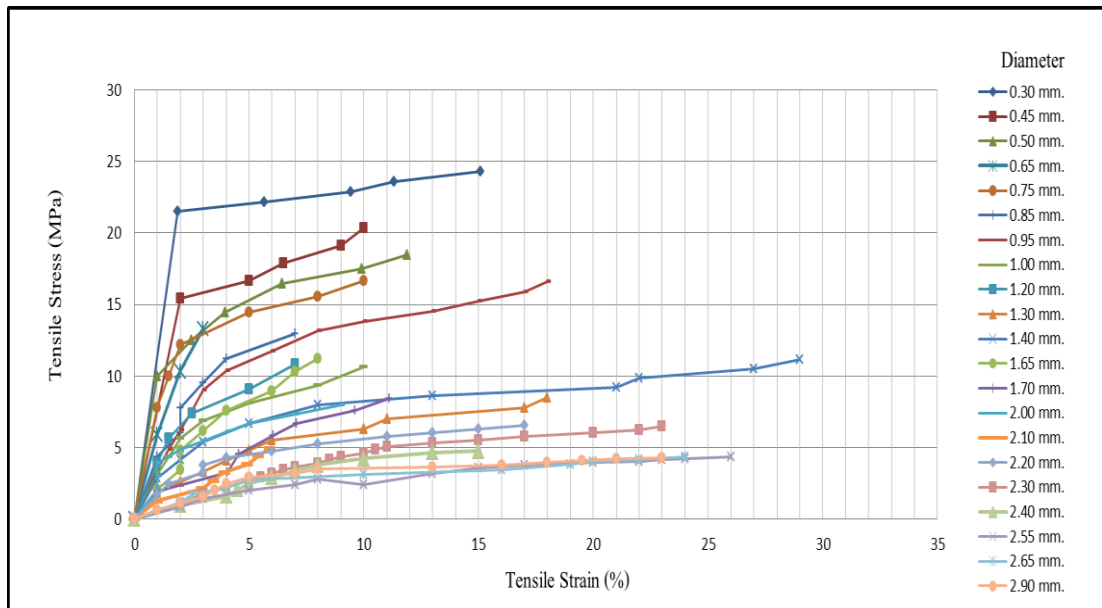
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรากหญ้าแฝกที่อายุการปลูกเดือนที่ 2 จำนวน 13 ตัวอย่าง



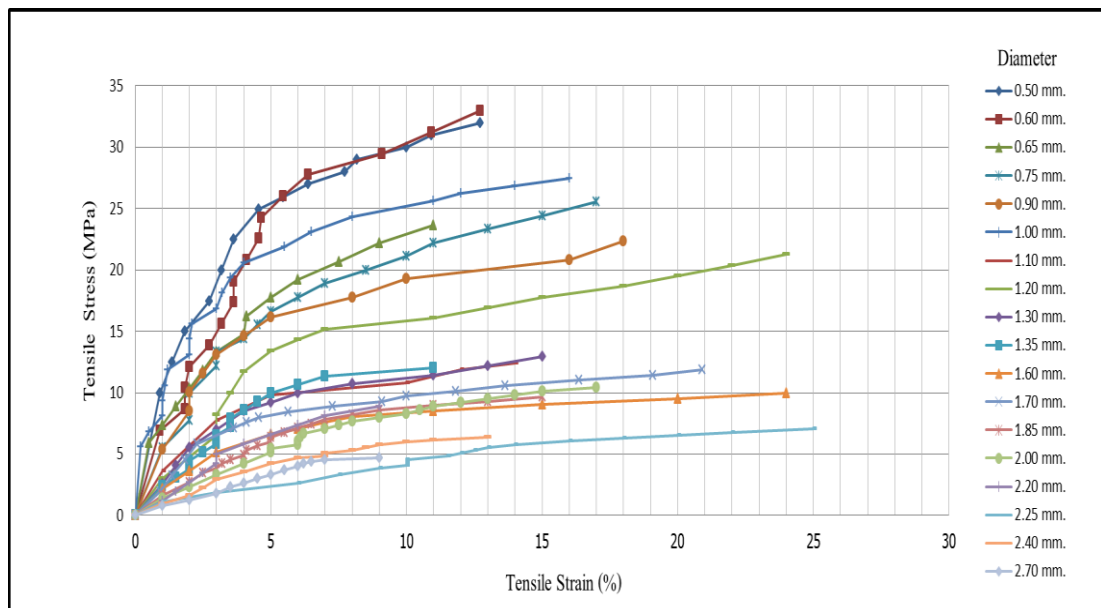
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรากหญ้าแฝกกลุ่ม
กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีเดือนที่ 4 จำนวน 17 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรากหญ้าแฝกกลุ่ม
กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีเดือนที่ 6 จำนวน 19 ตัวอย่าง



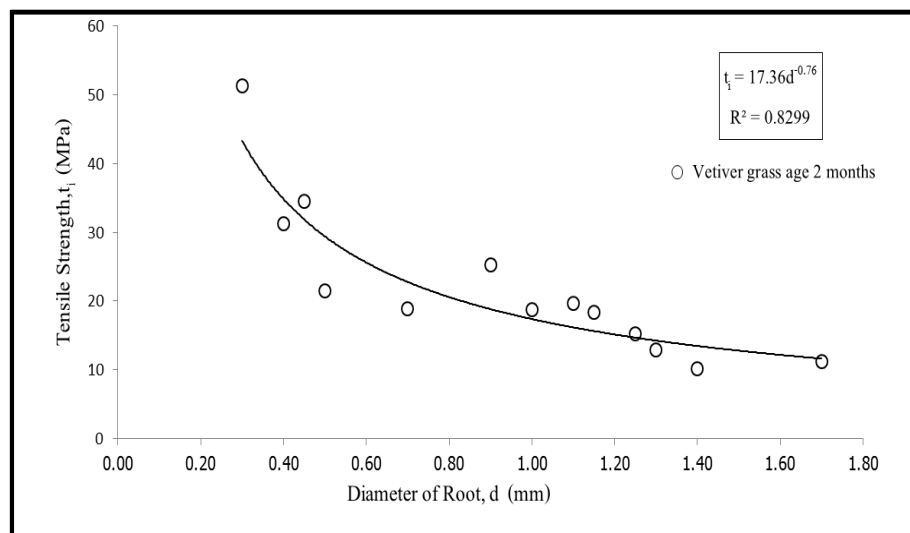
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรากหญ้าแฝกกลุ่ม
กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีเดือนที่ 8 จำนวน 21 ตัวอย่าง



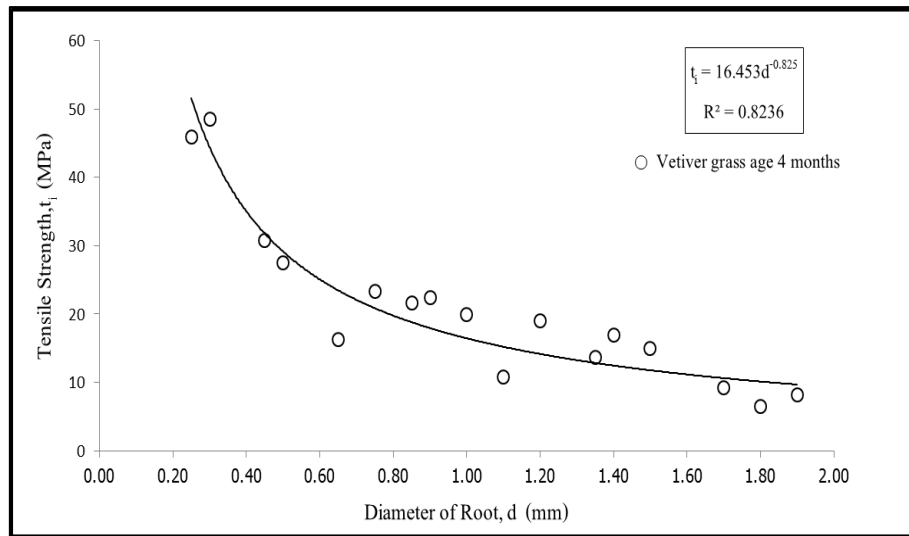
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรากหญ้าแฝกกลุ่ม
กลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีเดือนที่ 10 จำนวน 18 ตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.5 ถึง 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของหญ้าแฝกเดือนที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ตามลำดับ พบว่า ค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 3.00 - 40.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพิสัยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 0.25 - 2.90 มิลลิเมตร สามารถอธิบายได้ว่าในช่วงแรก ค่าความเครียด 0.00 - 8.00 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังรับแรงดึงมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากค่าความเครียดระหว่าง 8.00 - 40.00 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังรับแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามลำดับ

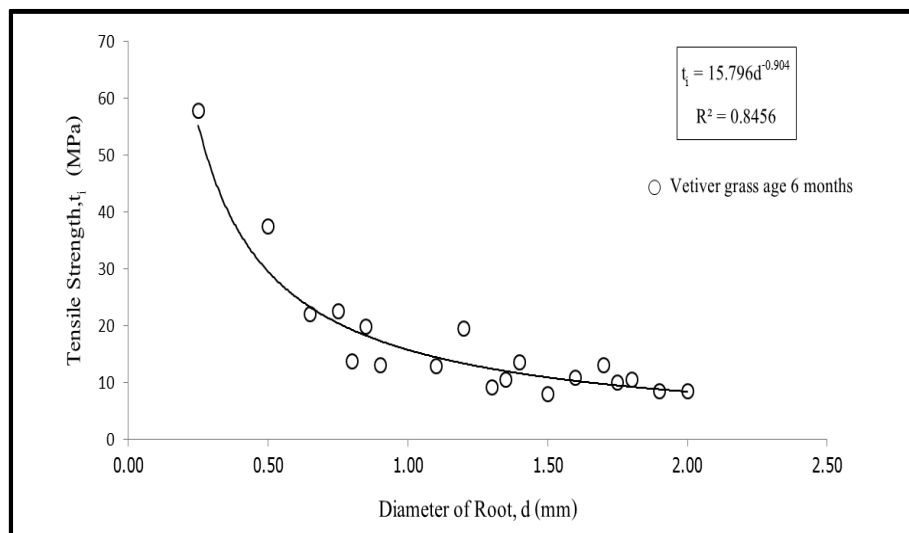
4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝก (Diameter of Root) ดังภาพที่ 4.10 ถึง 4.14 ตามลำดับ



