

ผลกระทบจากการเจริญเติบโตและการเสื่อมสลายของรากพืช
ต่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน

IMPACT OF ROOT GROWTH AND DECAY ON SOIL HYDRAULIC PROPERTIES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม และการจัดงานก่อสร้าง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2567

KMITL-2024-EN-M-097-257

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPACT OF ROOT GROWTH AND DECAY ON SOIL HYDRAULIC PROPERTIES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING

KMITL-2024-EN-M-097-257

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบจากการเจริญเติบโตและการเสื่อมสลายของรากพืช ต่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน
นักศึกษา	นายฤทธิภูมิ วัชรชัยสุรพล
รหัสประจำตัว	63601206
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม และการจัดงานก่อสร้าง
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วิรุพงษ์ คำชุม

บทคัดย่อ

ระบบรากที่ลึกและแผ่กว้างของหญ้าแฝก (*Chrysopogon zizanioides*) ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้งานชีววิศวกรรม บทความนี้ศึกษาผลกระทบของการเจริญเติบโตของรากพืชต่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน โดยจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงเส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve, SWRC) และโครงสร้างรูพรุน ในช่วงอายุการเจริญเติบโตของรากที่ต่างกัน ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของรูพรุนแบบ Bimodal แบ่งเป็น micropore และ macropore ที่เกิดจากการเติบโตของรากแก้วและรากฝอยของหญ้าแฝก

ในกระบอกทดสอบกลุ่ม A ช่วง 2 เดือนแรก รากเริ่มมีการงอกเข้าไปในในแทนที่ช่องว่างของดิน ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในดินลดลง มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของรูพรุนทั้ง micropore และ macropore อัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ถัดมาในช่วง 2-6 เดือน รากหญ้าแฝกจะช่วยเพิ่มการกักเก็บน้ำในดิน ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในดินสูงเพิ่มมากขึ้นตามอายุ เกิด Micropore เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และสุดท้ายในช่วง 6-12 เดือน มีการเพิ่มขึ้นของ Macropore ที่มีผลมาจากวัฏจักรการเติบโตและเสื่อมสลายของราก จากการลดลงของค่า AEV และการเพิ่มขึ้นของ SWRC และในช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน อัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากการที่รากแก้วที่วางตัวในแนวตั้งเกิดการเสื่อมสลายและหดตัว เปรียบเสมือนทางไหลของน้ำ ทำให้อัตราการไหลของน้ำ และอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นเพิ่มขึ้น จากการเกิดช่องทางไหลแบบพิเศษ (preferential flow) แต่จะมีโครงสร้างดินบางส่วนที่เกิดการพังทลายลงจากการเสื่อมสลายของรากทำให้อัตราส่วนช่องว่างลดลง และปริมาณน้ำในเม็ดดินลดลง แสดงให้เห็นในรูปด้านข้างของกระบอกทดสอบในช่วงการเสื่อมสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบอกทดสอบกลุ่ม B จะทำการทดสอบการเจริญเติบโตถึง 6 เดือน และทำการทดสอบช่วงการเสื่อมสลายที่ 6 เดือน จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอ้อมตัวมีแนวโน้มลดลง ในทางกลับกันอัตราการไหลของน้ำในดินที่อ้อมตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเริ่มเสื่อมสลายของรากแก้วและรากฝอย ทำให้รูพรุนขนาดเล็กลดลง และเกิดการเพิ่มขึ้นของ Macropore ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงจากเสื่อมสลายของราก และสุดท้ายในช่วงการเสื่อมสลายเป็นระยะเวลา 18 เดือน แนวโน้มของผลการวิจัยใกล้เคียงกับการเสื่อมสลายของรากพืชในกระบอกทดสอบ A ที่ 12 เดือน

คำสำคัญ: ชีววิศวกรรม, รากหญ้าแฝก, คุณสมบัติเชิงกลศาสตร์, เส้นค้ำของน้ำในดิน, โครงสร้างรูพรุนของดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Impact of root growth and decay on soil hydraulic properties
Student	Mr. Rittiphum Watcharachaisurapol
Student ID.	63601206
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2024
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Viroon Kamchoom

ABSTRACT

The deep and extensive root system of Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) can significantly influence soil hydraulic properties, thereby affecting slope stability. Understanding the dynamic interactions between vetiver root growth and soil hydraulic properties is crucial for optimizing soil-bioengineering strategies. This study explored the influence of root growth on soil hydraulic properties. Through a comprehensive analysis of root growth at various developmental stages, this research investigated alterations in the soil water retention curve (SWRC) and pore structure. The study reveals a transition in bimodal that is dual porosity, characterized by the emergence of micropores and macropores attributed to the growth patterns of Vetiver taproots and fibrous roots.

In Sample group A, Initial root penetration within the first two months results in the reduction of soil porosity, leading to reduced volumetric water content and modifications in both micropore and macropore structures and Permeability increasing depend on root aged. Subsequently, from 2 to 6 months, the vetiver roots enhance soil water retention, leading to increased water content and significant alterations in micropore density. During the mature phase (6-12 months), an augmentation of macropores is observed, attributed to the root growth and decay cycle, evidenced by a decrease in air entry value (AEV) and a steeper SWRC. And during the 12-month decay period, Permeability tended to increase. On the other hand, the moisture content tends to decrease. This is caused by the taproot growth vertically deteriorating and shrinking. It is making preferential flow. Some parts of soil structures

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

collapsed due to root decay, causing void ratio and water content to decrease. Shown in the side photo during decay phase.

In Sample group B, the growth phase will be carried out for 6 months then decay phase tested for 6 months. The water content tends to decrease. On the other hand, Permeability tends to increase. This is caused by decay of taproot and fibrous roots. Reduces micropore and increasing to macropores. The water holding capacity decreased. And finally, 18-month decay period, the results was similar to the decay of plant roots in sample group A at 12 months.

Keywords: Keywords: Soil-bioengineering, Vetiver root growth, Hydraulic properties, Soil Water Retention Curve, Pore structure



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. วิรุฬห์ คำชุม ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ ดร.ธนู หาญพัฒนพานิชย์ และทีมงาน Geotech pillar ที่คอยให้คำปรึกษา ผลักดันตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (RE-KRIS/FF67/007) โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม รวมถึงทุนหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (C04F670066) จากสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ

สุดท้ายต้องขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัวของข้าพเจ้า รวมไปถึงพี่ เพื่อน และน้อง CT ที่สนับสนุนข้าพเจ้า ในทุกๆด้าน จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สำหรับความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ด้วยความเคารพอย่างสูง

นายฤทธิภูมิ วัชรชัยสุรพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XII
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	3
2.1 ดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil).....	3
2.2 ค่าแรงดูดในดิน (Matric suction).....	3
2.2.1 การตรวจวัดค่าแรงดูดต่ำ ไม่เกิน 100 kPa (Tensiometer).....	3
2.2.2 การตรวจวัดค่าแรงดูดสูง ระหว่าง 100 ถึง 1000 kPa (High suction sensor)....	4
2.3 ปริมาณน้ำในดิน (Water content).....	5
2.4 เส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve).....	6
2.5 อัตราการไหลของน้ำในดิน (Permeability).....	7
2.6 ชีววิศวกรรม (Soil bioengineering).....	7
2.6.1 หญ้าแฝก (Vetiver).....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การประยุกต์ใช้หญ้าแฝกในงานชีววิศวกรรม.....	8
2.6.3 การคายระเหยของพืช (Vegetation Evapotranspiration).....	8
2.6.3.1 ผลกระทบของพืชต่อค่าแรงดูดในดิน (Matric suction).....	9
2.6.3.2 ผลกระทบของพืชต่อเส้นโค้งค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve).....	9
2.6.3.3 ผลกระทบของพืชต่ออัตราการไหลของน้ำในดิน (Permeability and Hydraulic conductivity).....	9
2.6.3.4 Analytical model for SWRC.....	10
บทที่ 3 กระบวนการวิจัย.....	11
3.1 แผนการวิจัย.....	11
3.2 พืชพรรณที่ใช้ในงานวิจัย.....	12
3.2.1 การเตรียมต้นอ่อนสำหรับการวิจัย.....	12
3.3 ดินที่ใช้สำหรับงานวิจัย.....	14
3.3.1 การเตรียมดินสำหรับการวิจัย.....	14
3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง.....	14
3.3.2.1 การทดสอบขีดแอมเตอร์เบอร์ก (Atterberg limit test).....	15
3.3.2.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific gravity test).....	15
3.3.2.3 การหาขนาดเม็ดดิน (Grain size analysis test).....	15
3.3.2.4 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction test).....	15
3.4 การเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์.....	16
3.4.1 เครื่องมือตรวจวัดแรงดูด (Tensiometer) และกล่องบันทึกข้อมูล (Data logger)..	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 เครื่องมือตรวจวัดแรงดูดสูง (High suction sensor) และบอร์ดอ่านข้อมูล (Data readout).....	17
3.4.3 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดสูง (Precision balance).....	17
3.5 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	18
3.5.1 ในช่วงการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝก (Growth root).....	20
3.5.2 ในช่วงการหดตัวและเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก (Decay root).....	21
3.6 การทดสอบผลกระทบของรากพืชต่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน (Hydraulic properties).....	22
3.6.1 การทดสอบหาค่าอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability).....	22
3.6.2 การทดสอบหาเส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve).....	23
3.6.3 การปรับเส้นโค้ง (Fitting curve) ของเส้นคงค้างของน้ำในดิน โดยใช้สมการของ Van Genuchten.....	24
3.6.4 ลักษณะของหญ้าแฝก (Leaf characteristic) และรากของหญ้าแฝก (Side root photo).....	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยผลกระทบจากการเจริญเติบโตและเสื่อมสลายของรากพืช ต่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน.....	28
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง.....	28
4.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของหญ้าแฝก.....	29
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของใบหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต.....	29
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกในดินลูกรัง.....	32
4.2.2.1 กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน)...	32
4.2.2.2 กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน)....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเปลี่ยนแปลงของ Matric Suction และ Volumetric Water Content ตาม ช่วงเวลา.....	38
4.3.1. ดินลูกรังเดิม (Bare soil)	39
4.3.2 กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน).....	41
4.3.2.1 ตัวอย่าง A-1.....	41
4.3.2.2 ตัวอย่าง A-2.....	48
4.3.2.3 ตัวอย่าง A-3.....	52
4.3.3 กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน).....	56
4.3.3.1 ตัวอย่าง B-1.....	56
4.3.3.2 ตัวอย่าง B-2.....	60
4.3.3.3 ตัวอย่าง B-3.....	64
4.4 การเปลี่ยนแปลงของ Matric Suction ตามระดับความลึก.....	68
4.4.1. ดินลูกรังเดิม (Bare soil).....	68
4.4.2 กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน).....	69
4.4.2.1 ตัวอย่าง A-1.....	69
4.4.2.2 ตัวอย่าง A-2.....	71
4.4.2.3 ตัวอย่าง A-3.....	73
4.4.3 กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน).....	75
4.4.3.1 ตัวอย่าง B-1.....	75
4.4.3.2 ตัวอย่าง B-2.....	77
4.4.3.3 ตัวอย่าง B-3.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางศาสตร์ของดิน จากการเจริญเติบโตและเสื่อมสลายของราก	83
5.1 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve).....	83
5.1.1 ดินลูกรังเดิม (Bare soil).....	83
5.1.2 กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน).....	84
5.1.2.1 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง A-1.....	86
5.1.2.2 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง A-2.....	88
5.1.2.3 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง A-3.....	90
5.1.3 กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน).....	92
5.1.3.1 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง B-1.....	93
5.1.3.2 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง B-2.....	96
5.1.3.3 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง B-3.....	98
5.2 การเปลี่ยนแปลงของเส้นโค้งค้างของน้ำในดินจาก ผลกระทบของการเติบโตและเสื่อมสลายของราก.....	100
5.2.1 กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน).....	100
5.2.1.1 ปริมาณความชื้นอิ่มตัว (Saturated Volumetric Water Content) และอัตราส่วนช่องว่างในดิน (Void ratio).....	100
5.2.1.2 Air Entry Value (AEV).....	102
5.2.1.3 ค่าพารามิเตอร์ Van Genuchten (VG model).....	103
5.2.2 กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน).....	107
5.2.2.1 ปริมาณความชื้นอิ่มตัว (Saturated Volumetric Water Content) และอัตราส่วนช่องว่างในดิน (Void ratio).....	107
5.2.2.2 Air Entry Value (AEV).....	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 ค่าพารามิเตอร์ Van Genuchten (VG model).....	110
5.3 การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability) จากผลกระทบของการเติบโตและเสื่อมสลายของราก.....	114
5.3.1 กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน).....	114
5.3.2 กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน).....	115
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	116
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	116
6.1.1 ลักษณะของหญ้าแฝก (Vetiver characteristics)	116
6.1.2 การเปลี่ยนแปลงของค่า Matric Suction และ Volumetric Water Content ใน แต่ละช่วงเวลา.....	116
6.1.3 เส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve)	117
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	119
บรรณานุกรม.....	120

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 ตารางคุณสมบัติดินลูกรัง.....	28
4-2 ตารางลักษณะของใบหญ้าแฝกในช่วงการเจริญเติบโต.....	29
4-3 ตารางบันทึกระยะเวลาในการทดสอบหาค่า Matric suction และ Volumetric water content กลุ่มทดสอบ A.....	38
4-4 ตารางบันทึกระยะเวลาในการทดสอบหาค่า Matric suction และ Volumetric water content กลุ่มทดสอบ B.....	38
5-1 ตารางค่าอัตราส่วนช่องว่างในดิน (Void ratio) ของดินที่มีรากหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A.....	100
5-2 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดินของดินที่มีรากหญ้าแฝก (Sample A-1).....	104
5-3 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดินของดินที่มีรากหญ้าแฝก (Sample A-2).....	104
5-4 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดินของดินที่มีรากหญ้าแฝก (Sample A-3).....	105
5-5 ตารางค่าอัตราส่วนช่องว่างในดิน (Void ratio) ของดินที่มีรากหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B.....	107
5-6 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดินของดินที่มีรากหญ้าแฝก (Sample B-1).....	111
5-7 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดินของดินที่มีรากหญ้าแฝก (Sample B-2).....	111
5-8 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดินของดินที่มีรากหญ้าแฝก (Sample B-3).....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 โครงสร้างของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ.....	3
2-2 เครื่องวัดแรงดันน้ำติดลบต่ำ (Tensiometer)	4
2-3 เครื่องวัดแรงดันน้ำติดลบสูง (High-suction sensor; MPS-6)	4
2-4 ส่วนประกอบของมวลดินตั้ง.....	5
2-5 เส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve)	6
2-6 การไหลของน้ำผ่านเม็ดดิน.....	7
3-1 แผนการวิจัย.....	11
3-2 การเตรียมต้นอ่อนหญ้าแฝก.....	12
3-3 การอนุบาลต้นอ่อนหญ้าแฝกในดินมูลไส้เดือน.....	13
3-4 ต้นอ่อนหญ้าแฝกหลังจากอนุบาลในดินมูลไส้เดือน.....	13
3-5 ต้นอ่อนหญ้าแฝกก่อนปลูกลงในกระบอกทดสอบ.....	14
3-6 เตรียมดินโดยการร่อนผ่านตะแกรง.....	14
3-7 เครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน (Tensiometer)	16
3-8 สอบเทียบเครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน.....	16
3-9 สอบเทียบเครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน.....	17
3-10 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดสูง (Precision balance)	17
3-11 แบบแสดงตัวอย่างทดสอบ.....	18
3-12 ชั้นระบายน้ำของกระบอกทดสอบ.....	19
3-13 การבודัดดินในกระบอกทดสอบ.....	19
3-14 กระบอกทดสอบก่อนปลูกหญ้าแฝก.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3-15 การปลูกหญ้าแฝกในกระบอกตัวอย่าง.....	20
3-16 กระบอกทดสอบในช่วงการเจริญเติบโต.....	21
3-17 การฆ่าหญ้าแฝกด้วยการตัดใบหญ้าแฝก.....	21
3-18 กระบอกทดสอบในช่วงการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก.....	22
3-19 การทำให้ดินกระบอกทดสอบอิมตัวด้วยน้ำ.....	22
3-20 การทดสอบหาเส้นค้ำของน้ำในดิน (Test set up)	23
3-21 โปรแกรมการปรับเส้นโค้งของเส้นค้ำของน้ำในดิน.....	25
3-22 ภาพถ่ายด้านข้างกระบอกทดสอบ (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil) (b) ดินหญ้าแฝก อายุ 6 เดือน (Vetiver soil 6 months) (c) ดินหญ้าแฝก อายุ 12 เดือน (Vetiver soil 12 months)	26
3-23 ภาพถ่ายด้าน-หลัง กระบอกทดสอบดินที่มีรากหญ้าแฝก.....	27
3-24 การหาปริมาณรากต่อพื้นที่ (side root area ratio)	27
4-1 การเปลี่ยนแปลงของความยาวใบหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม A.....	30
4-2 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนใบหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม A.....	30
4-3 การเปลี่ยนแปลงของความยาวใบหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม B.....	31
4-4 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนใบหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม B.....	31
4-5 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ A-1 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil) (b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months) (c) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Growth 12 months) (d) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Growth 12 months Decay 12 months)	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-6 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ A-2 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)	
(b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months)	
(c) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Growth 12 months)	
(d) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน	
(Growth 12 months Decay 12 months)	33
4-7 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ A-3 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)	
(b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months) (c) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน	
(Growth 12 months)	
(d) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน	
(Growth 12 months Decay 12 months)	33
4-8 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ กลุ่ม A.....	34
4-9 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนรากหญ้าแฝกต่อพื้นที่ กระบอกทดสอบ กลุ่ม A.....	34
4-10 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ B-1 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)	
(b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months)	
(c) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน	
(Growth 6 months Decay 6 months)	
(d) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน	
(Growth 6 months Decay 18 months)	35
4-11 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ B-2 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)	
(b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months)	
(c) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน	
(Growth 6 months Decay 6 months)	
(d) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน	
(Growth 6 months Decay 18 months)	36
4-12 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ B-3 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)	
(b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months)	
(c) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน	
(Growth 6 months Decay 6 months)	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(d) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Growth 6 months Decay 18 months)	
4-13 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระทบทดสอบ กลุ่ม B.....	37
4-14 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนรากหญ้าแฝกต่อพื้นที่ กระทบทดสอบ กลุ่ม B.....	37
4-15 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินลูกรังเดิม (Bare soil).....	39
4-16 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินลูกรังเดิม (Bare soil) เฉพาะ Tensiometer.....	40
4-17 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินลูกรังเดิม (Bare soil).....	40
4-18 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	41
4-19 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months) เฉพาะ Tensiometer.....	41
4-20 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	42
4-21 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	43
4-22 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months) เฉพาะ Tensiometer.....	43
4-23 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	44
4-24 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-25 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months) เฉพาะ Tensiometer.....	45
4-26 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	45
4-27 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	46
4-28 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months) เฉพาะ Tensiometer.....	46
4-29 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	47
4-30 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	48
4-31 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	48
4-32 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	49
4-33 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	49
4-34 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	50
4-35 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-36 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	51
4-37 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	51
4-38 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	52
4-39 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	52
4-40 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	53
4-41 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	53
4-42 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	54
4-43 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	54
4-44 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	55
4-45 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	55
4-46 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-47 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	56
4-48 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	57
4-49 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	57
4-50 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	58
4-51 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	58
4-52 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	59
4-53 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	59
4-54 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	60
4-55 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	60
4-56 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	61
4-57 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-58 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	62
4-59 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	62
4-60 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	63
4-61 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	63
4-62 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	64
4-63 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	64
4-64 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	65
4-65 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	65
4-66 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	66
4-67 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-68 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	67
4-69 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	67
4-70 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินลูกรังเดิม (Bare soil)....	68
4-71 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	69
4-72 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	69
4-73 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	70
4-74 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	70
4-75 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	71
4-76 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	71
4-77 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	72
4-78 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-79 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	73
4-80 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	73
4-81 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months).....	74
4-82 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months).....	74
4-83 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	75
4-84 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	75
4-85 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	76
4-86 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	76
4-87 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	77
4-88 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	77
4-89 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-90 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	78
4-91 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months).....	79
4-92 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months).....	79
4-93 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months).....	80
4-94 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months).....	80
4-95 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนลำต้นหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม A	81
4-96 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนลำต้นหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม B	82
5-1 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินลูกร้าง (Bare soil)	83
5-2 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)	86
5-3 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)	86
5-4 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)	87
5-5 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-6 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)	88
5-7 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)	88
5-8 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)	89
5-9 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)	89
5-10 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)	90
5-11 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)	90
5-12 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)	91
5-13 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)	91
5-14 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)	93
5-15 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)	94
5-16 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-17 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)	95
5-18 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)	96
5-19 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)	96
5-20 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)	97
5-21 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)	97
5-22 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)	98
5-23 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)	98
5-24 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)	99
5-25 เส้นค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)	99
5-26 ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ดินอิมตัวด้วยน้ำ ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A.....	101
5-27 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า AEV ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-28 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า Alpha ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A.....	105
5-29 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า n ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A.....	106
5-30 ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B.....	108
5-31 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า AEV ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B.....	109
5-32 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า Alpha ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B.....	112
5-33 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า n ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B.....	113
5-34 แสดงผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำในดินที่อ้อมตัวด้วยน้ำ ในดินหญ้าแฝกที่อายุต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่าง A.....	114
5-35 แสดงผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำในดินที่อ้อมตัวด้วยน้ำ ในดินหญ้าแฝกที่อายุต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่าง B.....	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการแก้ไขการชะล้างและพังทลายของลาดดิน เช่น คันคลอง เขื่อน ถนน และอื่นๆ นอกจากจะใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมเช่น กำแพงกันดินชนิดต่าง ๆ แล้วนั้น วิธีชีววิศวกรรมโดยใช้พืชพรรณชนิดต่าง ๆ ร่วมกับโครงสร้างทางวิศวกรรมถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Ng et al. 2019; อภินิติ โชติสังกาต 2556; Kamchoom, V. and Leung 2018) ทั้งนี้ทั้งนั้นนอกจากคำนึงถึงเรื่องการเสริมกำลังแล้ว จะต้องคำนึงคุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์ของดินด้วย เนื่องจากรากหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตเจาะลึกลงไปดิน ทำให้อัตราส่วนช่องว่างในดินเปลี่ยนไป รวมไปถึงวัชวัชการเติบโต-เสื่อมสลายของรากของพืช โดยรากฝอยขนาดเล็กจะมีการเติบโตและเสื่อมสลายไปในเวลาไม่กี่สัปดาห์หรือไม่กี่เดือน (Eissenstat et al. 2000; Block et al. 2006) จนเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ (Macro pore) มากขึ้น ส่งผลให้เกิดช่องการไหล (Preferential flow) นำน้ำลงไปไหลในลาดดิน ซึ่งอาจกระทบต่อเสถียรภาพลาดดินได้ (Apriyono et al. 2023; Yuliana 2023)

โดยทั่วไปเมื่อพืชมีการคายระเหย (Evapotranspiration) ความชื้นในดินจะลดลงจากการดูดน้ำของรากพืช ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดูดในดิน (Matric suction) (Hemmati et al. 2012; Biddle and P.G. 1983; Blight and G.E. 2003) และการเปลี่ยนแปลงนี้ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงเฉือน (Shear strength) (Wu et al. 2021; Phan et al. 2021; Kamchoom et al. 2022) รวมไปถึงอัตราการไหลของน้ำในดินแบบไม่อิ่มตัว (Hydraulic conductivity) (Ng et al. 2012) คุณสมบัติทั้งสองอย่างนี้ เป็นตัวควบคุมเสถียรภาพของลาดดิน

จากการศึกษาในอดีตแสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของรากพืชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นโค้งค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve) (Kamchoom et al. 2023) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Rahardjo et al. 2014; Leung et al. 2015), ระยะห่างของการปลูก (Ng et al. 2016), อายุของพืช (Jotisankasa, A., and Sirirattanachat, T. 2017) โดยรากของพืชจะไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินได้จาก 1) ปริมาตรของรากในช่องว่างของดิน (Scanlan et al. 2010; Scholl et al. 2014) ที่มีผลทำให้ค่า Air entry value (AEV) ลดลง เมื่อรากมีความหนาแน่นมากขึ้น (Rajamanthri, K. et al. 2021) หรือมีแนวโน้มสูงขึ้น (Hau et al. 2003; Leung et al. 2015), 2) การกักเก็บน้ำ (Water retention) ของรากพืช (Taleisnik et al. 1999) และอย่างที่ทราบกันดีว่า เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน ขึ้นอยู่กับขนาดและการกระจายตัวของช่องว่างในดิน (Pore size distribution) เป็นหลัก (Ng et al. 2012; Romero et al. 1999) โดยทั่วไปสามารถเป็นได้ทั้งรูปแบบ Unimodal และ Bimodal ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของรูพรุนของดิน (Fredlund et al. 1993; Zhai et al. 2018; Satyanaga, A. et al. 2013) เช่น ดินที่มีขนาดคละที่ดี (Well-graded soil) และดินที่มีเม็ดขนาดเดียว (Uniform-graded soil) มักจะมีเส้นการคงค้างของน้ำในดิน แบบ Unimodal ในส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของดินที่มีขนาดเม็ดขนาดช่วง (Gap-graded soil) มักจะมีโครงสร้างรูพรุน 2 แบบ (Dual porosity) ซึ่งแบ่งเป็น Micropore (Intra-aggregate) และ Macropore (Inter-aggregate) (Li et al 2014) และ Macropore มักเกิดจากรอยแตกร้าวของดิน (Crack), การรวมกันของ Micropore, การชอนไชของรากของพืช (Root channel) รวมไปถึงการหดตัวและเสื่อมสลายของรากพืช (root shrinkage) (Kamchoom et al. 2022; Kamchoom, V. et al. 2022; Nghia Phan et al. 2022) เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของดิน จากผลกระทบของการเจริญเติบโตและการเสื่อมสลายของรากพืชในดินลูกรังของหญ้าแฝก ในช่วงอายุที่ต่างๆ โดยพิจารณาจากเส้นการคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve) ค่าความชื้นของน้ำในดินโดยปริมาตรของดินอิ่มตัว (Saturated Volumetric water content) อัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

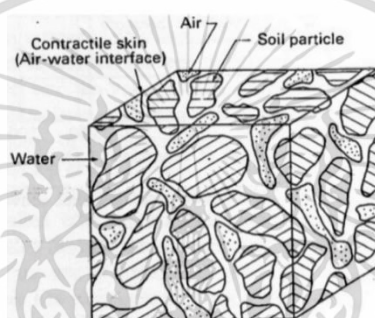
งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาพฤติกรรมด้านชลศาสตร์ของดินที่มีรากหญ้าแฝกที่เจริญเติบโต และเสื่อมสภาพ โดยการรดน้ำและแสงแดด ใช้หญ้าแฝก ชนิดลุ่ม พันธุ์สงขลา 3 ในดินลูกรัง ที่มีขนาดละเอียดไม่เกิน 4.75 มม. บดอัดที่ความหนาแน่น 80% Standard Proctor เพื่อให้หญ้าแฝกเติบโตได้ ทดลองในกระบอกอะคริลิกสี่เหลี่ยมขนาด 6.5 x 8.5 ซม. ดินสูง 15 ซม. ศึกษาเส้นคงค้างของน้ำในดิน เฉพาะ Drying path และศึกษาการไหลซึมแบบ 1 มิติ (1-Dimension Permeability)

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. ดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil)

ดินที่ไม่อิ่มตัวจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนด้วยกัน โดยมี ของแข็ง , ของเหลว , และก๊าซนั้นจะมีเหมือนกับ ดินที่อิ่มตัว ซึ่งส่วนที่ 4 ที่เพิ่มเข้ามาจะเรียกว่า contractile skin หรืออีกชื่อคือ air – water interface โดย หน้าที่ของ contractile skin นี้มีหน้าที่ในการเชื่อมอนุภาคต่าง ๆ ในดินให้เข้ามาหากัน และเนื่องจากดินที่ไม่ อิ่มตัวนั้นมีเรื่องของความดันอากาศ (pore-air pressure) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย



ที่มา: Fredlund and Rahardjo (1993)

รูปที่ 2-1 โครงสร้างของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

2.2. ค่าแรงดูดในดิน (Matric suction)

ค่าที่แสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการดึงน้ำจากมวลดินในสถานะที่ไม่มีการระเหยของน้ำ เป็นการดึงน้ำ จากมวลดินในสถานะของเหลว โดยแรงดูดมีความสัมพันธ์กับขนาดของช่องว่าง และค่าความอิ่มตัว ในการ ตรวจวัดจะต้องมีการส่งผ่านหน่วยแรงของน้ำในช่องว่างดิน และแรงดันน้ำในช่องว่างของหัววัดอย่างดี ดังนั้น หินพรุนที่บดน้ำจะต้องอิ่มตัวด้วยน้ำและสัมผัสกับตัวอย่างดินอย่างดี

$$S_t = S + S_0$$

โดยที่	S_t	=	แรงดึงน้ำรวม (Total suction)
	S	=	Matric suction
	S_0	=	Osmotic suction

2.2.1. การตรวจวัดค่าแรงดูดต่ำ ไม่เกิน 100 kPa (Tensiometer)

เครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน ดังภาพ 2.10 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. และความ ยาวรวมเซนเซอร์เป็น 5 ซม. ลักษณะของเครื่องมือประกอบด้วยแผ่นเซรามิคสำหรับวัดความดันของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำในดิน โดยแผ่นเซรามิกเชื่อมต่อกับเซนเซอร์เพื่อทำการต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูล เมื่อนำเซรามิกสัมผัสกับดินที่ต้องการวัดความดันของน้ำในดิน เซนเซอร์จะทำการวัดปริมาณน้ำบนแผ่นเซรามิกและใช้คุณสมบัติการเก็บน้ำของแผ่นเซรามิกเพื่อหาความดันน้ำในดิน ซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 0 - 100 kPa และมีความแม่นยำอยู่ที่ 0.25 kPa



รูปที่ 2-2 เครื่องวัดแรงดันน้ำติดลบต่ำ (Tensiometer)

2.2.1.1. การตรวจวัดค่าแรงดูดสูง ระหว่าง 100 ถึง 1000 kPa (High suction sensor)

เครื่องมือวัดแรงดันน้ำติดลบ แบบแรงดันลบสูง (High-suction sensor) หรือเรียกว่า MPS-6 ซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 10-2000 kPa และมีความแม่นยำอยู่ที่ ± 0.10 kPa



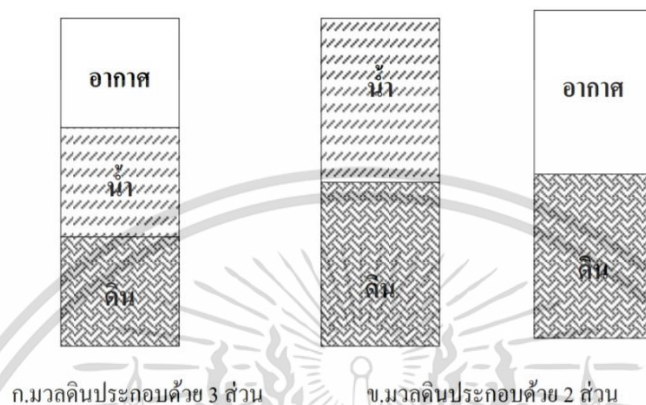
รูปที่ 2-3 เครื่องวัดแรงดันน้ำติดลบสูง (High-suction sensor; MPS-6)

2.3. ปริมาณน้ำในดิน (Water content)

มวลดินประกอบด้วยส่วนที่เป็นเม็ดดินหรือมวลของแข็ง ซึ่งเป็นอนุภาคของแร่และอินทรีย์สาร โดยอนุภาคมีรูปร่าง 3 มิติมีผลทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดดินภายในช่องว่างจะบรรจุด้วยมวลของน้ำและมวลของอากาศ ซึ่งจะเรียกว่าดินชื้นหรือดินเปียก บางสภาวะช่องว่างระหว่างเม็ดดินอาจมีเฉพาะมวลของน้ำจะเรียกว่าสภาวะอิ่มตัว หรืออาจมีเฉพาะมวลของอากาศจะเรียกว่าอยู่ใน สภาวะดินแห้งการหาปริมาณความชื้นในมวลดินคือการหาอัตราส่วนระหว่างมวลหรือน้ำหนักของน้ำต่อมวลหรือน้ำหนักของเม็ดดินที่มีอยู่ในมวลดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินตามธรรมชาตินั้นองค์ประกอบของมวลดิน มี 3 ส่วนใหญ่ๆ ส่วนแรกคือส่วนที่เป็นเม็ดดินหรือของแข็ง ส่วนที่สองคือส่วนที่เป็นน้ำหรือของเหลวและส่วนที่สามคือส่วนที่เป็นอากาศหรือก๊าซ ทั้งนี้ดินไม่จำเป็นต้องมีส่วนประกอบครบทั้ง 3 ส่วน อาจจะมีส่วนประกอบเพียง 2 ส่วนก็ได้ขึ้นอยู่กับสถานสภาพของมวลดินเป็นเกณฑ์ดังแสดงส่วนประกอบของมวลดินดัง



ที่มา : มานิต 2552

รูปที่ 2-4 ส่วนประกอบของมวลดินดัง

การแสดงปริมาณน้ำในดินที่นิยมทั่วไป มี 3 วิธี

- 1) ปริมาณความชื้นดินโดยน้ำหนัก(Gravimetric water content)

เป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักของความชื้นดินกับน้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยวัดอาจแสดงสัดส่วนของน้ำหนักเป็นกรัมต่อกรัม หรือแสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (% by weight) ก็ได้ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการหาค่าความชื้นดิน

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s}$$

- 2) ปริมาณความชื้นดินโดยปริมาตร (volume water content)

เป็นปริมาณความชื้นดินที่เปรียบเทียบระหว่างปริมาตรของความชื้นดินกับปริมาตรดิน หน่วยวัดอาจแสดงเป็น เช่น มิลลิลิตร/มิลลิลิตร หรือ ร้อยละโดยปริมาตร (% by volume) ก็ได้

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_s}$$

- 3) ปริมาณความชื้นดินเป็นความสูงของน้ำ (depth water content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

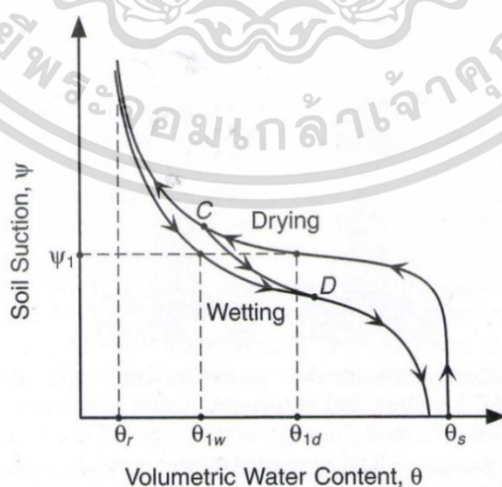
เป็นการคำนวณจากสัดส่วนหรือร้อยละของความชื้นดินโดยปริมาตรหรือน้ำหนัก โดยจะต้องระบุความลึกของดิน มีหน่วยเช่นเดียวกับหน่วยความสูงของดินที่ใช้ในการคำนวณ เช่น ซม. มิลลิเมตร หรือ นิ้ว เช่น ความชื้นของน้ำในดินที่ตลอดความลึก 50 เซนติเมตร จะมีความสูงเท่ากับ 13 เซนติเมตร เมื่อดินมีปริมาณความชื้น 20% และมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3 กรัมต่อมิลลิลิตร มักใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำเพื่อการชลประทาน

$$V_w = \theta_v Az$$

2.4.เส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve)

เส้นอัตตลักษณ์ของดิน หรือความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับแรงดูด เป็นสมบัติพื้นฐานของดินไม่ อิ่มตัวด้วยน้ำที่สามารถใช้ทำนายพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กำลังเฉือนของดิน สมบัติการนำความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นเส้นอัตตลักษณ์ยังมีความสำคัญในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในดิน อันนำไปสู่การวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นต่อไป

โดยนิยามของเส้นอัตตลักษณ์ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดิน กับแรงดูด ซึ่งความชื้นสามารถแสดงได้ในหลายรูปแบบ เช่น ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation) ความชื้นโดยปริมาตร (Volumetric Water Content) หรือความชื้นโดยน้ำหนัก (Gravimetric Water Content) แต่ทั่วไปแล้วนิยมนำเสนอเส้นอัตตลักษณ์ในรูปแบบความชื้นที่เป็นความชื้นโดยปริมาตร เนื่องจากความสัักพันธ์ที่ได้จำเป็นในการวิเคราะห์การไหลซึมแบบ Transient Flow และความชื้นที่ นิยมนำเสนออีกรูปแบบหนึ่งคือระดับความอิ่มตัว เนื่องจากเส้นอัตตลักษณ์ที่เป็นความสัมพันธ์ของระดับความอิ่มตัวกับแรงดูด ใช้ในการคำนวณหาค่า Air Entry Value ได้ชัดเจนที่สุด (อภินิติ, 2555)