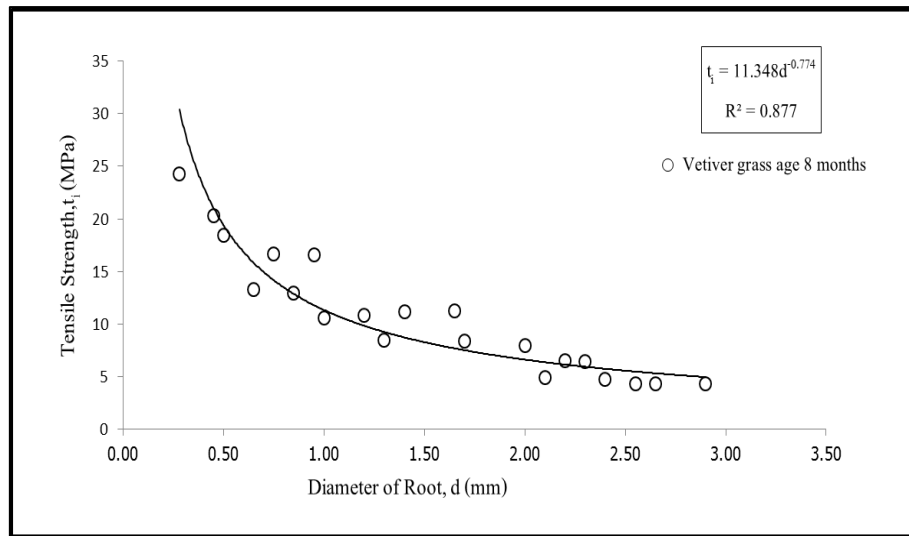
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ศรีลังกาเดือนที่ 2 จำนวน 13 ตัวอย่าง



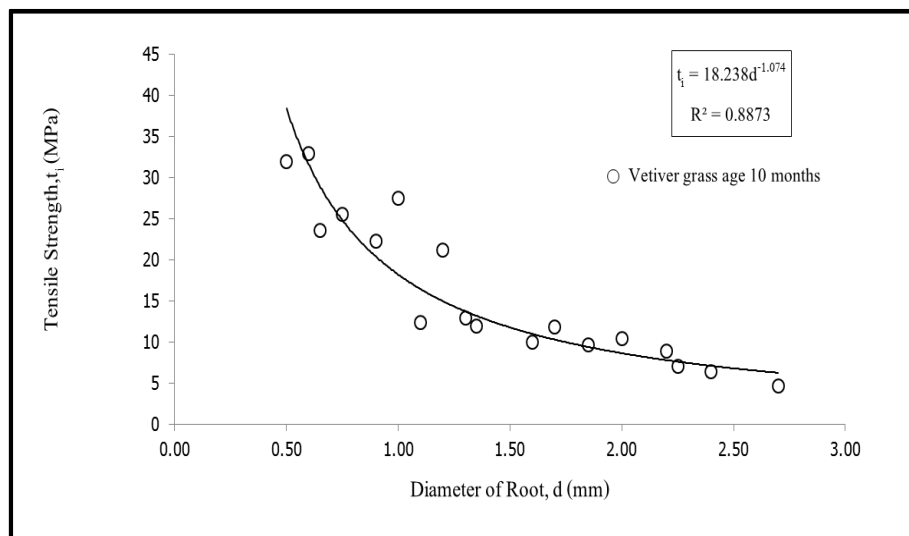
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก
หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ศรีลังกาเดือนที่ 4 จำนวน 17 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก
หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ศรีลังกาเดือนที่ 6 จำนวน 19 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ศรีลังกาเดือนที่ 8 จำนวน 21 ตัวอย่าง

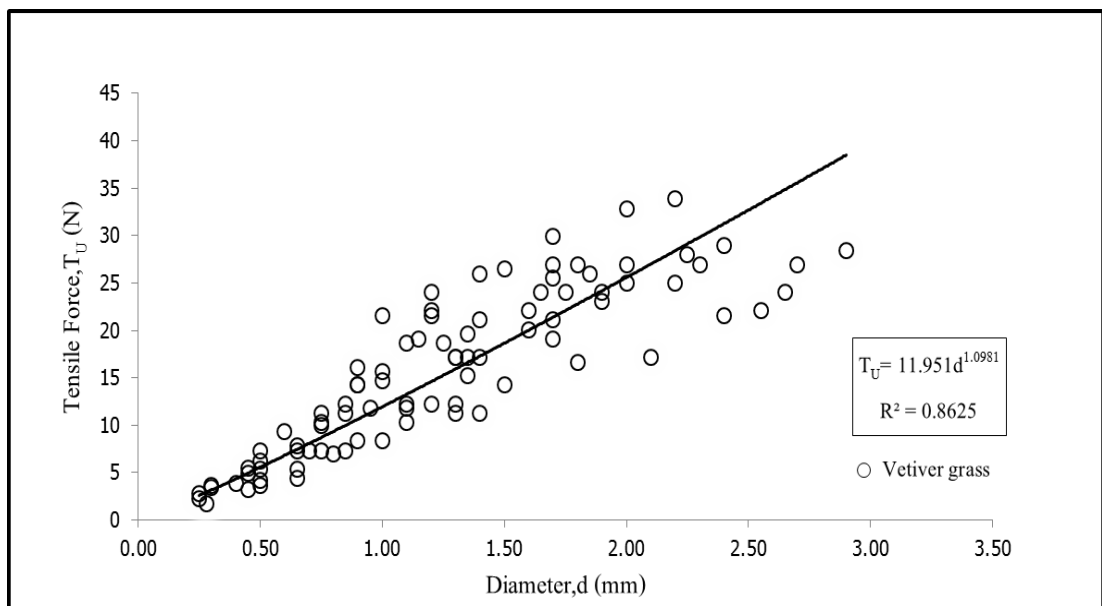


ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ศรีลังกาเดือนที่ 10 จำนวน 18 ตัวอย่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากที่อายุการปลูก 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้สมการเชิงถดถอยในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง พบว่า ค่ากำลังรับแรงดึงจะแปรผกผันตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝก

เมื่อวิเคราะห์ด้านคุณสมบัติของการรับแรงดึง และอายุของหญ้าแฝก พบว่า อายุของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหญ้าแฝกในแต่ละเดือนนั้น มีผลต่อค่ากำลังรับแรงดึงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าที่แตกต่างกันเป็นสำคัญ หากเรานำข้อมูลทั้งหมดของทุกเดือนมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ได้ผลดังหัวข้อที่ 4.4.3 ถึง 4.4.5

4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสูงสุด (Tensile Force) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากแฝก (Diameter of Root) รวมทั้งสิ้น 88 ตัวอย่าง ได้ผลดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสูงสุดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝก รวมทุกเดือนทั้งหมด 88 ตัวอย่าง

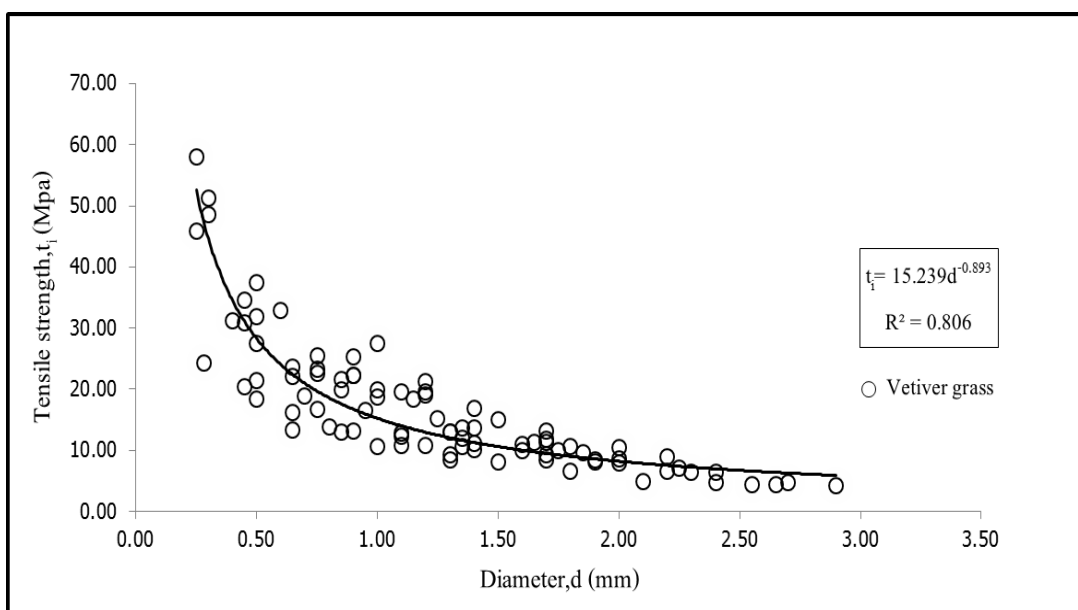
จากภาพที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสูงสุดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกลุ่มพันธุ์ศรีลังกาโดยใช้สมการเส้นถดถอย (Regression Analysis) ใน

รูปแบบสมการเลขยกกำลัง พบว่า ค่าแรงดึงของรากจะแปรผันตรงตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกและยังพบอีกว่า

1) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นถดถอย ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก ในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง คือ $T_U = 11.951d^{1.0981}$ และ $R^2 = 0.8625$

2) ค่าแรงดึงสูงสุดจากสมการเลขยกกำลังมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 2.6078–38.4737 นิวตัน โดยที่รากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 0.25 – 2.90 มิลลิเมตร ดังนั้นหากรากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.87 มิลลิเมตรจะมีค่าแรงดึงสูงสุดจากสมการเลขยกกำลังจะเท่ากับ 10.2563 นิวตัน

4.4.4 ความสัมพันธ์กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝก (Diameter of Root) รวมทั้งสิ้น 88 ตัวอย่าง ได้ผลดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกรวมทุกเดือน ทั้งหมด 88 ตัวอย่าง