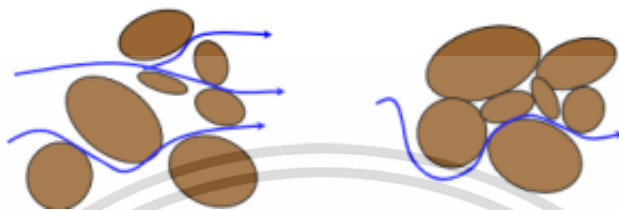
ที่มา: Lu and Likos (2004)

รูปที่ 2-5 เส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. อัตราการไหลของน้ำในดิน (Permeability)

Permeability หรือความซึมได้ของน้ำ คือ ความสามารถที่มวลดินยอมให้น้ำซึมผ่านไปได้หากมวลดินยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย หมายถึงความซึมได้ของน้ำสูงเรียกว่า “Pervious Soil” และถ้ามวลดินไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านหรือซึมผ่านได้ยาก เรียกว่า “Impervious Soil”



รูปที่ 2-6 การไหลของน้ำผ่านเม็ดดิน

ในมวลดินที่อัดตัว ช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งมีน้ำอยู่ต่อเนื่องกัน การไหลซึมของน้ำผ่านมวลดิน เป็นแบบ Laminar Flow ผ่านช่องแคบแคบๆ ระหว่างเม็ดดิน ในขณะที่เดียวกันแรงดันของน้ำ ก็จะไปเพราะแรงเสียดทานของผิวช่องเม็ดดิน Darcy (ปี ค.ศ. 1856) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้เสนอกฎแห่งการไหลซึมไว้ว่า ความเร็วของการไหลซึมของของเหลวผ่านตัวกลางพรุนจะเป็นปฏิภาคกับไฮดรอลิกส์เกรเดียน (Hydraulic Gradient) มวลดินเป็นวัสดุที่มีช่องว่างต่อเนื่องในระหว่างเม็ดดิน ซึ่งน้ำสามารถไหลซึมผ่านได้ โดยมวลดินที่น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย ได้แก่ ดินจำพวกกรวดทราย ส่วนมวลดินที่น้ำไหลซึมผ่านได้ยากได้แก่ดินที่มีดินเหนียวปนอยู่หรือดินเหนียวล้วน ถ้าน้ำไหลผ่านมวลดินได้ง่ายค่าสัมประสิทธิ์จะมีมาก นั่นคือดินจะมีช่องว่างมาก หรือดินอยู่ในสภาพหลวมและถ้าค่าสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยเท่าใดก็แสดงว่าดินนั้น มีความหนาแน่นมาก

2.6. ชีววิศวกรรม (Soil bioengineering)

การประยุกต์ใช้วิธีทางวิศวกรรมปฐพี ร่วมกับการใช้พืชพรรณ เพื่อเสริมเสถียรภาพ และป้องกันการกัดเซาะ การพังทลายของลาดดิน ในงานโครงสร้างพื้นฐาน พื้นที่ลาดชันและพื้นที่ริมตลิ่งต่างๆ ด้วยวิธีที่กลมกลืนกับธรรมชาติเป็นหลักในการสร้างเสถียรภาพความแข็งแรง มีความสวยงาม และฟื้นฟูสภาพแวดล้อมโดยรอบอย่างยั่งยืน

2.6.1. หญ้าแฝก (Vetiver)

หญ้าแฝก(ชื่อวิทยาศาสตร์: *Chrysopogon zizanioides*) เป็นพืชตระกูลหญ้าที่ขึ้นเป็นกอหนาแน่น อยู่ตามธรรมชาติทั่วทุกภาคของประเทศไทยจากที่ลุ่มถึงที่ดอน สามารถขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกชนิด เจริญเติบโตโดยการแตกกอ ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง สามารถนำมาปลูกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำได้ดี มีระบบรากที่ลึกและมีจำนวนมาก แผ่กระจายลงไปในดินเสมือนกำแพงที่มีชีวิต ทั้งมีลำต้นและกอที่แน่นหนาสามารถลดแรงจากน้ำไหลบ่าได้อย่างดีตั้งแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัวเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจ้าอยู่หัวฯ ซึ่งได้ทรงริเริ่มและสนับสนุนการวิจัยและการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 เพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ และป้องกันการชะล้างพังทลายของลาดดิน หญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ หญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน

หญ้าแฝกดอน พบทั่วไปในที่ค่อนข้างแห้งแล้ง สามารถขึ้นได้ในที่แดดจัดและที่ร่มรำไร กอจะเตี้ยกว่าหญ้าแฝกลุ่ม ใบหยาบมีไขเคลือบน้อย เมื่อยาวเต็มที่จะโค้งลงคล้ายตะไคร้ หลังปลูกเมื่อตั้งตัวได้แล้วต้องการการดูแลน้อยกว่าหญ้าแฝกลุ่ม รากหยั่งลึก 80-100 เซนติเมตร เช่น พันธุ์ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ร้อยเอ็ด กำแพงเพชร 1 นครสวรรค์ และเลย

หญ้าแฝกลุ่ม มีใบและรากยาวกว่าหญ้าแฝกดอน รากหยั่งลึก 100-300 เซนติเมตร เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบมากทำให้มักเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีความชื้นสูงและในน้ำแช่ขัง ใบชี้ตรง ไม่ชอบที่ร่มรำไร เจริญเติบโตและขยายกอได้อย่างรวดเร็ว แต่ต้องมีการตัดใบจึงจะมีอายุยืนยาว เช่น พันธุ์สุราษฎร์ธานี กำแพงเพชร 2 ศรีลังกา สงขลา 3

จากข้อมูลข้างต้น ในการทดลองจึงเลือกใช้หญ้าแฝกลุ่ม เนื่องจากรากสามารถหยั่งลึกได้มากกว่าหญ้าแฝกดอน สามารถเติบโตได้หากในกรณีหน้าฝนแล้วเกิดน้ำแช่ขัง ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้คัดเลือกหญ้าแฝกโดยการสำรวจ รวบรวมจากสภาพนิเวศวิทยาต่างๆ ทั่วประเทศ จำนวน 122 ตัวอย่าง จากทำการคัดเลือกในเบื้องต้น หญ้าแฝกลุ่มที่เหมาะสมทั้งพื้นที่ดินทราย พื้นที่ดินร่วน-เหนียว พื้นที่ดินลูกรัง คือ สายพันธุ์ สงขลา 3

2.6.2. การประยุกต์ใช้หญ้าแฝกในงานวิศวกรรม

การใช้หญ้าแฝกในงานด้านวิศวกรรมปฐพีเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เช่น กรมทางหลวงประยุกต์ใช้ในบริเวณลาดดินคันทาง เพื่อเสริมเสถียรภาพในลาดดินต้นและป้องกันการกัดเซาะผิวดิน, การประยุกต์ใช้ในบริเวณลาดคอสะพาน เพื่อลดการกัดเซาะของดินจากกระแสน้ำ และกรมพัฒนาที่ดินประยุกต์ใช้ในงานอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก บ่อน้ำ สระน้ำ หรือแนวคลองส่งน้ำ เพื่อรักษาเสถียรภาพของลาดดิน รวมไปถึงลดการกัดเซาะของน้ำ

2.6.3. การคายระเหยของพืช (Vegetation Evapotranspiration)

Evapotranspiration (ET) คือกระบวนการที่น้ำจากดินและพืชระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ มาจากคำว่า "evaporation" (การระเหย) และ "transpiration" (การคายน้ำ) รวมกัน โดย Evaporation คือการที่น้ำจากพื้นผิวดิน น้ำในแม่น้ำ ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หรือพื้นผิวน้ำอื่นๆ ระเหยขึ้นสู่บรรยากาศโดยตรง และ Transpiration คือการที่พืชคายน้ำผ่านปากใบ (stomata) ออกสู่บรรยากาศ ดังนั้น

Evapotranspiration จึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณน้ำในดิน ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมทางกลและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุมัติ ทั้งนี้ ห้ามนำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางชลศาสตร์ของดิน เช่น การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน: Evapotranspiration ทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลง ส่งผลให้ดินแห้งและความชื้นลดลง ส่งผลต่อเสถียรภาพต่อลาดดิน

2.6.3.1. ผลกระทบของพืชต่อค่าแรงดูดในดิน (Matric suction)

ในการทดสอบของ Ng et al. (2016) ระบุทดสอบทั้งหมดอยู่ในห้องควบคุมสภาพบรรยากาศ ควบคุมการระเหย แสดงให้เห็นว่า ค่าแรงดูดที่เกิดจากพืชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าที่เกิดในดินเปล่าไม่ว่าจะมีความหนาแน่นของพืชเท่าใดก็ตาม ความดันสูงสุดที่เกิดจาก Evapotranspiration ที่ความลึก 50 มม. ในดินที่มีพืชสูงกว่าที่ในดินเปล่าที่ 64% ถึง 425% แรงดูดเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน นอกจากผลของการระเหยที่พื้นผิวดินแล้ว เหตุผลสำคัญที่ทำให้แรงดูดสูงขึ้นคือค่าของปริมาณรากที่ผิวดิน

2.6.3.2. ผลกระทบของพืชต่อเส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve)

Rahardjo และคณะ (2014) ได้ทำการทดสอบผลกระทบของต้นแก้ว (*Myrrata exotica* L.) และรากหญ้าแฝก (*Chrysopogon zizanioides*) ต่อคุณสมบัติการกักเก็บน้ำของดินตะกอน โดยมีปริมาณเนื้อดินละเอียดประมาณ 20%–30% สรุปได้ว่า 1) ไม่ว่าพืชชนิดใดก็ตาม เส้นคงค้างของน้ำในดินที่มีพืชจะอยู่สูงกว่าดินที่ไม่มีพืช ซึ่งหมายถึงดินที่มีพืชจะกักเก็บน้ำได้มากกว่าดินที่ไม่มีพืช 2) รากของพืชในดินส่งผลให้ค่า air-entry value (AEV) สูงขึ้น 3) อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น (desorption rate) เปลี่ยนไปอย่างชัดเจน จากการมีรากพืช โดยรากต้นแก้วมีอัตราการที่ ในขณะที่รากหญ้าแฝกทำให้อัตราเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันในช่วง 5 ถึง 9 kPa

2.6.3.3. ผลกระทบของพืชต่ออัตราการไหลของน้ำในดิน (Permeability and Hydraulic conductivity)

ความสามารถในการซึมน้ำของดินที่ไม่อิ่มตัวเป็นพารามิเตอร์ทางด้านชลศาสตร์ที่สำคัญเมื่อทำการวิเคราะห์การซึมผ่านในดินที่ไม่อิ่มตัว ในด้านหนึ่ง การศึกษาบางชิ้นแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการซึมน้ำของดินที่มีรากลดลงเมื่อเทียบกับดินเปล่า (Leung et al., 2015a; Rahardjo et al., 2014) สาเหตุที่เป็นไปได้คือการอุดตันของช่องว่างของดินโดยรากพืช (Buczko et al., 2007; Scanlan and Hinz, 2010; Leung et al., 2015a) อีกสาเหตุหนึ่งที่เป็นไปได้คือสารอินทรีย์ที่ไม่น้ำที่ปล่อยออกมาจากราก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และฟอสโฟลิพิด (Bengough, 2012) อาจทำให้ k_s ในดินที่มีพืชลดลง Gadi et al. (2016) พบว่าความสามารถในการซึมน้ำที่ลดลงในดินที่มีพืชอาจแสดงให้เห็นเฉพาะในระยะแรกของพืชเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางตรงกันข้าม การศึกษาภาคสนามบางชิ้น (van Noordwijk et al., 1991; Mitchell et al., 1995; Rachman et al., 2004; Vergani and Graf, 2015) แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการซึมน้ำในดินที่มีพีชสูงกว่าดินเปล่า Rachman et al. (2004) ปริมาณการเพิ่มขึ้นในการซึมน้ำที่อิ่มตัวขึ้นอยู่กับตำแหน่งและความลึกที่วัด พบว่าความสามารถในการซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากช่องทางการไหลที่เกิดจากรากพืช (Ghestem et al., 2011; Wu et al., 2016) สาเหตุหลักหนึ่งที่ทำให้เกิดการไหลที่เลือกเกิดจากรากพืชตายหรือสลายตัว (Li and Ghodrati, 1994; Vergani and Graf, 2015) หลังจากการสลายตัวของราก รากพืชจะสร้างรูพรุนขนาดใหญ่ (Ghestem et al., 2011) พบว่าการเพิ่ม ks ที่เกิดจากรากพืชเพิ่มขึ้น 1.3–6.5 เท่าเนื่องจากการสลายตัว/การชราของราก (Li and Ghodrati, 1994; Rasse et al., 2000; Scanlan, 2009; Vergani and Graf, 2015)

2.6.3.4. Analytical model for SWRC

ในงานวิจัยของ Ni et al 2016 แสดงให้เห็นว่าพีชส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านชลศาสตร์ของดิน ที่เกิดจากการคายระเหยของพีช (ET) รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงเส้นโค้งค้างของน้ำของดิน (SWRC) ด้วย ในการจำลองโมเดลที่สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงของ SWRC ที่เกิดจากรากพืชได้ โมเดลเหล่านี้มักมีพารามิเตอร์หลายตัวที่ไม่ง่ายต่อการหามา และเปรียบเทียบ งานวิจัยนี้จึงเสนอโมเดลใหม่ อย่างง่ายที่ต้องการพารามิเตอร์จากรากพืชหนึ่งตัว คือ อัตราส่วนปริมาตรราก (RV) เพื่อใช้ทำนาย SWRC ของดินที่มีรากพืช โมเดลใหม่นี้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างของดินจากการลดลงของปริมาตรช่องว่างในดิน ที่ถูกแทนที่ด้วยรากพืช จากนั้นอัตราส่วนช่องว่างของดินที่มีรากพืช จะใช้ในโมเดล SWRC เพื่อทำนายพฤติกรรมของ SWRC ที่จะเกิดขึ้น และสุดท้ายจากงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องจะเห็นได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 13%

บทที่ 3

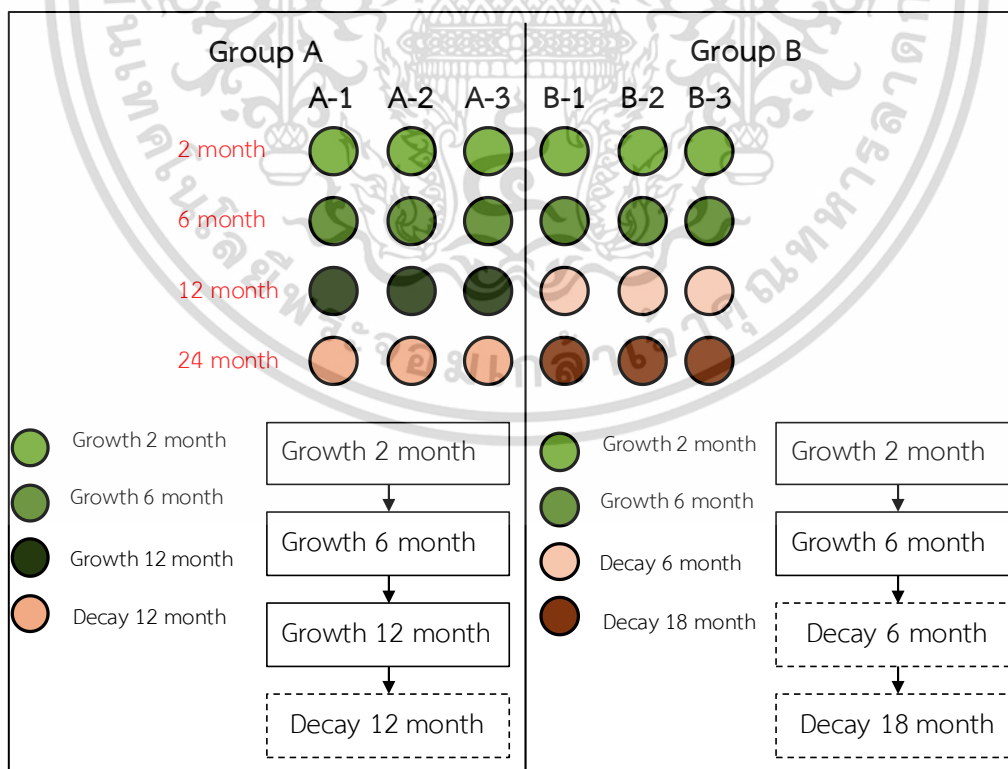
กระบวนการวิจัย

3.1.แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้ ศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านกลศาสตร์ของดินจากการเจริญเติบโต และการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก ในดินลูกรัง ซึ่งจะแบบออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ตัวอย่าง แสดงแผนการทดสอบดังรูปที่ 3-1 โดยตัวอย่างทั้งหมด จะเจริญเติบโตในสถานที่ ที่มีอากาศถ่ายเทและได้รับแสงแดดในช่วงกลางวัน โดยรดมีการรดน้ำ ทุกๆ 2 วัน และจะให้รากหญ้าแฝกเสื่อมสลายโดยการตัดใบหญ้าแฝกทั้งหมดทิ้งลงไปในถังโคลนคลุมตัวอย่างทั้งหมดไม่ให้โดนแสงแดด และงดน้ำ เพื่อปล่อยให้รากเสื่อมสภาพตามเวลา

ในกลุ่ม A จะทำการทดสอบช่วงการเจริญเติบโต ที่อายุ 2 สัปดาห์, 2 เดือน, 6 เดือน และ 12 เดือน โดยจะมีการตัดใบให้เหลือ 15 ซม. หลังจากการทดสอบที่อายุ 6 เดือน เพื่อทำการเร่งการเจริญเติบโตของราก (Li X et al. 2021) หลังจากนั้นตัวอย่างจะถูกปล่อยให้รากพืชเกิดการเสื่อมสภาพเป็นระยะเวลา 12 เดือน

ในกลุ่ม B จะทำการทดสอบช่วงการเจริญเติบโต ที่อายุ 2 สัปดาห์, 2 เดือน และ 6 เดือน หลังจากการทดสอบที่อายุ 6 เดือน ตัวอย่างจะถูกปล่อยให้รากพืชเกิดการเสื่อมสภาพเป็นระยะเวลา 6 และ 18 เดือน



รูปที่ 3-1 แผนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. พืชพรรณที่ใช้ในงานวิจัย

ในการศึกษานี้ พืชพรรณที่ใช้ในการศึกษาคือ หญ้าแฝก (*Chrysopogon zizanioides*) โดยใช้ หญ้าแฝก ชนิดลุ่ม สายพันธุ์สงขลา 3 หรือพันธุ์พระราชทาน มีระบบรากที่หยั่งลึกถึง 1-3 เมตร และมีจำนวนรากมากแผ่ ขยายเสมือนร่างแห จึงนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะ หรือการพังทลายของลาดดินระดับตื้น หรือเรียกว่า วิธีทางชีววิศวกรรม (Soil-Bioengineering) (Phan, N.T. et al. 2021)

3.2.1. การเตรียมต้นอ่อนสำหรับการวิจัย

ในการเตรียมตัวอย่างหญ้าแฝก จะทำการนำหญ้าแฝกที่เป็นต้นอ่อน ไปแช่น้ำสะอาด ในที่ร่ม เพื่อให้ราก อ่อนงอก เป็นเวลา 2 คืน หลังจากนั้นคัดต้นที่มีการแตกรากเพิ่มเติม สภาพแข็งแรง ไปทำการอนุบาลในดินมูล ไส้เดือนเป็นเวลา 2 อาทิตย์ ให้ต้นอ่อนแข็งแรง หลังจากนั้น ทำการตัดแต่งต้นอ่อน ให้ใบยาว 15 ซม. รากยาว 3 ซม. ก่อนนำลงไปปลูกในตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3-2 การเตรียมต้นอ่อนหญ้าแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3 การอนุบาลต้นอ่อนหญ้าแฝกในดินมูลไส้เดือน



รูปที่ 3-4 ต้นอ่อนหญ้าแฝกหลังจากอนุบาลในดินมูลไส้เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 ต้นอ่อนหญ้าแฝกก่อนปลูกลงในกระบอกทดสอบ

3.3. ดินที่ใช้สำหรับงานวิจัย

3.3.1. การเตรียมดินสำหรับการวิจัย

ดินนำมาใช้งานวิจัยนี้ เป็นดินลูกรัง ที่มาจากจ.ฉะเชิงเทรา โดยจะทำการอบที่ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรง โดยให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อนำกรวดและหินขนาดใหญ่ออก ให้ดินลูกรังมีขนาดคละน้อยกว่า 4.75 มม. (Sieve no.4)



รูปที่ 3-6 เตรียมดินโดยการร่อนผ่านตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

ในการวิจัยนี้ ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติพื้นฐานของดิน ก่อนเริ่มการกระบวนการวิจัยตามจุดประสงค์ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินดังต่อไปนี้

3.3.2.1. การทดสอบขีดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg limit test)

เป็นการทดสอบเพื่อหาความชื้นในมวลดินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน ทั้งในด้านการเปลี่ยนสถานะภาพ เช่น ปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดที่ดินจะเริ่มไหลเหมือนของเหลว (liquid limit), ปริมาณความชื้นที่ดินจะเปลี่ยนสถานะจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง (Plastic limit) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D4318 ในงานวิจัยนี้ไม่มีการทดสอบหาพิกัดหดตัว (Shrinkage limit)

3.3.2.2. การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific gravity test)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) ของดินจะมีค่าเฉลี่ยจะอยู่ในระหว่าง 2.60 ถึง 2.70 ซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำคัญอีกค่าหนึ่ง ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรช่องว่าง (Void Volume) ความอิ่มตัว (Degree of Saturation) ความพรุน (Porosity) และอื่นๆ โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D854

3.3.2.3. การหาขนาดเม็ดดิน (Grain size analysis test)

เป็นการทดสอบเพื่อหาขนาดคละ และการกระจายตัวของดิน ในงานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบเฉพาะวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) สำหรับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มม. ขึ้นไป (ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 200) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D422

3.3.2.4. การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction test)

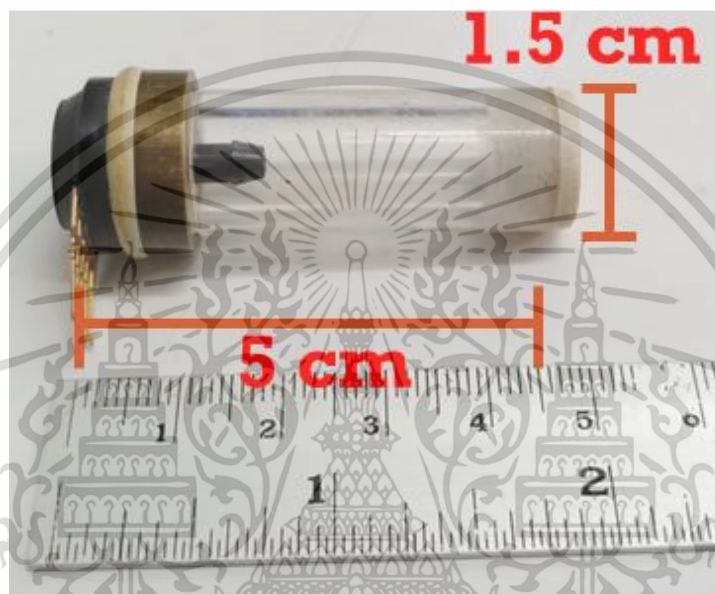
เป็นการทดสอบเพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบด้วยวิธีทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ตามมาตรฐาน ASTM D698

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. การเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์

3.4.1. เครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน (Tensiometer) และกล่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

เครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน (Tensiometer) (Jotisankasa A 2010) ประกอบด้วยแผ่นเซรามิก กระเปาะเก็บน้ำ และเซนเซอร์สำหรับวัดแรงดูดของน้ำ (Matric suction) ต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data logger) ซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 0.1 - 90 kPa และมีความแม่นยำอยู่ที่ ± 1.50 kPa



รูปที่ 3-7 เครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน (Tensiometer)



รูปที่ 3-8 สอบเทียบเครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2. เครื่องมือวัดแรงดันน้ำติดลบ แบบแรงดันลบสูง (High suction sensor)

มีการเก็บค่าด้วย เครื่องมือวัดแรงดันน้ำติดลบ แบบแรงดันลบสูง (High-suction sensor) หรือเรียกว่า MPS-6 (METER Group 2023) ซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 10-2000 kPa และมีความแม่นยำอยู่ที่ ± 0.10 kPa ติดตั้งที่ผิวดิน ในตัวอย่างทดสอบ A-1



รูปที่ 3-9 สอบเทียบเครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน

3.4.3. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดสูง (Precision balance)

สำหรับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร จะทดสอบโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 10-2000 กรัม และมีความแม่นยำอยู่ที่ ± 0.10 กรัม



รูปที่ 3-10 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดสูง (Precision balance)

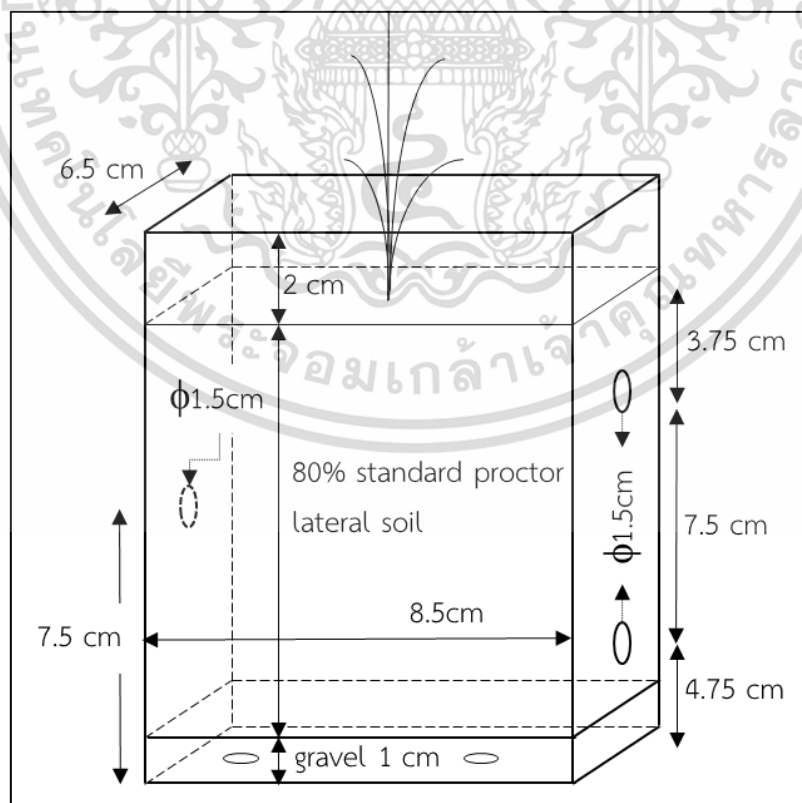
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

งานวิจัยนี้ ทดลองในกระบอกอะคริลิกใส ทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 6.5×8.5 ซม. สูง 18 ซม. ทำการเจาะรูด้านล่างเพื่อช่องระบายน้ำ และเจาะรูด้านข้างที่ระดับ 5.75, 9.50 และ 13.25 ซม. จากผิวดิน ขนาด 1.5 ซม. สำหรับติดตั้งเครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน (Tensiometer) แสดงดังรูปที่ 3-9

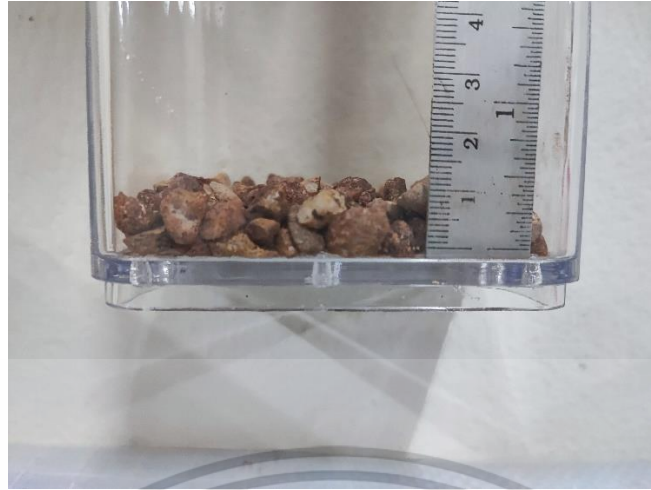
โดยทั่วไปในงานวิศวกรรม การบดอัดดินมักกำหนดระดับการบดอัดที่ 95% Standard Proctor อย่างไรก็ตาม ดินที่มีความแน่นสูง จะไม่เหมาะกับการปลูกพืช เนื่องจากดินมีความพรุนต่ำ ทั้งนี้ระดับการบดอัดที่เหมาะสมทั้งการเจริญเติบโตของพืช และในขณะเดียวกันก็มีกำลังรับแรงเฉือนในระดับหนึ่ง ในช่วง 80 – 85 % Standard Proctor (Gray, D.H. 2002) ในการวิจัยนี้ ได้มีการเสนอการเลือกระดับการบดอัดมาตรฐานที่ 80% เพื่อเป็นตัวแทนและแนวทางการศึกษาการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการบดอัดคุณภาพต่ำ

ก่อนการบดอัดดินลงกระบอกจะทำชั้นกรองน้ำ (filter layer) โดยใช้กรวดรองกันหนา 1 ซม. เพื่อป้องกันการหลุดออกของเม็ดดินขนาดเล็ก (fine particle) จากกระบวนการ Wetting-Drying ของการรดน้ำในระหว่างการทดสอบ หลังจากนั้นทำการปิดรูสำหรับเครื่องมือวัดแรงดันน้ำในดิน (Tensiometer) และเริ่มบดอัดดินให้มีความหนาแน่น 1509 กก./ลบ.ม. ที่ Optimum water content = 12.5% โดยมวล โดยทำการบดอัดที่ละ 2 ซม. จนครบความสูงดิน ที่ 15 ซม.



รูปที่ 3-11 แบบแสดงตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-12 ชั้นระบายน้ำของกระบอกทดสอบ



รูปที่ 3-13 การบดอัดดินในกระบอกทดสอบ



รูปที่ 3-14 กระบอกทดสอบก่อนปลูกหญ้าแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1. ในช่วงการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝก (Growth root)

ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ ของช่วงการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝก จะทำการเจาะรูที่ผิวดินของกระบอกลทดสอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. ลึก 2 ซม. ใส่ปุ๋ยแบบเม็ดลงไป 3 เม็ด ในหลุม และปลูกลงในหลุมหญ้าแฝกที่อนุบาลไว้แล้วลงไป หลังจากนั้นจะทำการเติมดินมูลไส้เดือนเข้าไปในช่องว่างของหลุม

หลังจากปลูกลงในหลุมหญ้าแฝกของกระบอกลทดสอบจะทำการคลุมดินข้างกระบอกลให้มิดชิด ป้องกันแสงแดดสัมผัสกับดินด้านข้างกระบอกล เนื่องจากรากจะเจริญเติบโตหนีแสงแดด หรือเรียกว่า negative phototropism (Wang Z et al. 2002) แสดงดังรูปที่ 3-15 และระหว่างการทำทดสอบในช่วงนี้ จะทำการรดน้ำทุกๆ 2 วัน และเริ่มทำการทดสอบตามแผนการวิจัยแสดงดังรูป 3-1 โดยเมื่อหญ้าแฝกมีอายุ 6 เดือน จะมีการตัดใบให้เหลือ 15 ซม. เพื่อเป็นการเร่งการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝก (Li X et al. 2021)



รูปที่ 3-15 การปลูกหญ้าแฝกในกระบอกลตัวอย่าง



รูปที่ 3-16 กระบอกลทดสอบในช่วงการเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2. ในช่วงการหดตัวและเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก (Decay root)

สำหรับช่วงการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก จะให้รากหญ้าแฝกเสื่อมสลายโดยการตัดใบหญ้าแฝกทั้งหมด ลีกลงไปจนถึงโคน คลุมตัวอย่างทั้งหมดไม่ให้โดนแสงแดด และงดน้ำ เพื่อปล่อยให้รากเสื่อมสภาพตามเวลา ซึ่ง จะเริ่มทำการฆ่าหญ้าแฝกหลังจากการทดสอบช่วงการเจริญเติบโต ในตัวอย่างกลุ่ม A ที่อายุการเติบโต 12 เดือน และตัวอย่างกลุ่ม B ที่อายุการเติบโต 6 เดือน ตามแผนการวิจัยแสดงดังรูป 3-1



รูปที่ 3-17 การฆ่าหญ้าแฝกด้วยการตัดใบหญ้าแฝก



รูปที่ 3-18 ครอบทดสอบในช่วงการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6. การทดสอบผลกระทบของรากพืชต่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน (Hydraulic properties)

3.6.1. การทดสอบหาค่าอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability)

ก่อนการทดสอบจะทำให้กระบอกทดสอบอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยใช้วิธี Bottom up เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง ให้ตัวอย่างทดสอบค่อยๆ อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยจำลองให้น้ำไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน

หลังจากนั้นจะนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ และเริ่มทำการทดสอบด้วยวิธี constant head โดยรักษาระดับน้ำเหนือผิวดิน 1 ซม. โดยจะปล่อยให้ น้ำไหลออกจากก้นกระบอก เป็นเวลา 2 ชม. ก่อนทำการเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability) และหลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักกระบอกทดสอบ เพื่อนำไปหาค่าปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตรของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated volumetric water content) และไปทดสอบหาเส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve) ต่อไป



รูปที่ 3-19 การทำให้ดินกระบอกทดสอบอิ่มตัวด้วยน้ำ

3.6.2. การทดสอบหาเส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve)

ทำการทดสอบโดยการจำลองการระเหยของน้ำออกจากมวลดิน (Drying process) แสดงในรูปที่ 3-19 โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำติดลบ (Matric Suction) และปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร (Volumetric Water Content) ในกระบอกดิน

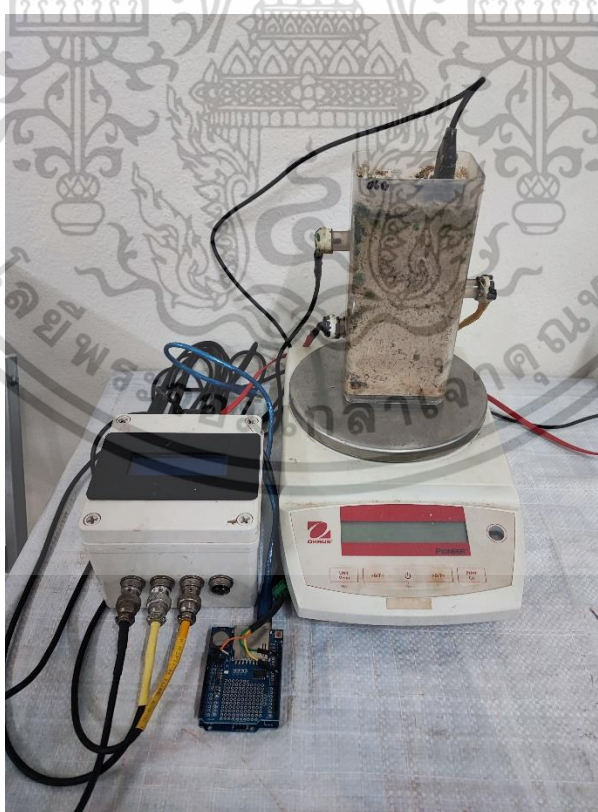
เริ่มทำการทดสอบหลังจากการหาค่าอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability) และปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตรของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated volumetric water content) หลังจากนั้นทำการปิดช่องระบายน้ำ เพื่อจำลองการระเหยของน้ำออกจากมวลดิน (Drying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

process) และติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำในดิน (Tensiometer) เข้ากับ Data logger พร้อมกับเก็บค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณในดินด้วยเครื่องชั่งละเอียด

โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 12 ชั่วโมง โดยจะเสร็จสิ้นการทดสอบเมื่อค่าแรงดูด (Matric Suction) เพิ่มขึ้นจาก 0 kPa ถึง 90 kPa แต่ในระบอบที่ A-1 ที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำติดลบ แบบแรงดันลบสูง (High suction sensor) หรือ MPS-6 จะทำการเก็บค่าต่อเนื่องจนค่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 24 ชม.