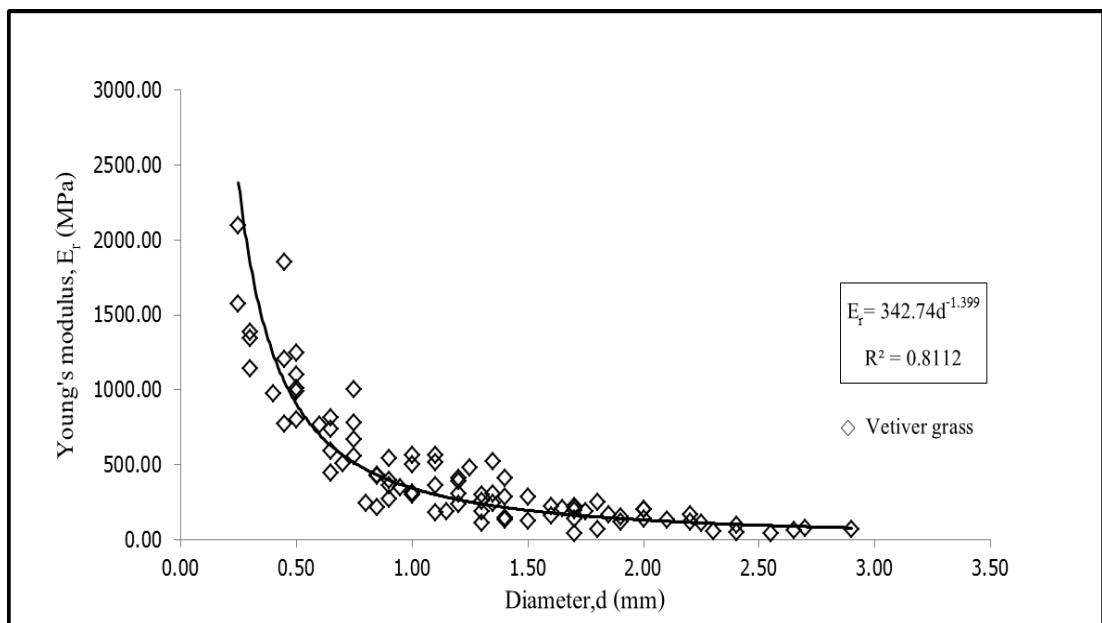
จากภาพที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกลุ่มพันธุ์ศรีลังกา โดยใช้สมการเชิงถดถอยในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง

พบว่า ค่ากำลังรับแรงดึงของรากจะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝก ซึ่งเป็นผลมาจากช่วงของค่าพื้นที่หน้าตัดของรากหญ้าแฝกมีระยะห่างที่มาก แต่ช่วงของค่าแรงดึงสูงสุดที่รากหญ้าแฝกได้รับนั้นมีระยะห่างเพียงเล็กน้อย และยังพบอีกว่า

1) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นถดถอย ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก ในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง นั่นคือ $t_r = 15.239d^{-0.893}$ และ $R^2 = 0.8060$

2) ค่าความแข็งแรงเนื่องมาจากแรงดึง จากสมการเลขยกกำลังมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 52.5528 – 5.8889 เมกะปาสคาล โดยที่รากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 0.25 – 2.90 มิลลิเมตร ถ้ารากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.87 มิลลิเมตรจะมีค่ากำลังรับแรงดึงจากสมการเลขยกกำลังเป็น 17.2570 เมกะปาสคาล

4.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Young's modulus) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝก (Diameter of Root) รวมทั้งสิ้น 88 ตัวอย่าง ได้ผลดังภาพที่ 4.17



หมายเหตุ : ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น วิเคราะห์มาจากค่าโมดูลัสสัมผัสเบื้องต้น (Initial Tangent Modulus)

ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของรากหญ้าแฝก
รวมทุกเดือน ทั้งหมด 88 ตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกลุ่มพันธุ์ศรีลังกา โดยใช้สมการเส้นถดถอยในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง พบว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของรากจะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝก ซึ่งเป็นผลมาจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแปรผันตรงตามค่ากำลังรับแรงดึงที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากที่มีขนาดเล็กลง เมื่อวิเคราะห์จากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่พิจารณาในช่วงของโมดูลัสสัมผัสเบื้องต้น (Initial Tangent Modulus) และยังพบอีกว่า

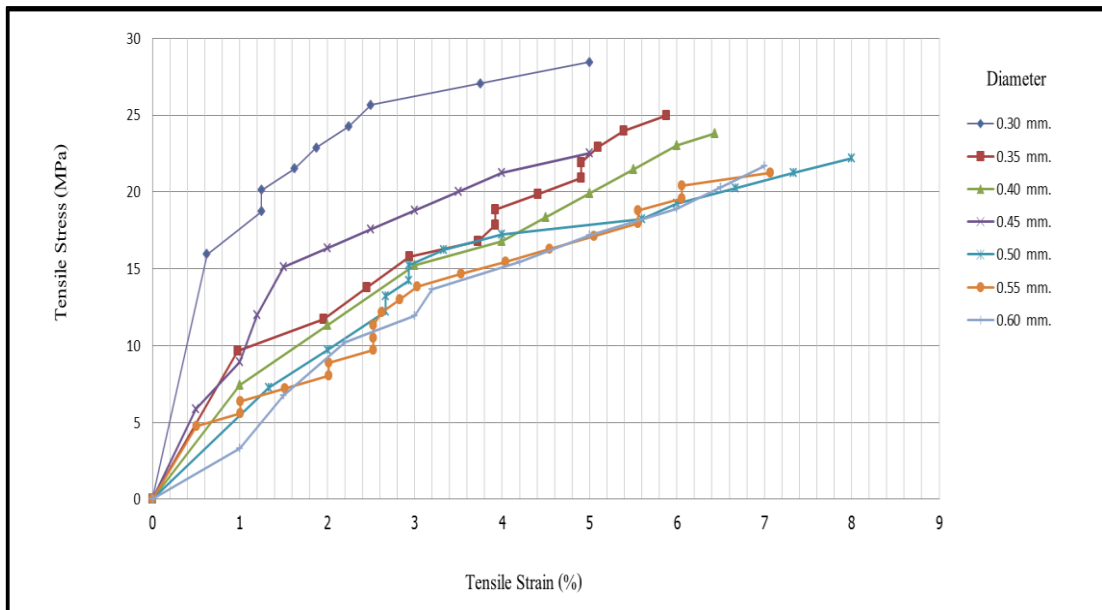
1) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นถดถอย ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก ในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง นั่นคือ $E_r = 342.74d^{-1.399}$ และ $R^2 = 0.8112$

2) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากสมการเลขยกกำลังมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 2383.6732– 77.2805 เมกะปาสคาล โดยที่รากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 0.25 – 2.90 มิลลิเมตร ถ้าวางรากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.87 มิลลิเมตรจะมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากสมการเลขยกกำลังเป็น 416.4639 เมกะปาสคาล

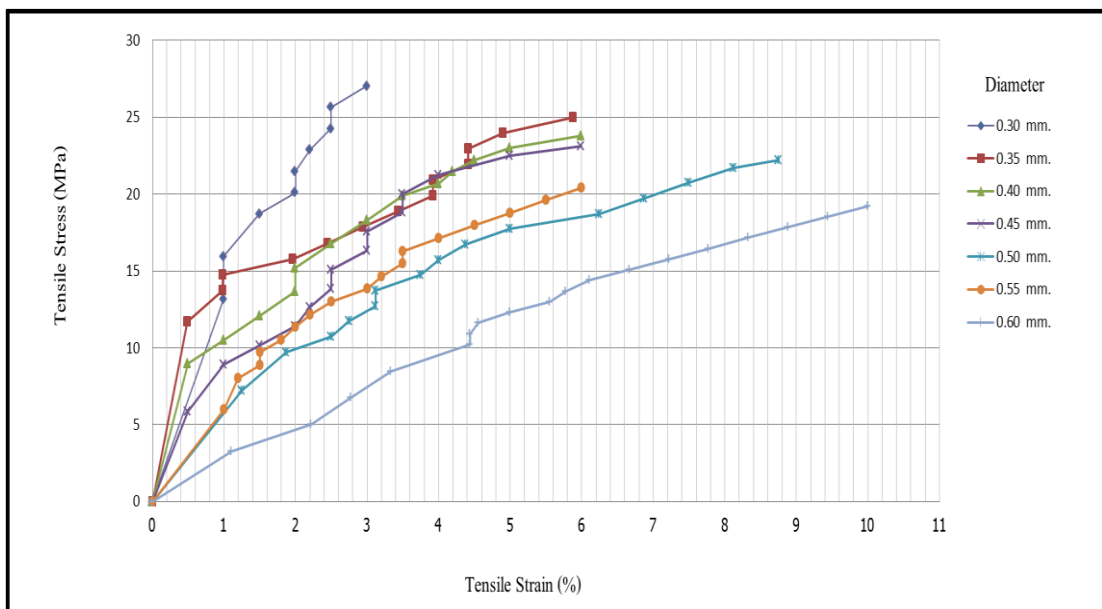
4.5 ผลการทดสอบแรงดึงรากหญ้ารูซี่

การทดสอบแรงดึงรากหญ้ารูซี่ ได้ทำการทดสอบโดยนำตัวอย่างรากจากการปลูกในกระบอกท่อ PVC ในห้องปฏิบัติการมาทดสอบที่อายุการปลูก 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ตามลำดับ จากผลการทดสอบได้นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