ในการศึกษาครั้งนี้ จะศึกษาเฉพาะเส้นโค้ง Boundary Drying curve สำหรับกรณีดินมีสถานะเริ่มต้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำและดินค่อยๆแห้งจนดินมีความชื้นต่ำที่สุดที่เครื่องมือตรวจวัดอ่านค่าได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นไม่มีการศึกษาในเส้นโค้ง Boundary Wetting curve เนื่องจากการทดสอบเพื่อหาเส้นดังกล่าว จำเป็นต้องทดสอบแบบทำลาย โดยต้องเริ่มทดสอบจากความชื้นคงค้างต่ำสุด (Residual water content) หรือก็คือตัวอย่างดินที่ความชื้นเป็นศูนย์ หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินไปบอบไล่ความชื้น ถัดมาค่อยๆเพิ่มปริมาณความชื้น รอให้ความชื้นในตัวอย่างสมดุล จึงจะวัดค่าต่างๆได้ และทำการเพิ่มความชื้นไปจนกระทั่งค่าแรงดูดของดินจะเป็นศูนย์ ซึ่งถ้าหากการทดสอบ Wetting process ไม่ได้ทำการทดสอบจากค่าความชื้นคงค้างต่ำสุด เส้นโค้งที่ได้จะเป็นเพียง Scanning curve ที่แตกออกจากเส้น Drying curve จึงทำให้งานวิจัยนี้ ไม่ได้มีการศึกษาผลกระทบของรากพืชต่อลักษณะ Hysteresis ของเส้นคงค้างของน้ำในดิน



รูปที่ 3-20 การทดสอบหาเส้นคงค้างของน้ำในดิน (Test set up)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3. การปรับเส้นโค้ง (Fitting curve) ของเส้นค้งค่างของน้ำในดิน โดยใช้สมการของ Van Genuchten

หลังจากการทดสอบเพื่อหาเส้นค้งค่างของน้ำในดิน จะนำข้อมูลแรงดันน้ำติดลบ (Matric Suction) และ ปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร (Volumetric Water Content) มาแสดงเป็นจุดความสัมพันธ์ และใช้สมการทาง คณิตศาสตร์แสดงเส้นความสัมพันธ์ ในงานวิจัยนี้ใช้สมการของ Van Genuchten (1980) และใช้โปรแกรม SWRC fit (Seki, K. et al. 2022) ในการปรับเส้นโค้ง (Fitting curve) ของเส้นค้งค่างของน้ำในดิน

Van Genuchten model (1980) เป็นความสัมพันธ์ของรูปกราฟลักษณะ Symmetric sigmoidal (S-curve สมมาตร) สามารถจำลองพฤติกรรมในช่วงใกล้ลิมิตตัว (Air-entry suction) และช่วงใกล้จุด Residual ซึ่ง กราฟมีลักษณะโค้งมนได้ดีกว่าสมการรูปแบบอื่นๆ

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha |\Psi_m|)^{n_i}} \right]^{m_i}; m_i = 1 - \frac{1}{n_i}$$

สำหรับสมการ Van Genuchten รูปแบบ Unimodal

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = w_1 \left[\frac{1}{1 + (\alpha_1 |\Psi_m|)^{n_1}} \right]^{m_1} + (1 - w_1) \left[\frac{1}{1 + (\alpha_2 |\Psi_m|)^{n_2}} \right]^{m_2}; m_i = 1 - \frac{1}{n_i}$$

สำหรับสมการ Van Genuchten รูปแบบ Bimodal

โดยที่ S_e คือ สัดส่วนความอิ่มตัวด้วยน้ำสัมพัทธ์ของดิน (Effective Saturation)

θ_s คือ ปริมาณน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำโดยปริมาตร
(Saturated Volumetric water content)

θ_r คือ ปริมาณน้ำค้งค่างของน้ำในดินโดยปริมาตร
(Residual Volumetric water content)

Ψ_m คือ ค่าแรงดันติดลบ หรือแรงดูดในดิน (Matric suction)

α_i คือ พารามิเตอร์ควบคุมเส้นโค้ง

m_i คือ พารามิเตอร์ควบคุมเส้นโค้ง ที่แปรผันตาม n_i โดยที่ความสัมพันธ์อย่างง่าย

$m_i = 1 - \frac{1}{n_i}$ มีการศึกษาเชิงประจักษ์โดยใช้ชุดข้อมูลจำนวนมาก และพิสูจน์การ

ทำนายพฤติกรรมเส้นค้งค่างของน้ำในดินในอดีตโดย Van Genuchten, M. Th. (1980); Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., & Saxton, K. E. (1982); Schaap, M.

G., Leij, F. J., & van Genuchten, M. Th. (2001); Wösten, J. H. M.,

Pachepsky, Y. A., & Rawls, W. J. (2001) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า สามารถใช้ความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวในดินชนิดต่างๆ ได้ดี ตั้งแต่ดินทรายจนถึงดินเหนียว เพื่อให้สะดวกในการปรับเส้นโค้งของเส้นคงค้างของน้ำในดิน

n_i คือ พารามิเตอร์ควบคุมเส้นโค้ง

w_1 คือ พารามิเตอร์ควบคุมเส้นโค้ง สำหรับรูปแบบ Bimodal

SWRC Fit

SWRC Fit can fit [several soil hydraulic models](#) to measured [soil water retention](#) data. Copy your soil water retention data in the textbox below and press "Calculate" button. Before you use your original data you can see how it works by selecting a sample data from the pull-down menu.

Model selection

Brooks and Corey
 van Genuchten
 Kosugi
 Fredlund and Xing
 dual-BC-CH
 VG₁BC₂-CH
 dual-VG-CH
 KO₁BC₂-CH
 dual-BC
 dual-VG
 dual-KO

Figure option
 Show only one model

[Show more options](#)

Soil Water Retention Curve

Select from sample data ▼

UNSODA = 1270
 Soil sample = Superior, AZ, US
 Texture = Tuffaceous Rock
 Author = Rasmussen et al.

100	0.167
250	0.158
500	0.147
1000	0.123
3000	0.098
5000	0.086
10000	0.083
50000	0.07

[News]

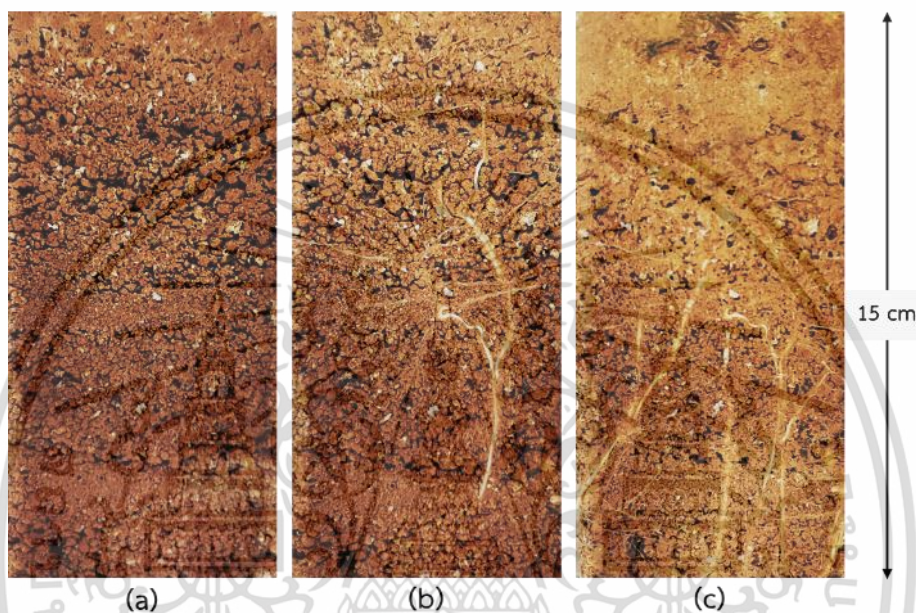
- This is a completely new version of SWRC Fit with bimodal models in [this publication](#).
- [Improvement of dual-VG model](#) was implemented.
- Please also check [UNSODA viewer](#) and [unsatfit](#).

รูปที่ 3-21 โปรแกรมการปรับเส้นโค้งของเส้นคงค้างของน้ำในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

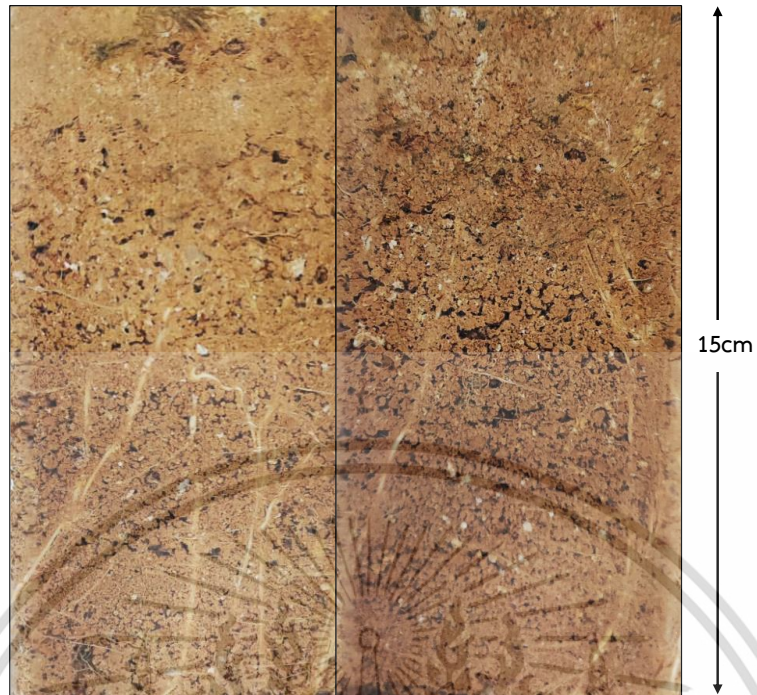
3.6.4. ลักษณะของหญ้าแฝก (Leaf characteristic) และรากของหญ้าแฝก (Side root photo)

ก่อนการทดสอบในแต่ละช่วงอายุ จะทำการบันทึกปริมาณและความยาวของลำต้นหญ้าแฝก และบันทึกภาพด้านข้างของกระบอกทดสอบ เพื่อศึกษาลักษณะและปริมาณรากหญ้าแฝกด้วยสายตา หลังจากนั้นจะนำมาหาปริมาณรากต่อพื้นที่ (side root area ratio) โดยจะนำภาพด้านหน้า-หลังกระบอกมาต่อกันลากเส้นรากด้วยมือ เพื่อหาปริมาณรากต่อพื้นที่ แสดงดังรูปที่ 3-23 และ 3-24



รูปที่ 3-22 ภาพถ่ายด้านข้างกระบอกทดสอบ (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)
 (b) ดินหญ้าแฝก อายุ 6 เดือน (Vetiver soil 6 months)
 (c) ดินหญ้าแฝก อายุ 12 เดือน (Vetiver soil 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-23 ภาพถ่ายด้าน-หลัง กระจกทดสอบดินที่มีรากหญ้าแฝก



รูปที่ 3-24 การหาปริมาณรากต่อพื้นที่ (side root area ratio)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยผลกระทบจากการเจริญเติบโตและเสื่อมสลายของรากพืช ต่อคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของดิน

4.1. คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

ดินนำมาใช้งานวิจัยนี้ เป็นดินลูกรัง ที่มาจากจ.ฉะเชิงเทรา โดยทำการร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดคละระหว่าง 0.075 (Sieve no.200) ถึง 4.75 มม.(Sieve no.4) สรุปผลคุณสมบัติดินดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ตารางคุณสมบัติดินลูกรัง

Parameter	Value	Unit
Specific gravity (G_s)	2.61	-
Maximum dry density	1887	kg/m ³
Target dry density (80% Standard Proctor)	1509	kg/m ³
Optimum moisture content	12.15	%
D60	0.75	mm
D30	0.35	mm
D10	0.15	mm
Saturated hydraulic conductivity (k_{sat})	1E-7	m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของหญ้าแฝก

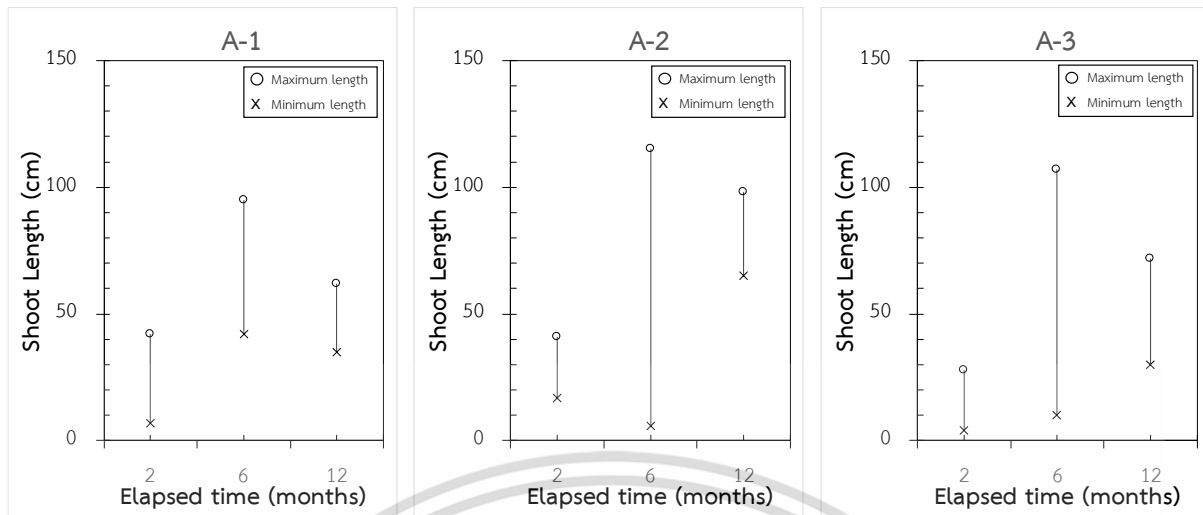
4.2.1. การเปลี่ยนแปลงของลำต้นหญ้าแฝก (shoot) ในช่วงการเจริญเติบโต

ก่อนทำการทดสอบหาเส้นคงค้างของน้ำในดิน (SWRC) จะทำการจดบันทึกลักษณะของลำต้นหญ้าแฝก (shoot) โดยแสดงรายละเอียดความยาวและปริมาณของลำต้น แสดงในตารางที่ 4-2 และรูปที่ 4-1 ถึง 4-4 ซึ่งลำต้นของหญ้าแฝก (shoot length) จะมีความยาวถึง 120 ซม. และมีวัฏจักรการเสื่อมสลายและแตกหน่อ งอกใหม่ของใบมากถึง 10-15 ใบ ตลอดช่วงการเจริญเติบโต

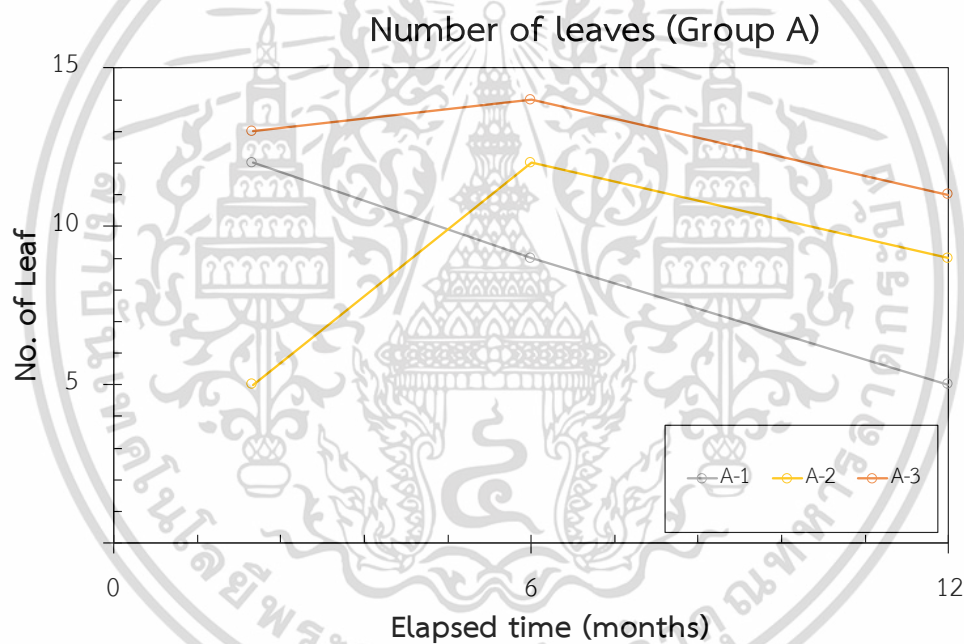
ตารางที่ 4-2 ตารางลักษณะของลำต้นหญ้าแฝกในช่วงการเจริญเติบโต

Sample	Vetiver Aged 2 months		Vetiver Aged 6 months		Vetiver Aged 12 months	
	Length of shoot	Number of shoot	Length of shoot	Number of shoot	Length of shoot	Number of shoot
A-1	7-42 cm	12	45-95 cm	9	35-62 cm	5
A-2	17-41 cm	5	6-115 cm	12	65-98 cm	9
A-3	4-28 cm	13	10-107 cm	14	30-72 cm	11
B-1	19-38 cm	4	64-106 cm	6	Decay phase	
B-2	8-38 cm	5	76-122 cm	7		
B-3	11-43 cm	6	9-102 cm	13		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

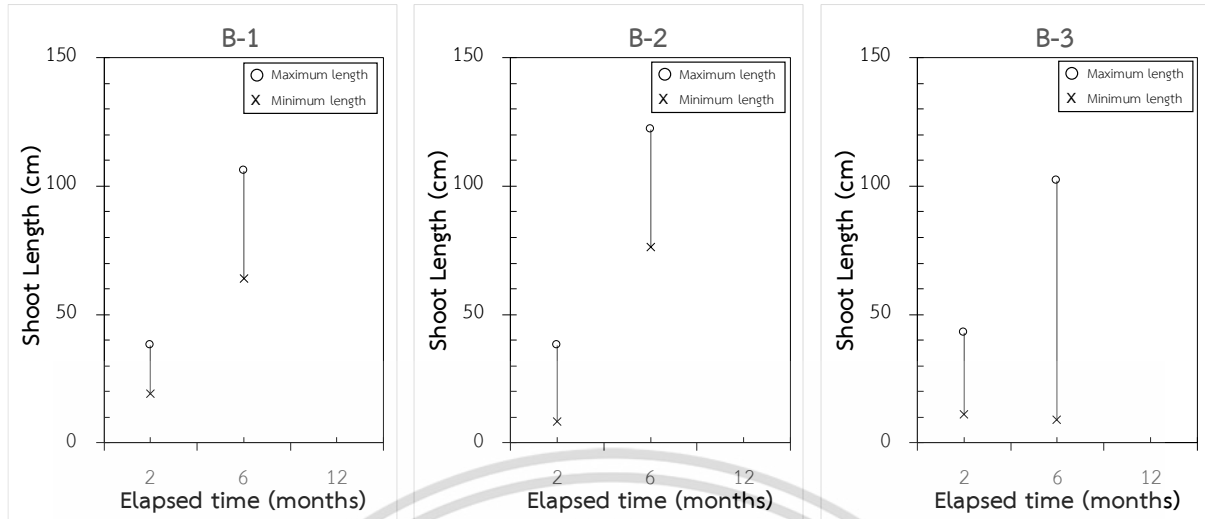


รูปที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงความยาวของลำต้นหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม A

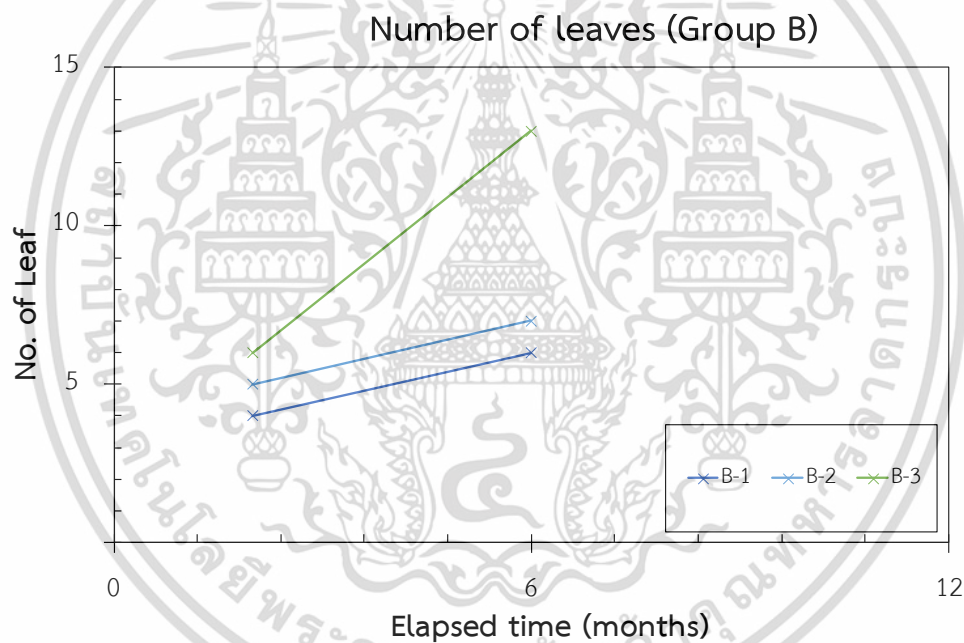


รูปที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนลำต้นหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงความยาวของลำต้นหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม กลุ่ม B



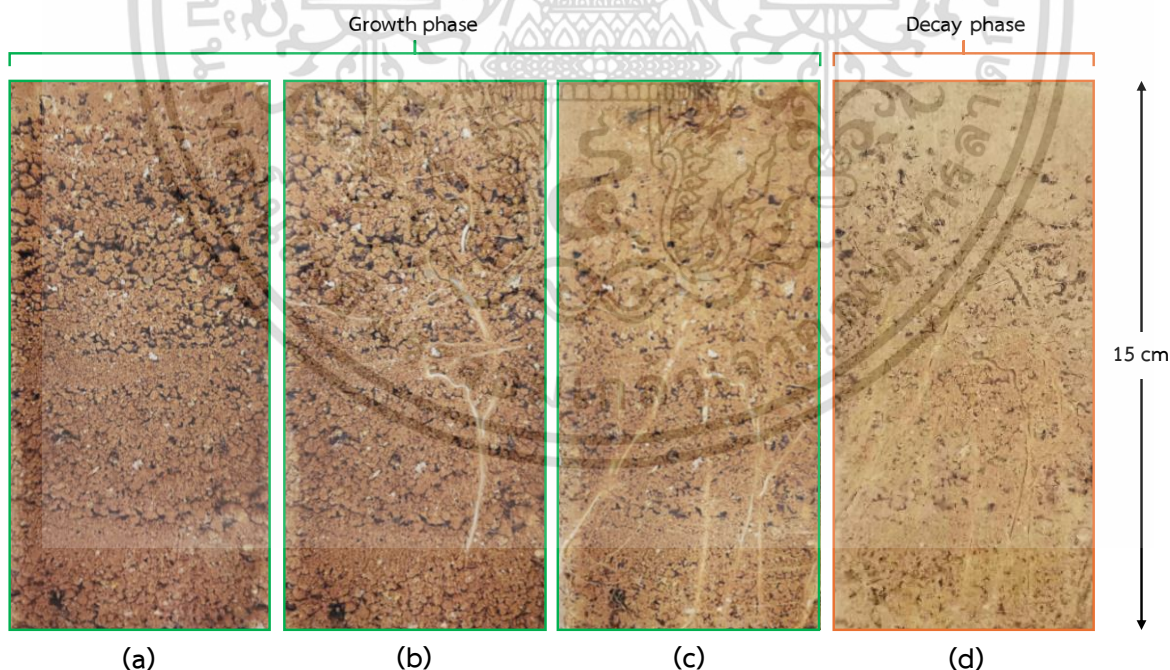
รูปที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนลำต้นหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกในดินลูกรัง

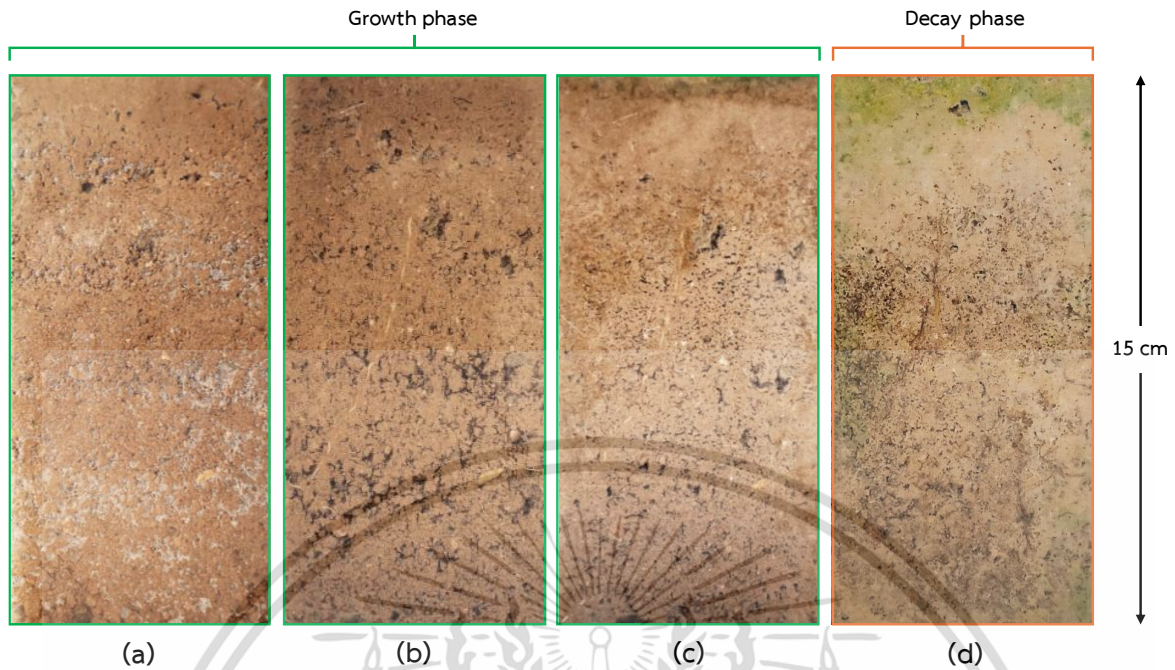
4.2.2.1. กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน)

การจากศึกษานี้ได้ทำการปลูกหญ้าแฝกลงไปในดินลูกรัง และทำการบันทึกภาพด้านข้างกระบอกทดสอบ แสดงในรูป 4-5 ถึง 4-7 ตามลำดับกระบอกทดสอบกลุ่ม A และหาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรากต่อพื้นที่ (side root area ratio) แสดงดังรูปที่ 4-8 และ 4-9 โดยจะแสดงรูปภาพโครงสร้างดินด้านข้างดังรูปย่อย (a) ที่บดอัดที่ 80% Standard proctor เพื่อให้มีช่องว่างเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช หลังจากผ่านไป 6 เดือน จะสังเกตเห็นว่า รากแก้วจะเจริญเติบโตเจาะดินไปในแนวดิ่ง และจะมีรากฝอยที่แตกออกจากรากแก้ว เจริญเติบโตไปในแนวด้านข้าง แทรกตามช่องว่างของดินแสดงดังรูปย่อย (b) และหลังจากหญ้าแฝกมีอายุได้ 12 เดือน จะเห็นได้ว่า ปริมาณรากแก้วในแนวดิ่งมีเพิ่มขึ้น มีความหนาแน่นเฉลี่ยทั่วกระบอก และรากฝอยโตแทรกช่องว่างของดิน และมีความหนาแน่นมากในบริเวณใกล้ผิวดินแสดงดังรูปย่อย (c) โดยหลังจากการทดสอบช่วงการเจริญเติบโตที่อายุ 12 เดือน จะทำการฆ่าหญ้าด้วยการตัดใบหญ้าแฝกสีกไปถึงโคน คลุมตัวอย่างไม่ให้โดนแสง และรดให้น้ำเป็นเวลา 12 เดือน จะเห็นได้ว่ารากแก้วมีการหดตัวจนเกิดช่องว่างเพิ่มขึ้น ระหว่างรากพืชกับดินอย่างชัดเจน และรากฝอยได้ย่อยสลายหายไป จนทำให้โครงสร้างดินบางส่วนเกิดการพังทลายปิดช่องว่างของดินแสดงดังรูปย่อย (d)

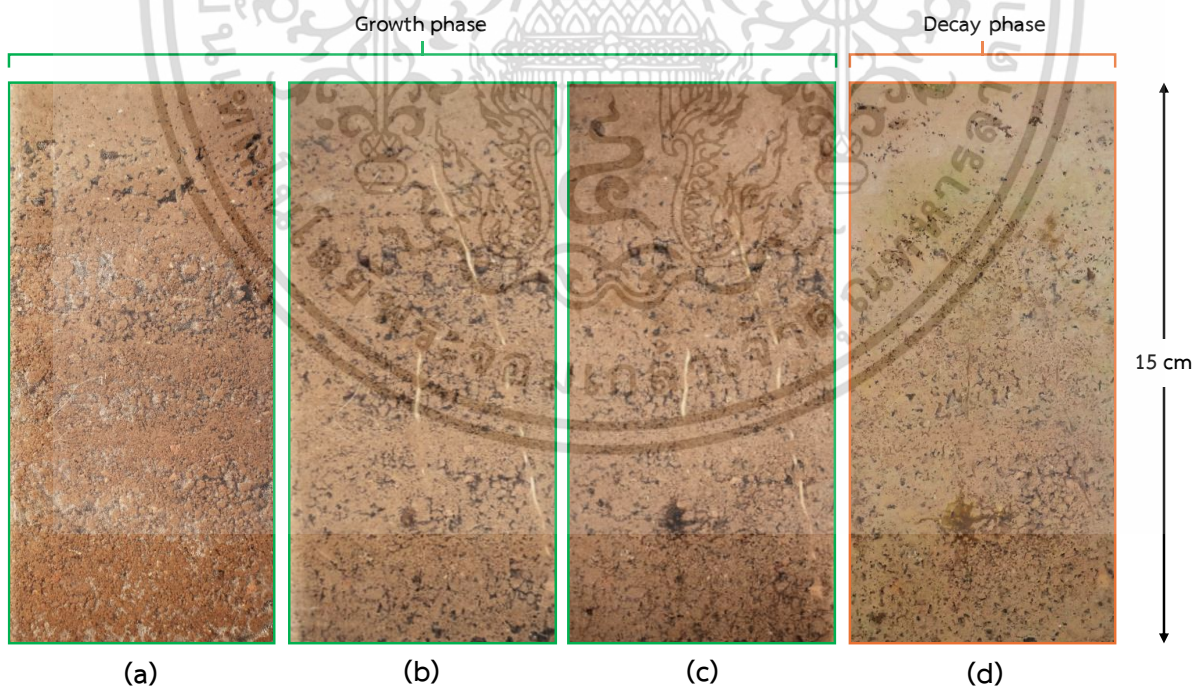


รูปที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ A-1 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil) (b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months) (c) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Growth 12 months) (d) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Growth 12 months Decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

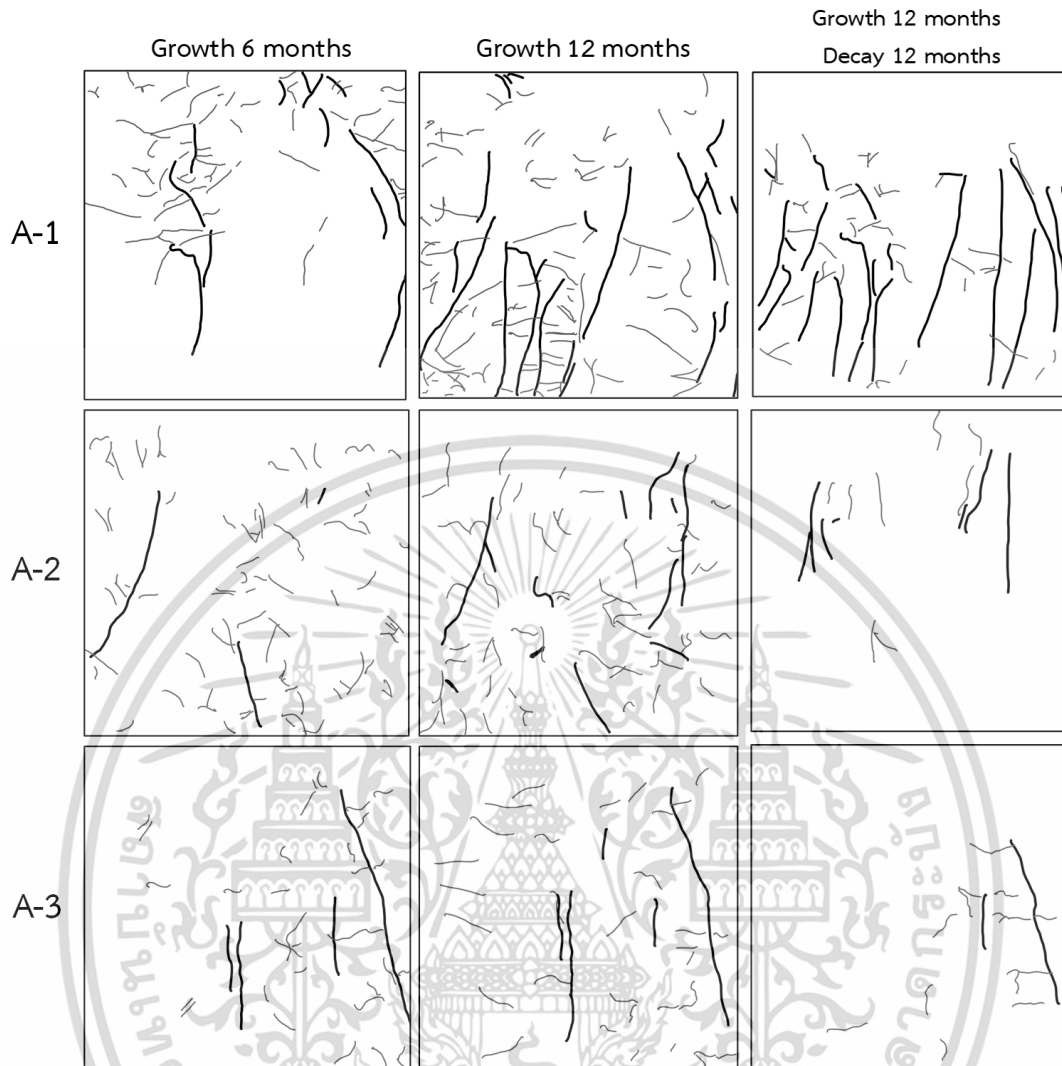


รูปที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ A-2 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil) (b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months) (c) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Growth 12 months) (d) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Growth 12 months Decay 12 months)

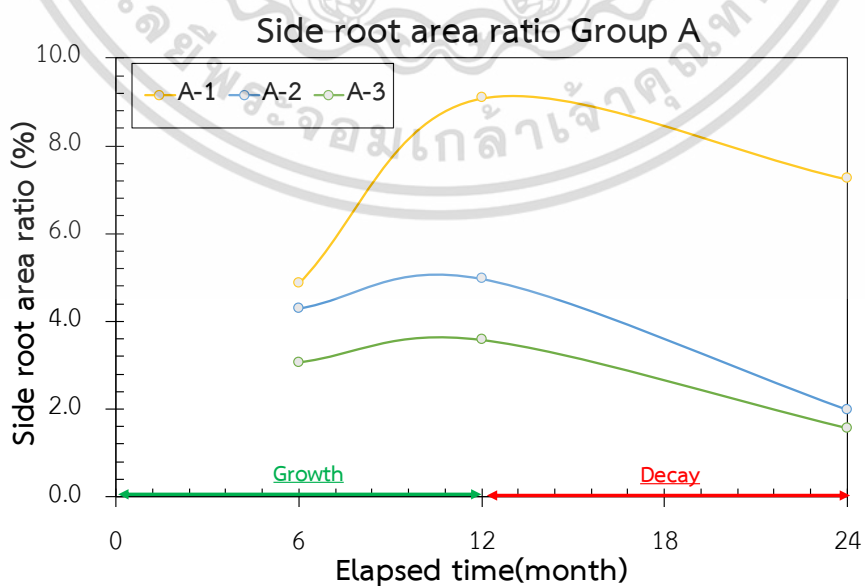


รูปที่ 4-7 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ A-3 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil) (b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months) (c) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Growth 12 months) (d) ช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Growth 12 months Decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