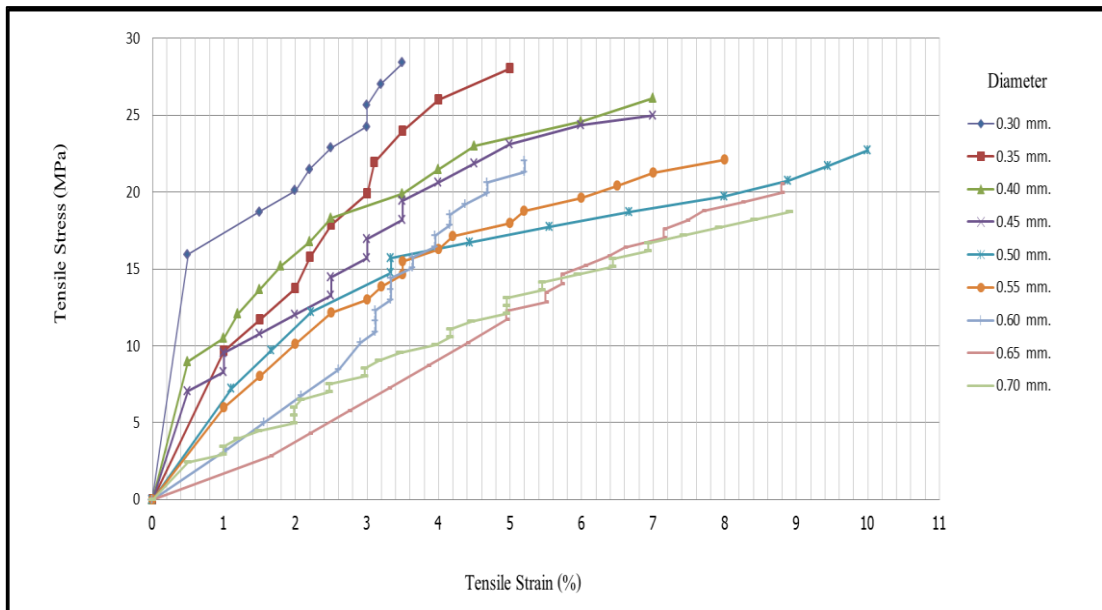
4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Stress) กับความเครียดดึง (Tensile Strain) ของรากหญ้ารูซี่ ดังภาพที่ 4.14 ถึง 4.18



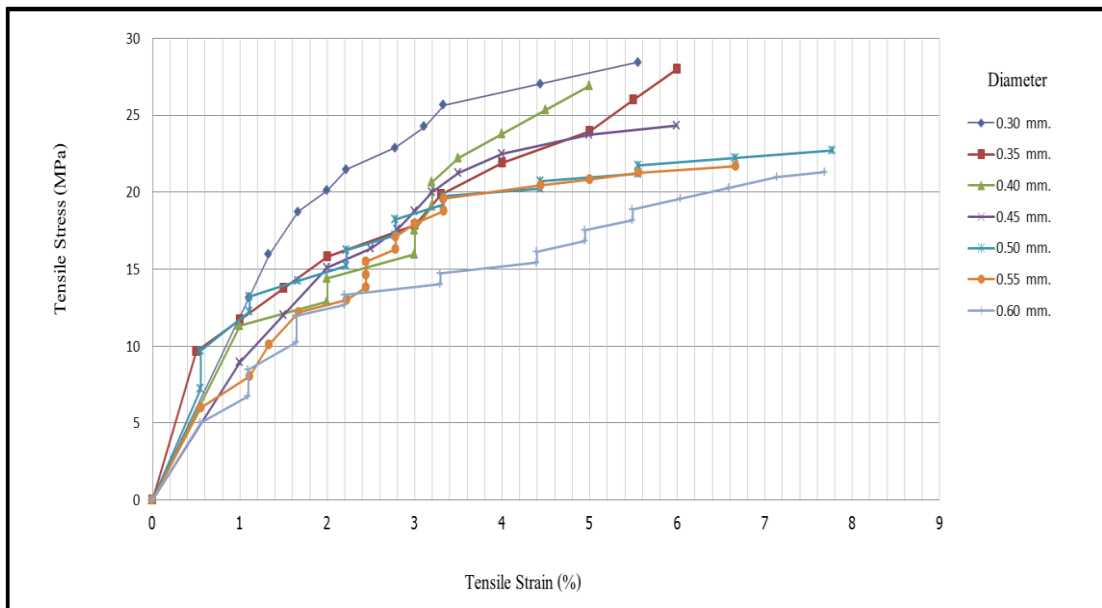
ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรากหญ้ารูซี่
เดือนที่ 2 จำนวน 7 ตัวอย่าง



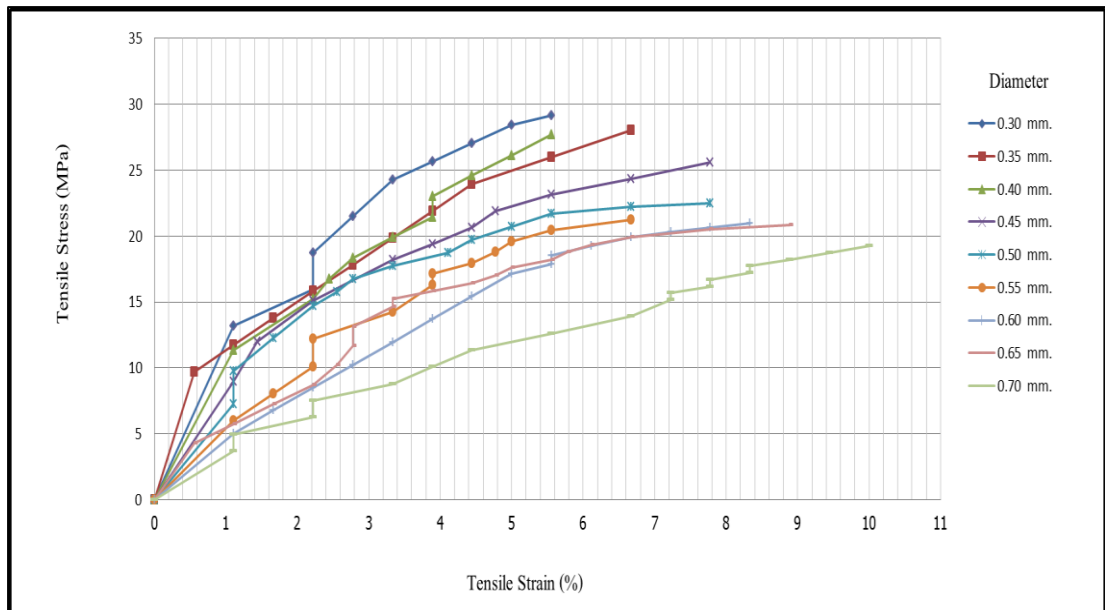
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรากหญ้ารูซี่
เดือนที่ 4 จำนวน 7 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรอกหิ้วรูซี่
เดือนที่ 6 จำนวน 9 ตัวอย่าง



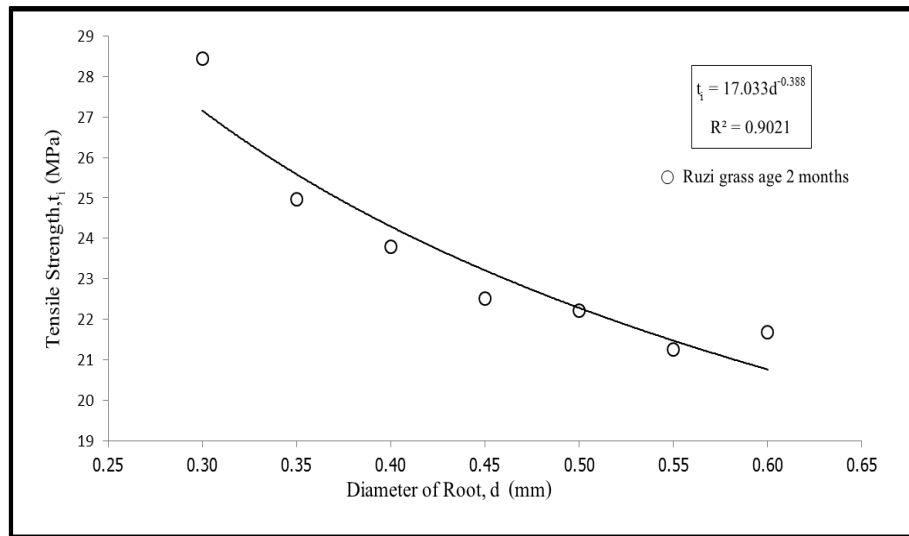
ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรอกหิ้วรูซี่
เดือนที่ 8 จำนวน 7 ตัวอย่าง



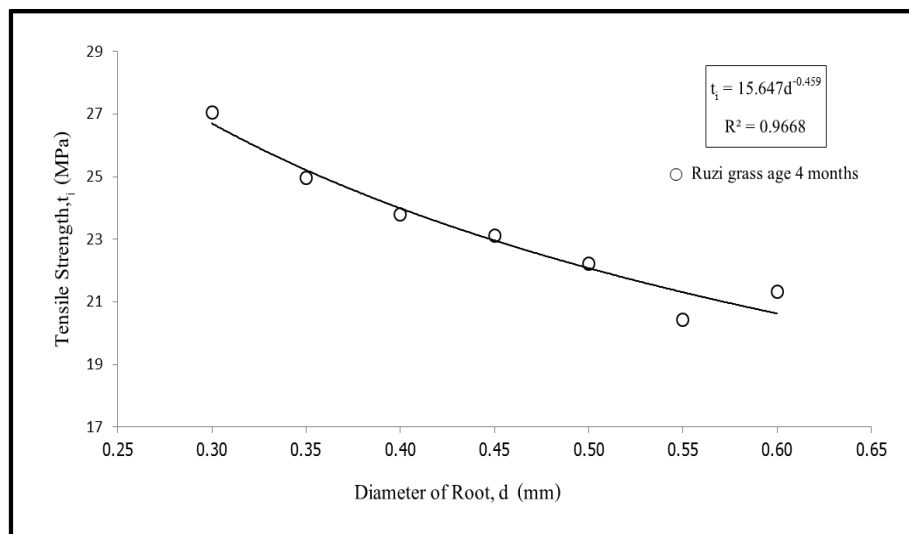
ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของรากหญ้ารัฐ
เดือนที่ 10 จำนวน 9 ตัวอย่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับความเครียดของหญ้ารัฐเดือนที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ตามลำดับ พบว่า ค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 3.00 - 10.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพิสัยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 0.30 - 0.70 มิลลิเมตร สามารถอธิบายได้ว่าในช่วงแรก ค่าความเครียด 0.00 – 2.00 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังรับแรงดึงมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากค่าความเครียดระหว่าง 2.00 – 10.00 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังรับแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามลำดับ

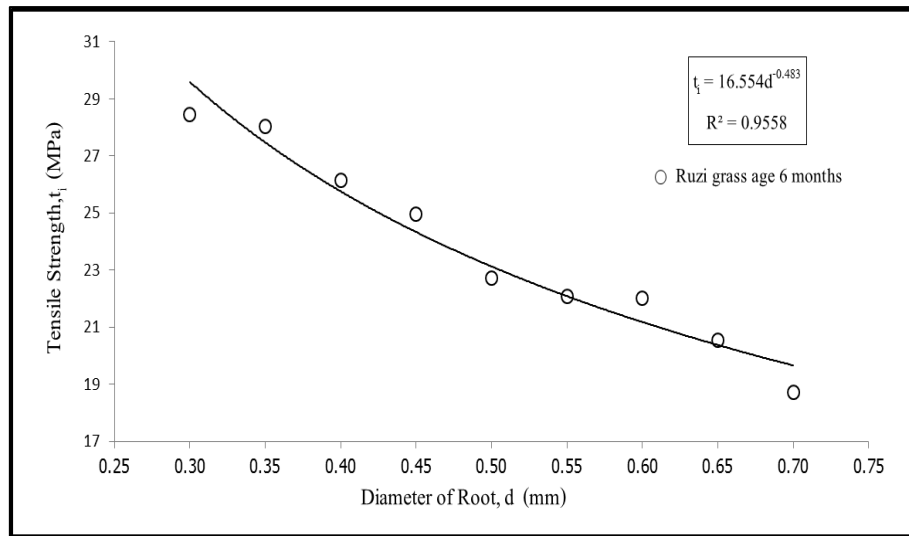
4.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารัฐ (Diameter of Root) ดังภาพที่ 4.19 ถึง 4.23



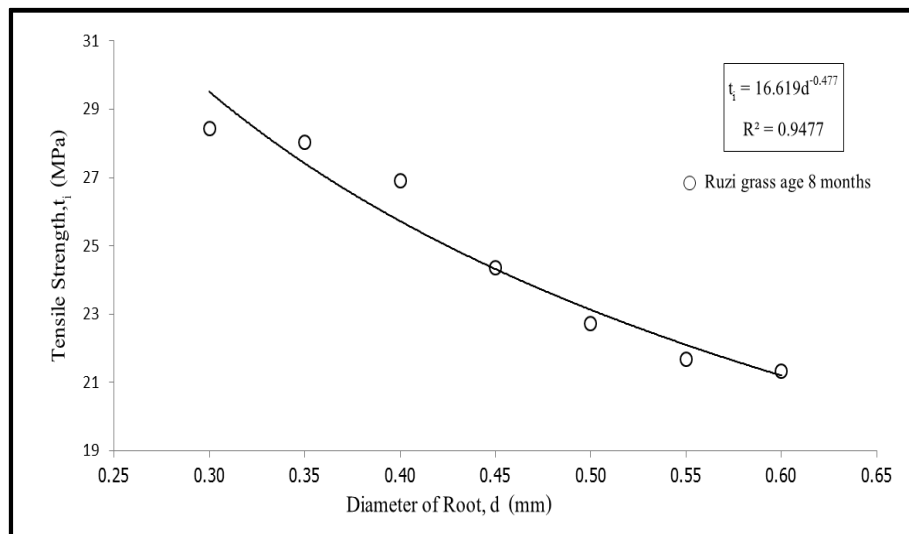
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก
หญ้ารูซี่เดือนที่ 2 จำนวน 7 ตัวอย่าง



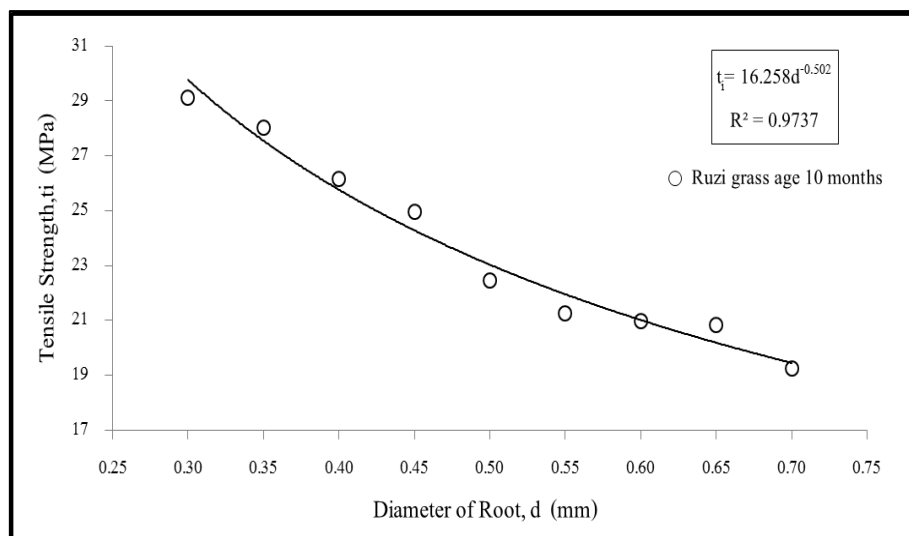
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก
หญ้ารูซี่เดือนที่ 4 จำนวน 7 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่เดือนที่ 6 จำนวน 9 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่เดือนที่ 8 จำนวน 7 ตัวอย่าง

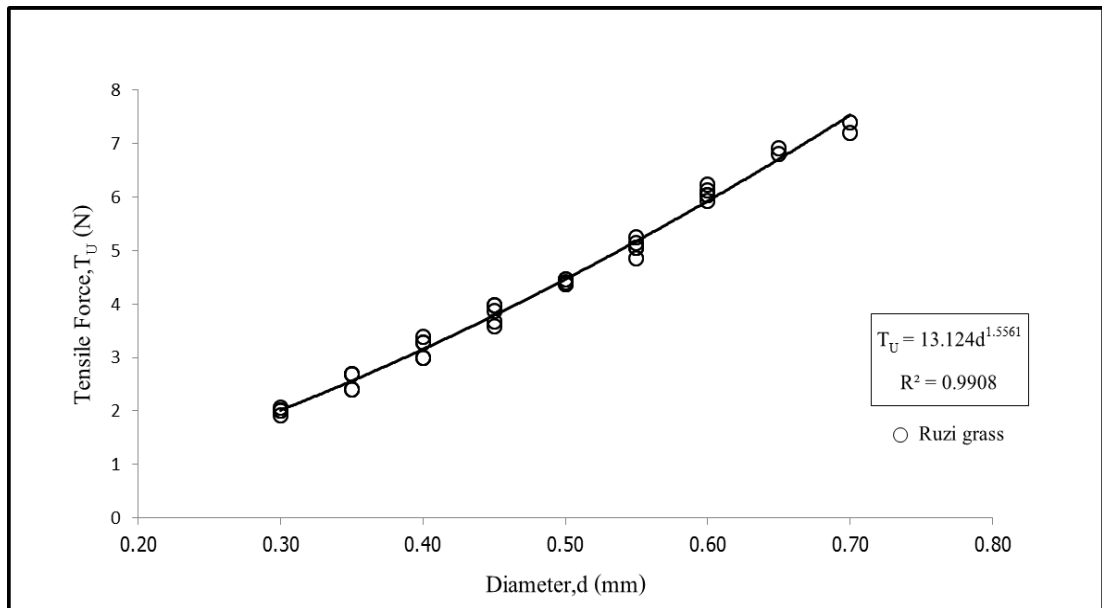


ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่เดือนที่ 10 จำนวน 9 ตัวอย่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากที่อายุการปลูก 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้สมการเชิงถดถอยในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง พบว่า ค่ากำลังรับแรงดึงจะแปรผกผันตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่

เมื่อวิเคราะห์ด้านคุณสมบัติของการรับแรงดึง และอายุของหญ้ารูซี่ พบว่า อายุของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหญ้าแฝกในแต่ละเดือนนั้น มีผลต่อค่ากำลังรับแรงดึงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าที่แตกต่างกันเป็นสำคัญ หากเรานำข้อมูลทั้งหมดของทุกเดือนมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ได้ผลดังหัวข้อที่ 4.5.3 ถึง 4.5.5

4.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสูงสุด (Tensile Force) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่ (Diameter of Root) รวมทั้งสิ้น 39 ตัวอย่าง ได้ผลดังภาพที่ 4.24



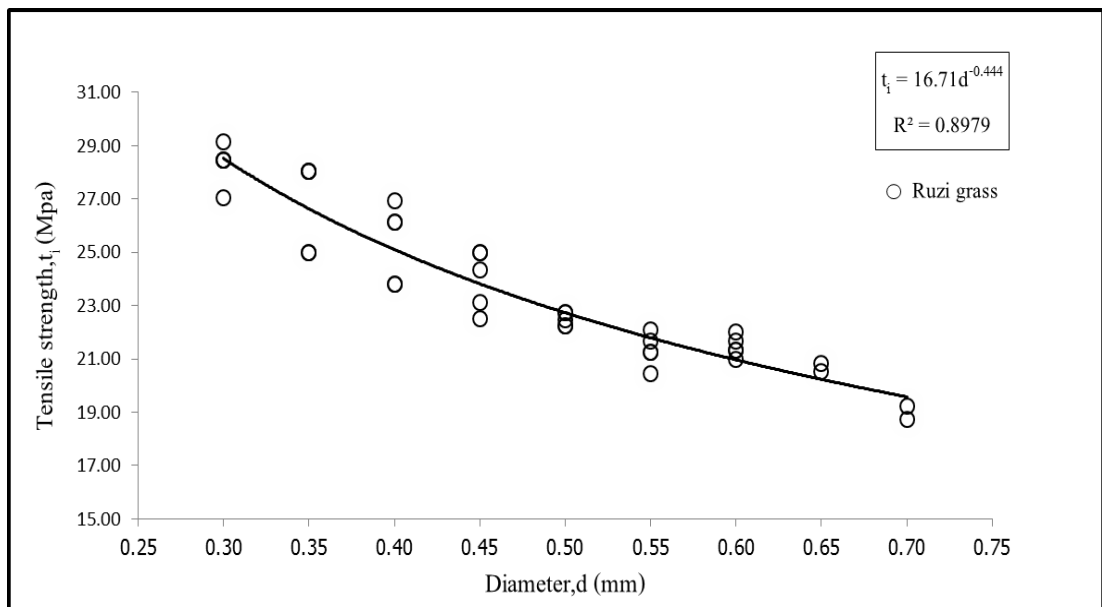
ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสูงสุดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่
รวมทุกเดือน ทั้งหมด 39 ตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสูงสุดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่โดยใช้สมการเส้นถดถอย(Regression Analysis) ในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง พบว่า ค่าแรงดึงของรากจะแปรผันตรงตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่และยังพบอีกด้วยว่า

1) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นถดถอย ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก ในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง คือ $T_U = 13.124d^{1.5561}$ และ $R^2 = 0.9908$

2) ค่าแรงดึงสูงสุดจากสมการเลขยกกำลังมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 2.0156– 7.5339 นิวตัน โดยที่รากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 0.30 – 0.70 มิลลิเมตร ดังนั้นหากรากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.53 มิลลิเมตรจะมีค่าแรงดึงสูงสุดจากสมการเลขยกกำลังจะเท่ากับ 4.8866 นิวตัน

4.5.4 ความสัมพันธ์กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่ (Diameter of Root) รวมทั้งสิ้น 39 ตัวอย่าง ได้ผลดังภาพที่ 4.25



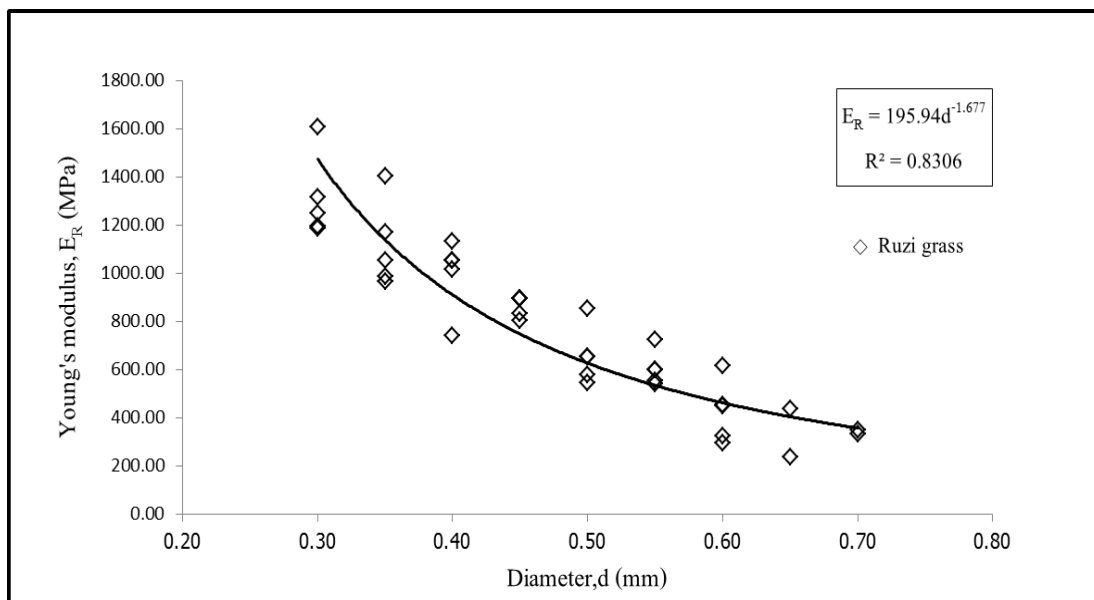
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่รวมทุกเดือน ทั้งหมด 39 ตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่ โดยใช้สมการเชิงถดถอยในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง พบว่า ค่ากำลังรับแรงดึงของรากจะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่ ซึ่งเป็นผลมาจากช่วงของค่าพื้นที่หน้าตัดของรากหญ้ารูซี่มีระยะห่างที่มาก แต่ช่วงของค่าแรงดึงสูงสุดนั้นมีระยะห่างเพียงเล็กน้อย และยังพบอีกว่า

1) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นถดถอย ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก ในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง นั่นคือ $t_t = 16.71d^{-0.444}$ และ $R^2 = 0.8979$

2) ค่าความแข็งแรงเนื่องมาจากแรงดึง จากสมการเลขยกกำลังมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 28.5190 – 19.5773 เมกะปาสกาล โดยที่รากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 0.30 – 0.70 มิลลิเมตร ถ้ารากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.53 มิลลิเมตรจะมีค่ากำลังรับแรงดึงจากสมการเลขยกกำลังเป็น 22.1512 เมกะปาสกาล

4.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Young's modulus) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่ (Diameter of Root) รวมทั้งสิ้น 39 ตัวอย่าง ได้ผลดังภาพที่ 4.26



หมายเหตุ : ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น วิเคราะห์หามาจากค่าโมดูลัสสัมผัสเบื้องต้น (Initial Tangent Modulus)

ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของรากหญ้ารูซี่
รวมทุกเดือน ทั้งหมด 39 ตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่ โดยใช้สมการเส้นถดถอยในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง พบว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของรากจะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้ารูซี่ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแปรผันตรงตามค่ากำลังรับแรงดึงที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากที่มีขนาดเล็กลง เมื่อวิเคราะห์จากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่พิจารณาในช่วงของโมดูลัสสัมผัสเบื้องต้น(Initial Tangent Modulus) และยังพบอีกว่า

1) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นถดถอย ซึ่งสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของราก ในรูปแบบสมการเลขยกกำลัง นั่นคือ $E_R = 195.94d^{-1.677}$ และ $R^2 = 0.8306$

2) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากสมการเลขยกกำลังมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 1475.6751– 356.3638 เมกะปาสคาลโดยที่รากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 0.30 – 0.70 มิลลิเมตร ถ้าวากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.53 มิลลิเมตรจะมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากสมการเลขยกกำลังเป็น 568.2147 เมกะปาสคาล

4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินในสนาม

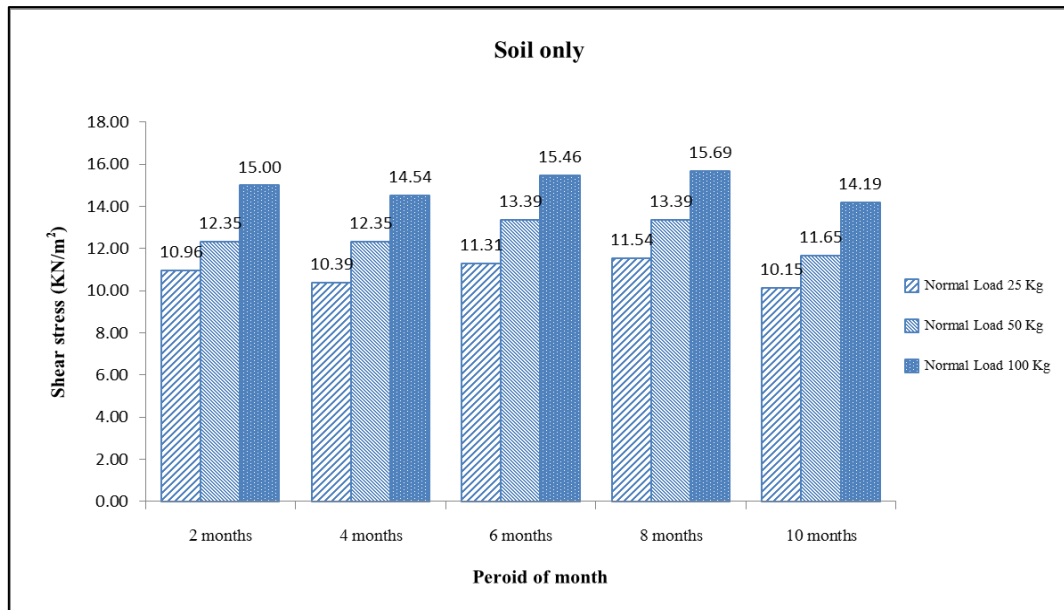
จากผลการทดสอบแรงเฉือนของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก ดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่ และดินที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยรากหญ้า ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตร กดทับด้วยน้ำหนักคงที่ 25, 50 และ 100 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนกับอายุการปลูกในสนามที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือน ตามลำดับพบว่า

จากภาพที่ 4.27 กำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยรากหญ้า มีค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 25 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 10.15 ถึง 11.54 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 50 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 11.65 ถึง 13.39 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 100 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 14.19 ถึง 15.69 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

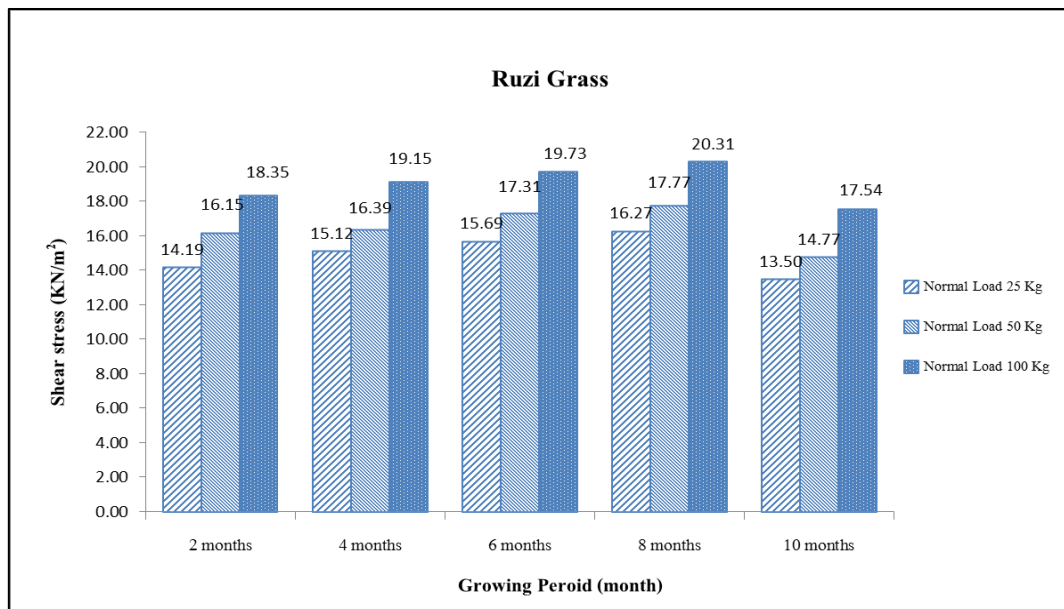
จากภาพที่ 4.28 กำลังรับแรงเฉือนของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่ มีค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 25 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 13.50 ถึง 16.27 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 50 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 14.77 ถึง 17.77 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 100 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 17.54 ถึง 20.31 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