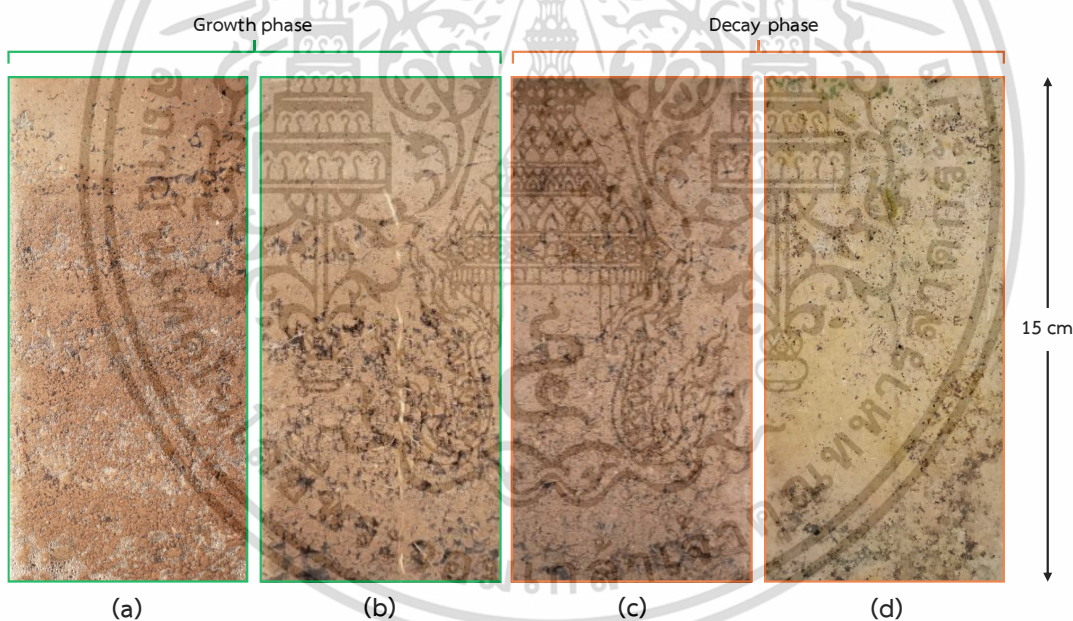
รูปที่ 4-8 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอทดสอบ กลุ่ม A



รูปที่ 4-9 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนรากหญ้าแฝกต่อพื้นที่ กระบอทดสอบ กลุ่ม A
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในสื่อต่าง ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2. กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน)

ในกลุ่มกระบอกทดสอบ B แสดงดังรูปภาพ 4-10 ถึง 4-12 และหาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรากต่อพื้นที่ (side root area ratio) แสดงดังรูปที่ 4-8 และ 4-9 จะแสดงรูปภาพโครงสร้างดินด้านข้าง ดังรูปย่อย (a) ที่บดอัดที่ 80% Standard proctor เพื่อให้มีช่องว่างเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช หลังจากผ่านไป 6 เดือน จะสังเกตเห็นว่า รากแก้วจะเจริญเติบโตเจาะดินไปในแนวตั้ง และจะมีรากฝอยที่แตกออกจากรากแก้วเจริญเติบโตไปในแนวด้านข้าง แทรกตามช่องว่างของดินแสดงดังรูปย่อย (b) และหลังจากการทดสอบช่วงการเจริญเติบโตที่อายุ 6 เดือน ได้ทำการฆ่าหญ้าแฝกด้วยวิธีเดียวกัน กับกลุ่มตัวอย่าง A และทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน จะเห็นได้ว่า รากแก้วมีการเริ่มหดตัว รากฝอยเริ่มมีการเสื่อมสลายหายไป ทำให้เกิดช่องว่างในดินเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปย่อย (c) และถัดมาที่ช่วงการเสื่อมสลายที่ 18 เดือน จะเห็นได้ว่ารากได้เสื่อมสลายหายไปจนหมด จนทำให้โครงสร้างดินบางส่วนเกิดการพังทลายปิดช่องว่างของดินแสดงดังรูปย่อย (d)



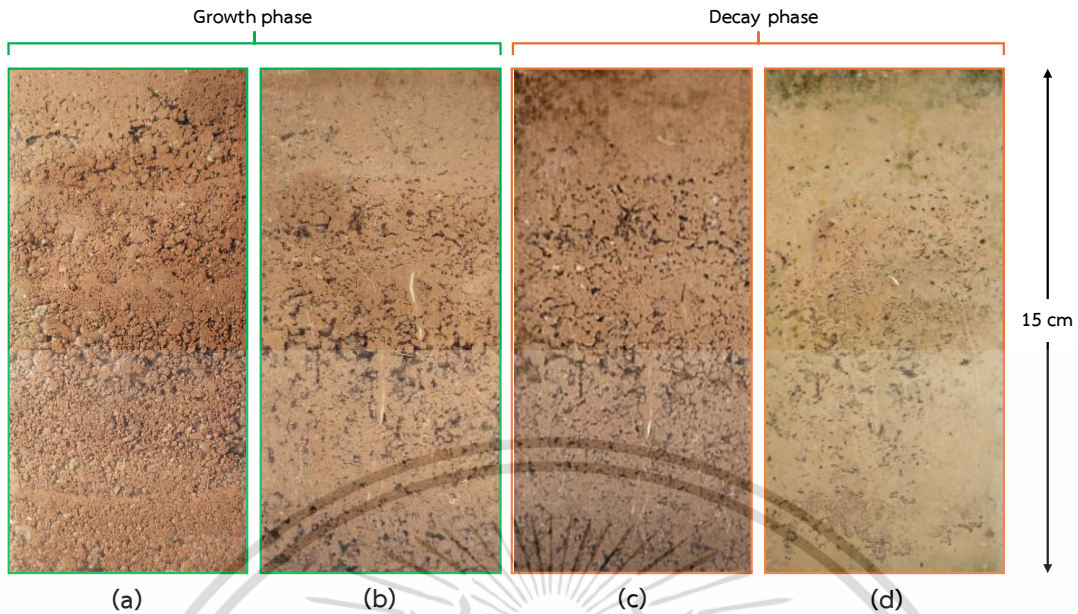
รูปที่ 4-10 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอกทดสอบ B-1 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)

(b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months)

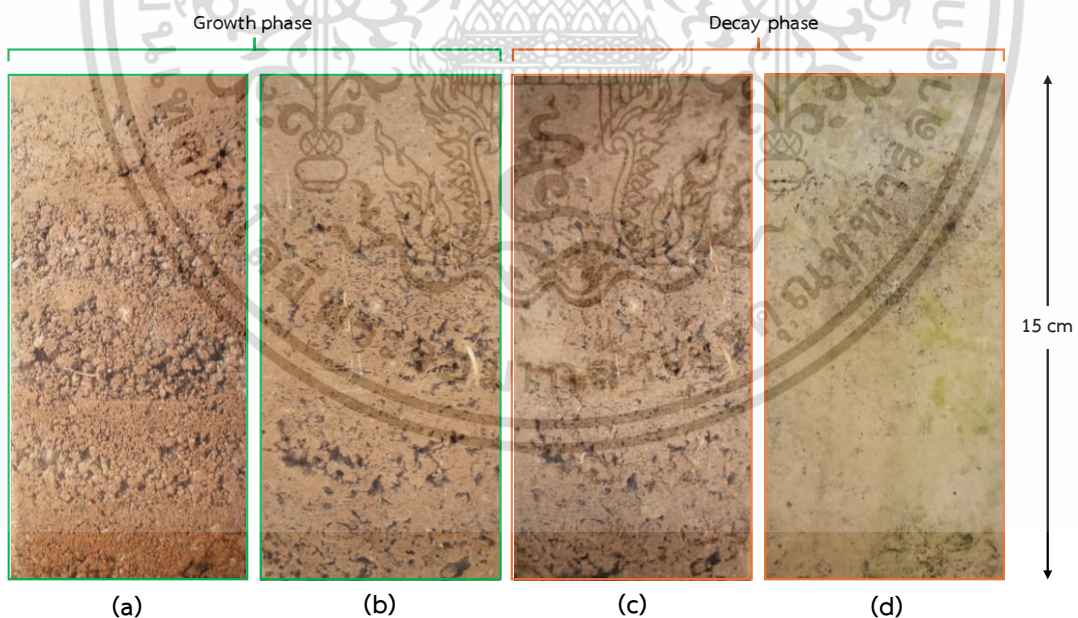
(c) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Growth 6 months Decay 6 months)

(d) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Growth 6 months Decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

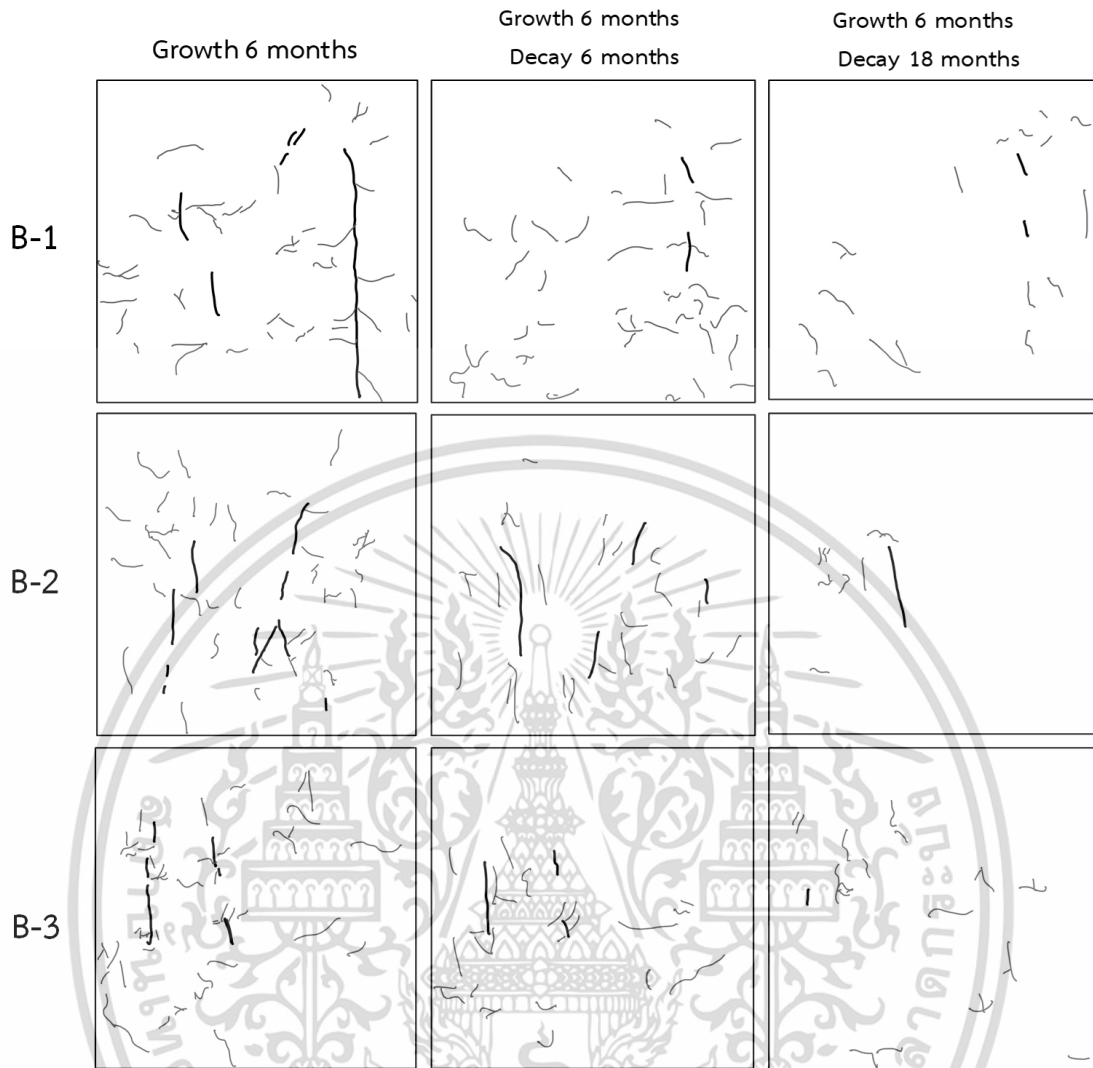


รูปที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอทดสอบ B-2 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)
 (b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months)
 (c) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Growth 6 months Decay 6 months)
 (d) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Growth 6 months Decay 18 months)

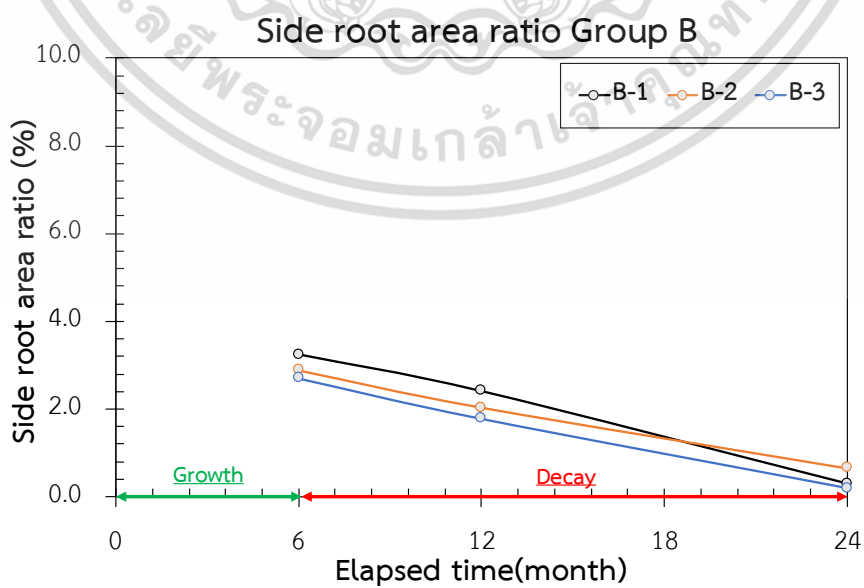


รูปที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกกระบอทดสอบ B-3 (a) ดินลูกรังเดิม (Bare soil)
 (b) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Growth 6 months)
 (c) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Growth 6 months Decay 6 months)
 (d) ช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Growth 6 months Decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-13 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของรากหญ้าแฝกที่กระบอกทดสอบ กลุ่ม B



รูปที่ 4-14 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนรากหญ้าแฝกต่อพื้นที่ กระบอกทดสอบ กลุ่ม B
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. การเปลี่ยนแปลงของ Matric Suction และ Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา

ในงานวิจัยนี้ ได้บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของ Matric suction และ Volumetric water content ตามช่วงเวลา โดยแสดงระยะเวลาในการทดสอบแต่ละช่วงอายุดังตารางที่ 4-3 และ 4-4 ตามกลุ่มตัวอย่างทดสอบ โดยระยะเวลาทดสอบจะขึ้นอยู่กับค่า Matric suction โดยการตรวจวัดด้วย Tensiometer จะแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดค่า 0-90 kPa และในกระบอกทดสอบ A-1 สำหรับ MPS-6 จะแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดค่า 10-2000 kPa หรือจนกว่าค่า Matric suction ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 36 ชม.

ตารางที่ 4-3 ตารางบันทึกระยะเวลาในการทดสอบหาค่า Matric suction และ Volumetric water content กลุ่มทดสอบ A

Group A	Bare soil	Growth phase			Decay phase
		2 months	6 months	12 months	12 months
A-1 (MPS-6)	0 - 170 hrs.	0 - 209 hrs.	0 - 425 hrs.	0 - 387 hrs.	0 - 453 hrs.
A-1 (Tensiometer)	0 - 135 hrs.	0 - 122 hrs.	0 - 194 hrs.	0 - 219 hrs.	0 - 228 hrs.
A-2 (Tensiometer)		0 - 122 hrs.	0 - 160 hrs.	0 - 171 hrs.	0 - 261 hrs.
A-3 (Tensiometer)		0 - 124 hrs.	0 - 194 hrs.	0 - 171 hrs.	0 - 261 hrs.

ตารางที่ 4-4 ตารางบันทึกระยะเวลาในการทดสอบหาค่า Matric suction และ Volumetric water content กลุ่มทดสอบ B

Group B	Bare soil	Growth phase		Decay phase	
		2 months	6 months	6 months	18 months
B-1 (Tensiometer)	0 - 135 hrs.	0 - 97 hrs.	0 - 194 hrs.	0 - 219 hrs.	0 - 261 hrs.
B-2 (Tensiometer)		0 - 121 hrs.	0 - 194 hrs.	0 - 219 hrs.	0 - 261 hrs.
B-3 (Tensiometer)		0 - 100 hrs.	0 - 170 hrs.	0 - 219 hrs.	0 - 203 hrs.