จากภาพที่ 4.29 กำลังรับแรงเฉือนของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก มีค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 25 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 15.23 ถึง 20.19 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 50 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 17.19 ถึง 22.04 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ค่าพิสัยสำหรับน้ำหนักคงที่ 100 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 19.39 ถึง 24.35 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

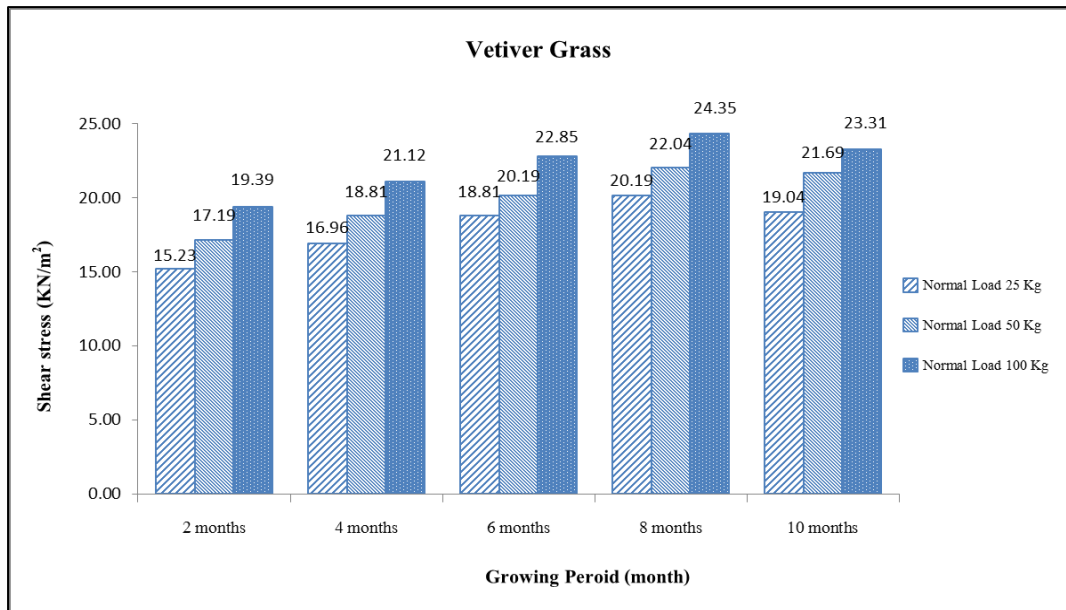
ดังนั้นการเสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝกจะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินมากกว่ากรณีดินเสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่และดินที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยรากหญ้า ส่วนการเสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่ก็ยังคงมีค่ากำลังรับแรงเฉือนมากกว่าดินที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยรากหญ้า



ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่ได้เสริมแรงกับอายุการปลูกในสนาม

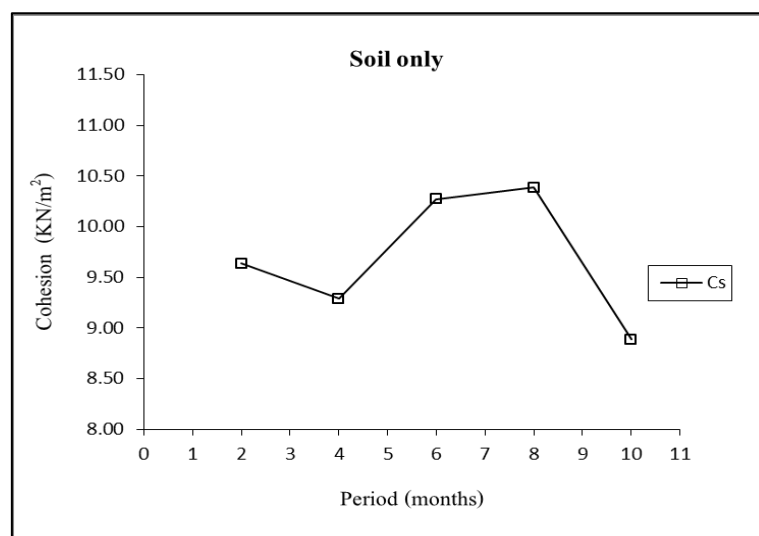


ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่กับอายุการปลูกในสนาม

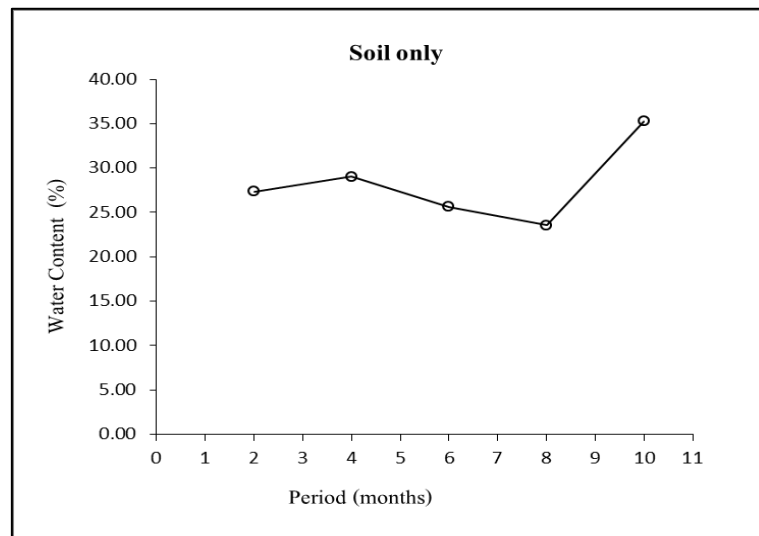


ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝกกับอายุการปลูกในสนาม

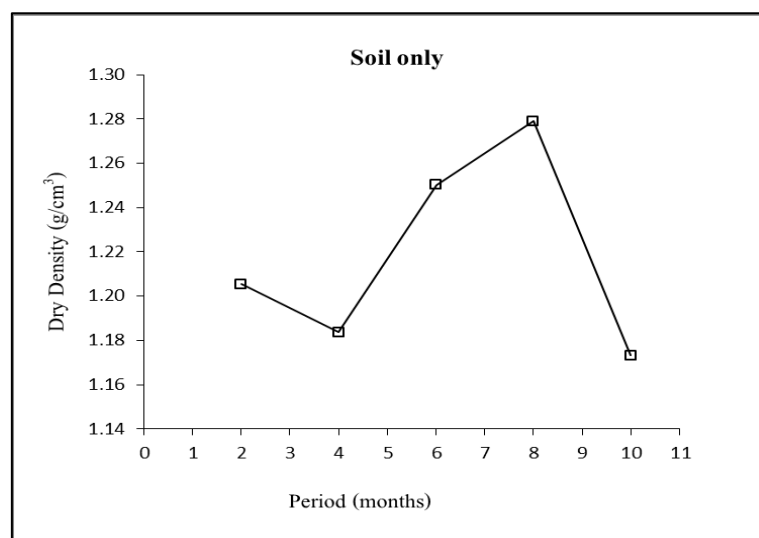
จากผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนามที่ระดับความลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตร กดทับด้วยน้ำหนักคงที่ 25, 50 และ 100 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเชื่อมแน่นของเม็ดดิน (Cohesion) กับอายุการปลูกในสนามที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 เดือนตามลำดับ ซึ่งระบุความสอดคล้องกับค่าปริมาณความชื้นในมวลดินและค่าความหนาแน่นแห้ง ได้ดังภาพที่ 4.30 ถึง 4.32



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเชื่อมแน่นของเม็ดดินกับอายุการปลูกในสนาม



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้นกับอายุการปลูกในสนาม



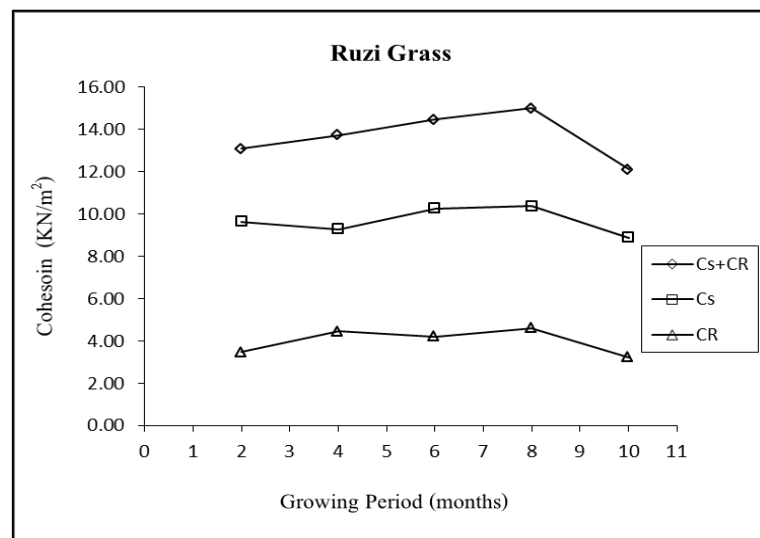
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับอายุการปลูกในสนาม

ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นแน่นของเม็ดดิน ค่าปริมาณความชื้นและค่าความหนาแน่นแห้งกับอายุการปลูกที่แตกต่างกัน กรณีดินที่ไม่ได้เสริมแรง

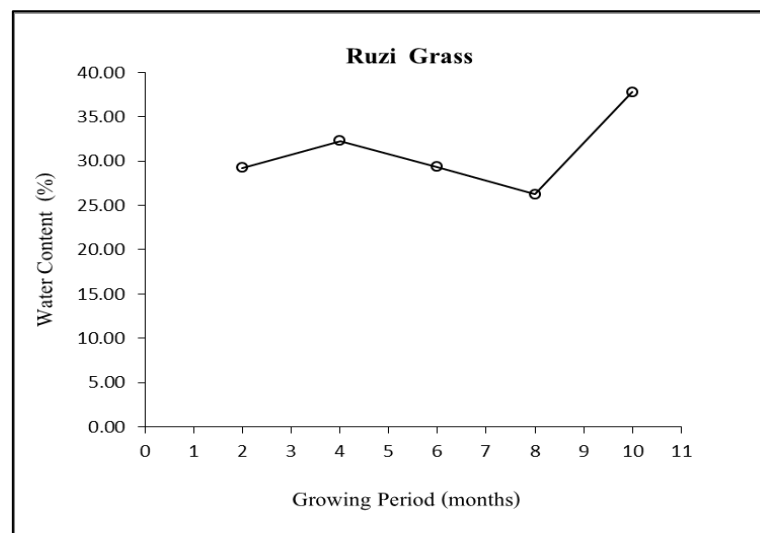
จากภาพที่ 4.30 พบว่าค่าความชื้นแน่นของดินที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยรากหญ้าและค่าความหนาแน่นของดินในสนามแปรผกผันกับปริมาณความชื้นในมวลดิน สังเกตได้จากเดือนที่ 8 จะมีค่าความชื้นแน่นของเม็ดดินและค่าความหนาแน่นสูงกว่าเดือนที่ 4 เป็นเนื่องมาจากปริมาณความชื้น

ในเดือนที่ 8 นั้นมีค่าต่ำกว่าเดือน ที่ 4 ดังนั้นปริมาณความชื้นในดินจึงมีอิทธิพลมากและส่งผลกับค่ากำลังรับแรงเฉือนเช่นเดียวกัน

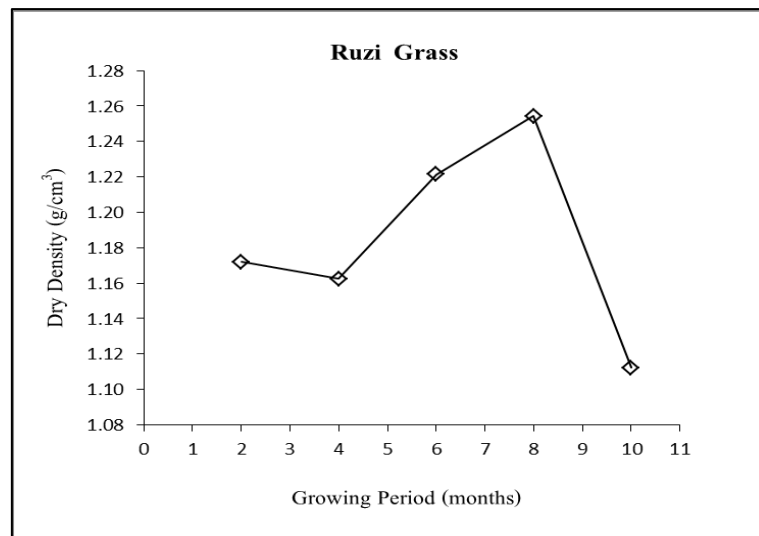
จากความสัมพันธ์ดังกล่าวยังพบอีกว่า ค่าความเชื่อมแน่นของเม็ดดินมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 8.88 ถึง 10.39 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (ภาพที่ 4.30 ก) ค่าปริมาณความชื้นในมวลดินมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 23.53 ถึง 35.25 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.30 ข) และค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 1.17 ถึง 1.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 4.30 ค)



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเชื่อมแน่นของเม็ดดินกับอายุการปลูกในสนาม



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้นกับอายุการปลูกในสนาม

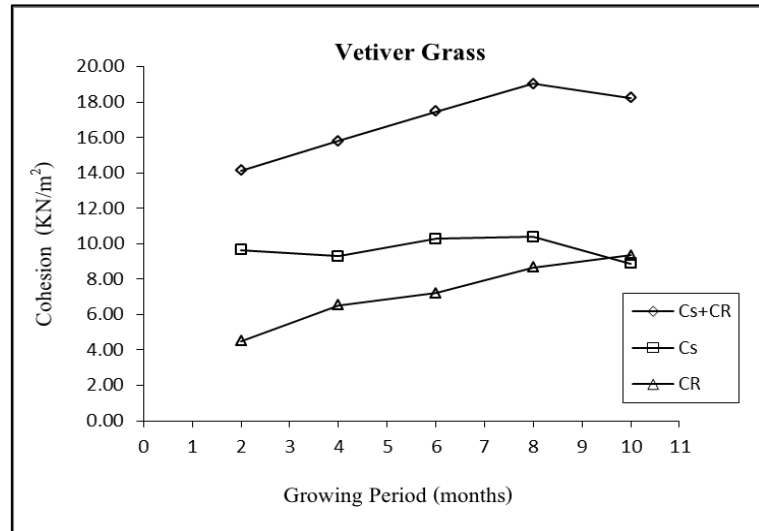


(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับอายุการปลูกในสนาม

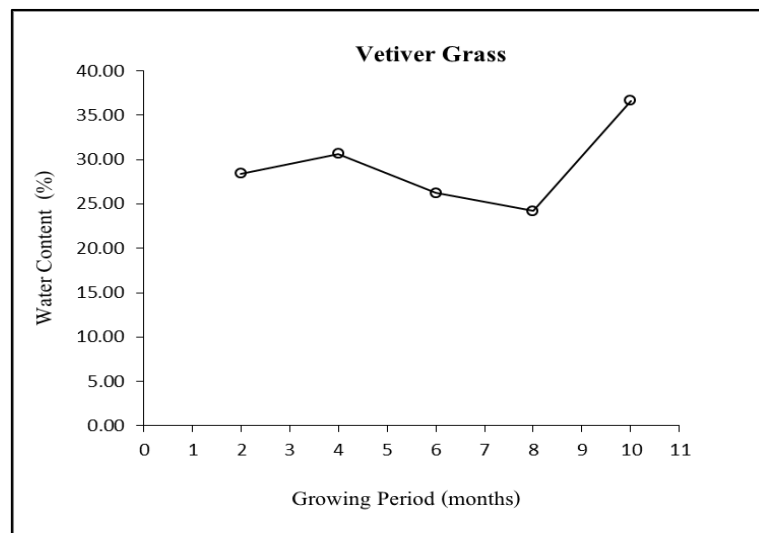
ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นแน่นของเม็ดดิน ค่าปริมาณความชื้นและค่าความหนาแน่นแห้งกับอายุการปลูกที่แตกต่างกัน กรณีดินที่เสริมแรงด้วยหญ้ารูซี่

จากภาพที่ 4.31 พบว่าค่าความชื้นแน่นของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่และค่าความหนาแน่นของดินในสนามแปรผกผันกับปริมาณความชื้นในมวลดิน ซึ่งการเสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่ ส่งผลให้ค่าความชื้นแน่นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่เสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่ แต่ค่าความหนาแน่นแห้งนั้นมีค่าลดลงต่ำกว่าดินที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่เพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากการเจริญเติบโตของหญ้ารูซี่และการขยายของระบบราก และระบบรากที่เพิ่มขึ้นก็ยังคงมีผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าปริมาณความชื้นในดินเป็นสำคัญ

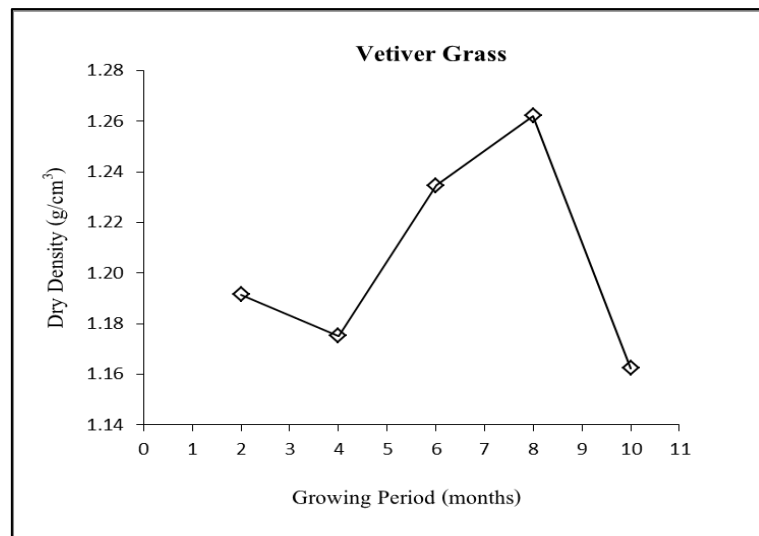
จากความสัมพันธ์ดังกล่าวยังพบอีกว่า ค่าความชื้นแน่นของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 12.12 ถึง 15.00 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (ภาพที่ 4.31 ก) ค่าปริมาณความชื้นในมวลดินมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 26.25 ถึง 37.82 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.31 ข) และค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 1.11 ถึง 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 4.31 ค)



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเชื่อมแน่นของเมล็ดดินกับอายุการปลูกในสนาม



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้นกับอายุการปลูกในสนาม



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับอายุการปลูกในสนาม

ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นแน่นของเม็ดดิน ค่าปริมาณความชื้นและค่าความหนาแน่นแห้งกับอายุการปลูกที่แตกต่างกัน กรณีดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก

จากภาพที่ 4.32 พบว่าค่าความชื้นแน่นของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝกและค่าความหนาแน่นของดินในสนามแปรผกผันกับปริมาณความชื้นในมวลดิน ซึ่งการเสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก ส่งผลให้ค่าความชื้นแน่นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่และดินที่ไม่เสริมแรงด้วยรากหญ้า แต่ค่าความหนาแน่นแห้งนั้นมีค่าลดลงต่ำกว่าดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้ารูซี่และดินที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยรากหญ้า ซึ่งระบบรากที่เพิ่มขึ้นก็ยังคงมีผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าปริมาณความชื้นในมวลดินเป็นสำคัญ

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวยังพบอีกว่า ค่าความชื้นแน่นของดินที่เสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝกมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 14.14 ถึง 19.04 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (ภาพที่ 4.32 ก) ค่าปริมาณความชื้นในมวลดินมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 24.22 ถึง 36.62 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.32 ข) และค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 1.16 ถึง 1.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 4.32 ค)