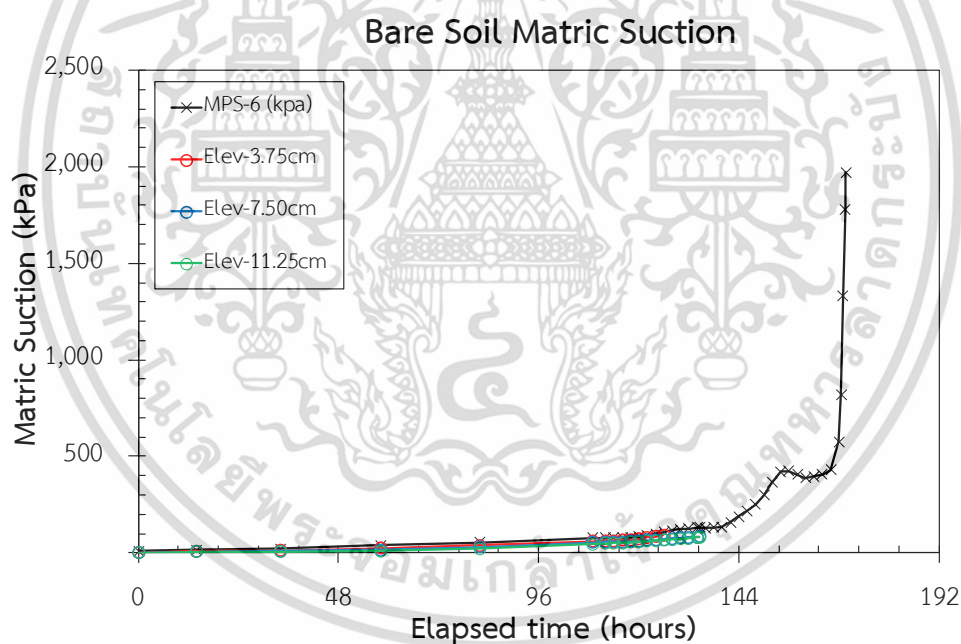
การเปลี่ยนแปลงของค่า Matric Suction ในแต่ละช่วงเวลา ในกระบวนการ Dry Process จะสังเกตได้ว่า ในดินลูกรังเดิม แสดงในรูปที่ 4-15 การเปลี่ยนแปลงของเซนเซอร์แต่ละตัว เกิดขึ้นตามลำดับความลึกของดิน เนื่องจากการระเหยของน้ำในดินจากทางผิวดินด้านบน แต่เมื่อมีการเกิดขึ้นของรากหญ้าแฝก จะส่งผลให้ความแตกต่างของค่า Matric suction ในแต่ละความลึกแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับดินลูกรังเดิม และแตกต่างกันน้อยลงตามอายุของการเจริญเติบโตของพืช จากความหนาแน่นของราก และเมื่อรากมีการเสื่อมสลาย ความแตกต่างของค่า Matric suction ในแต่ละความลึก ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากผลการตรวจวัดช่วงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโตที่อายุนั้นๆ ก่อนที่จะทำการฆ่าหญ้า แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มตัวอย่าง A ในหัวข้อ 4.3.2 และตัวอย่าง B ในหัวข้อ 4.3.3

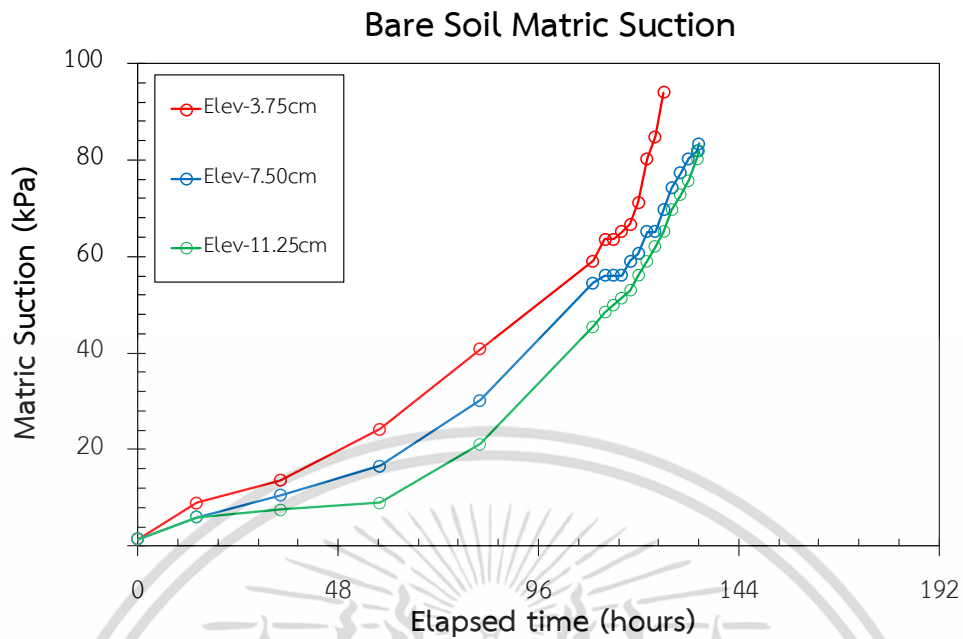
การเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตรแต่ละช่วงเวลา ในกลุ่ม A หญ้าแฝกเจริญเติบโตถึง 12 เดือน และเสื่อมสลาย 12 เดือน จะเห็นได้ว่า ช่วง 0-2 เดือนแรก อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลา จะเพิ่มขึ้น จากความต้องการน้ำของพืชในการเจริญเติบโต ต่อมาช่วง 2-6 เดือน อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะลดลง และมีค่าคงที่ ในช่วงอายุ 6-12 เดือน เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยอุ้มน้ำในดิน และรักษาน้ำไว้ในมวลดิน สุดท้าย เมื่อเข้าสู่ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นลดลง จากการหายไปของรากหญ้าแฝก ในกลุ่ม B จะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันในช่วงการเจริญเติบโต และเมื่อเข้าสู่ช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือนแรก ค่ามีแนวโน้มคงที่ หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่อยๆลดลงไปเมื่อเข้าสู่ช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มตัวอย่าง A ในหัวข้อ 4.3.2 และตัวอย่าง B ในหัวข้อ 4.3.3

4.3.1. ดินลูกรังเดิม (Bare soil)

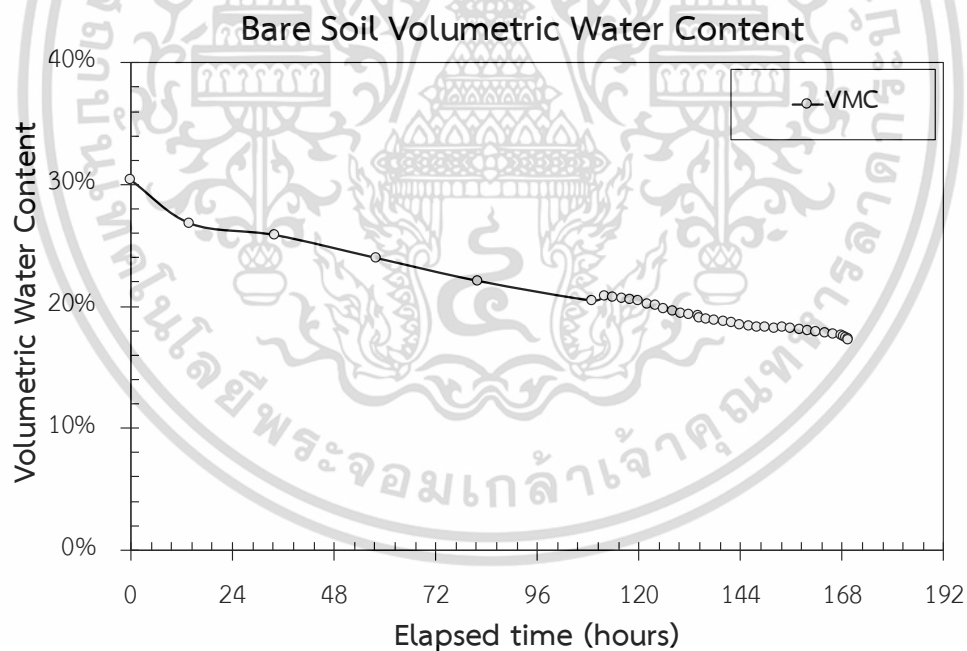


รูปที่ 4-15 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินลูกรังเดิม (Bare soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-16 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินลูกรังเดิม (Bare soil) เฉพาะ Tensiometer

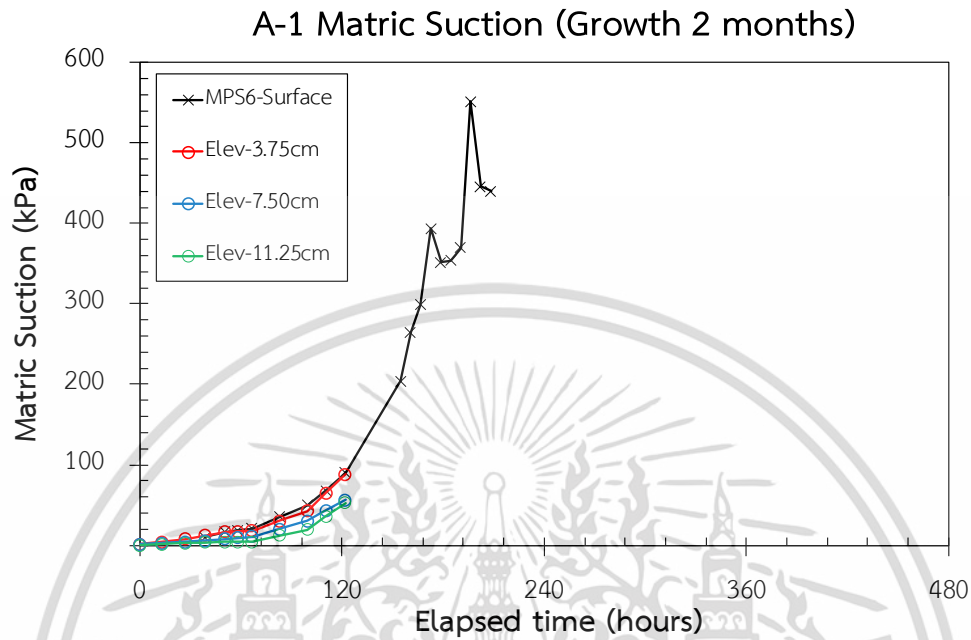


รูปที่ 4-17 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินลูกรังเดิม (Bare soil)

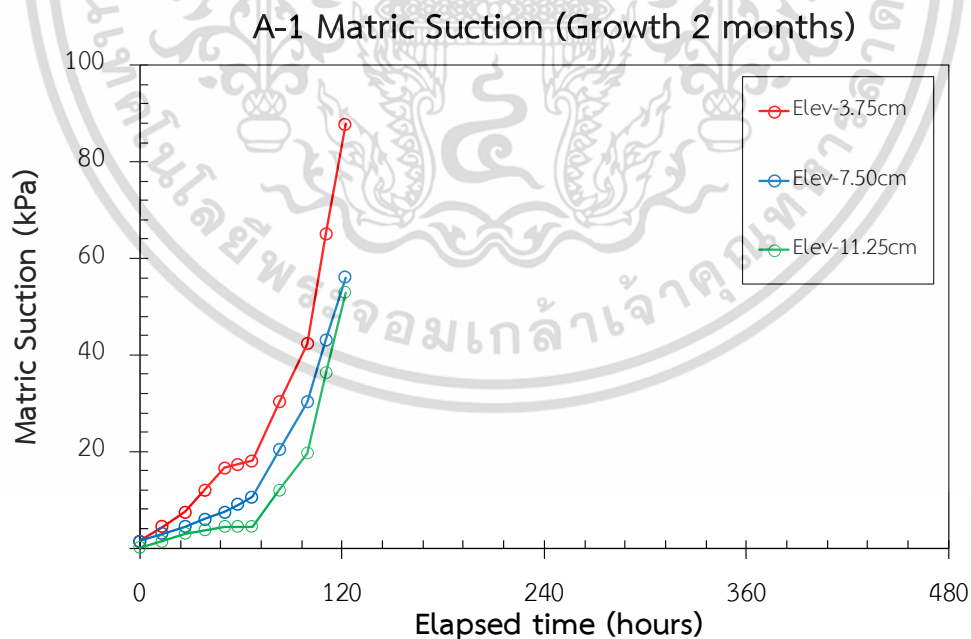
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน)

4.3.2.1. ตัวอย่าง A-1



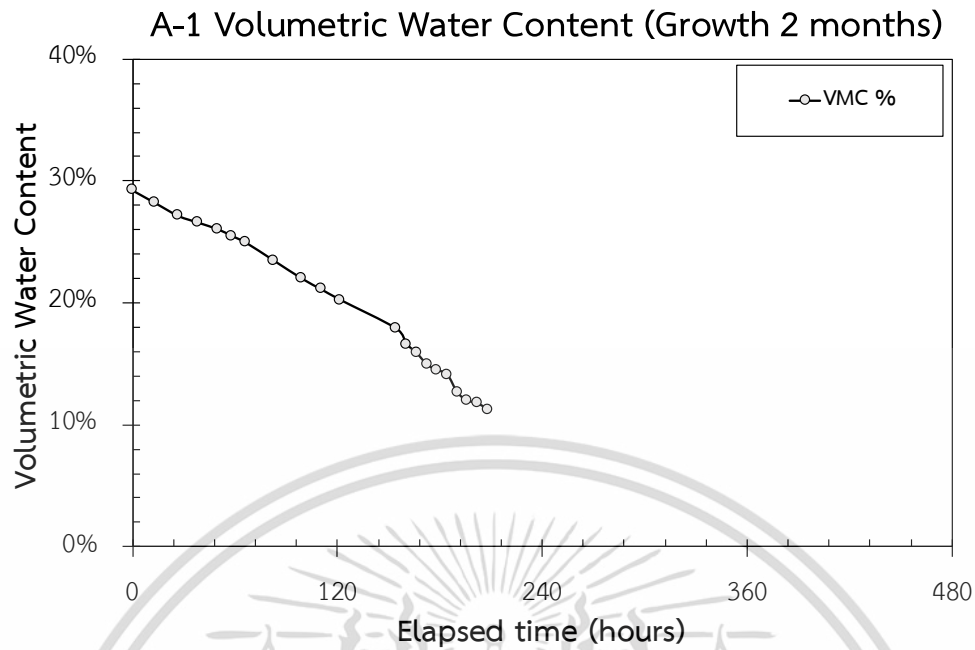
รูปที่ 4-18 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)



รูปที่ 4-19 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

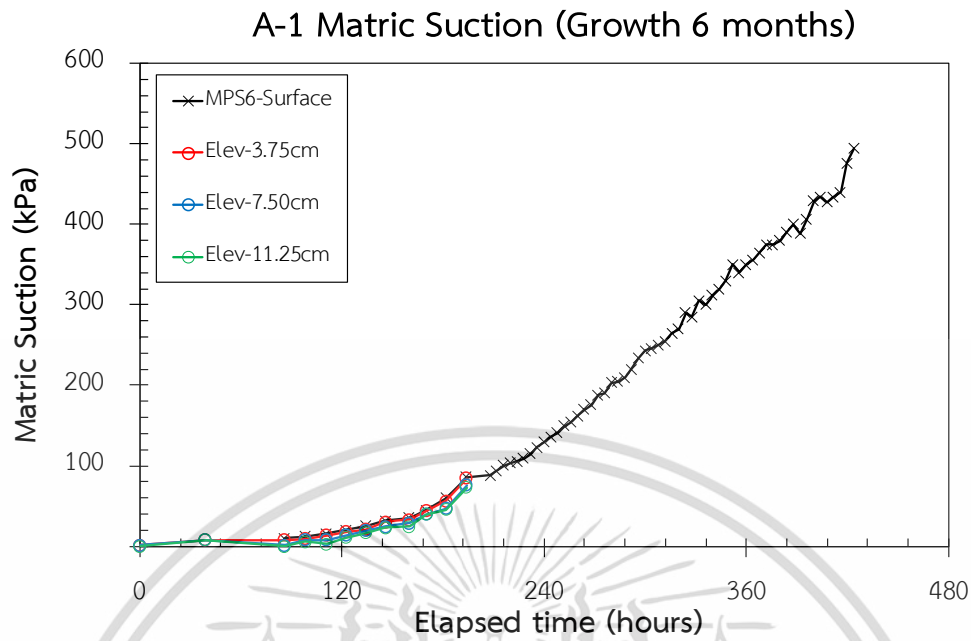
เฉพาะ Tensiometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

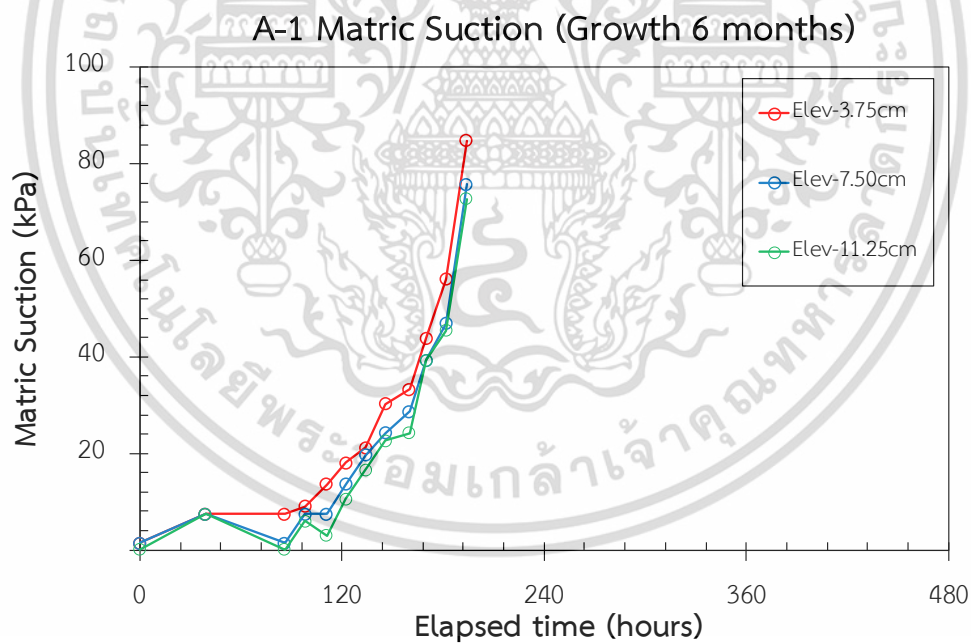


รูปที่ 4-20 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



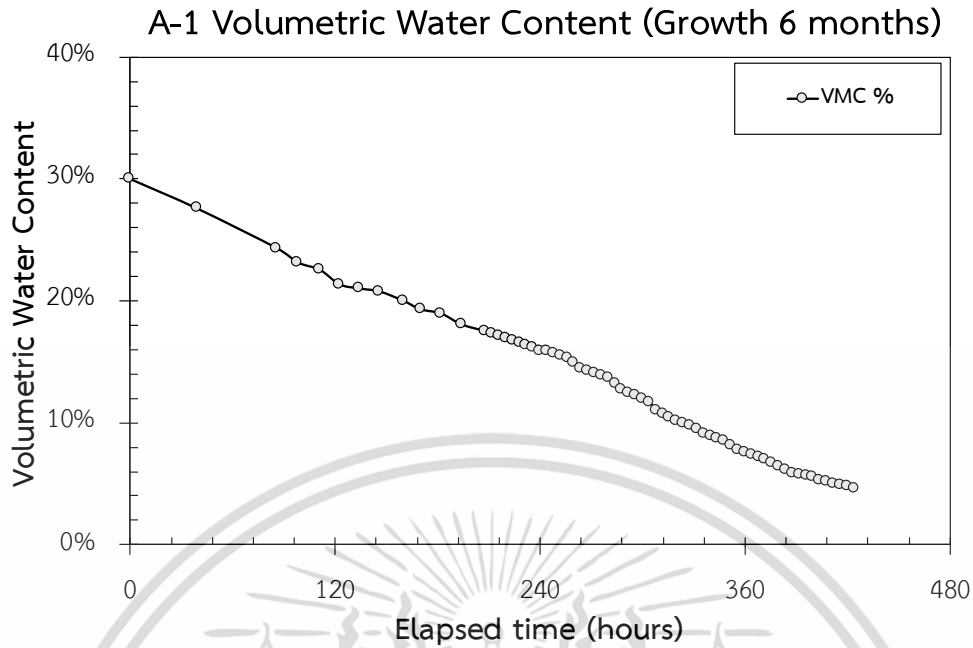
รูปที่ 4-21 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)



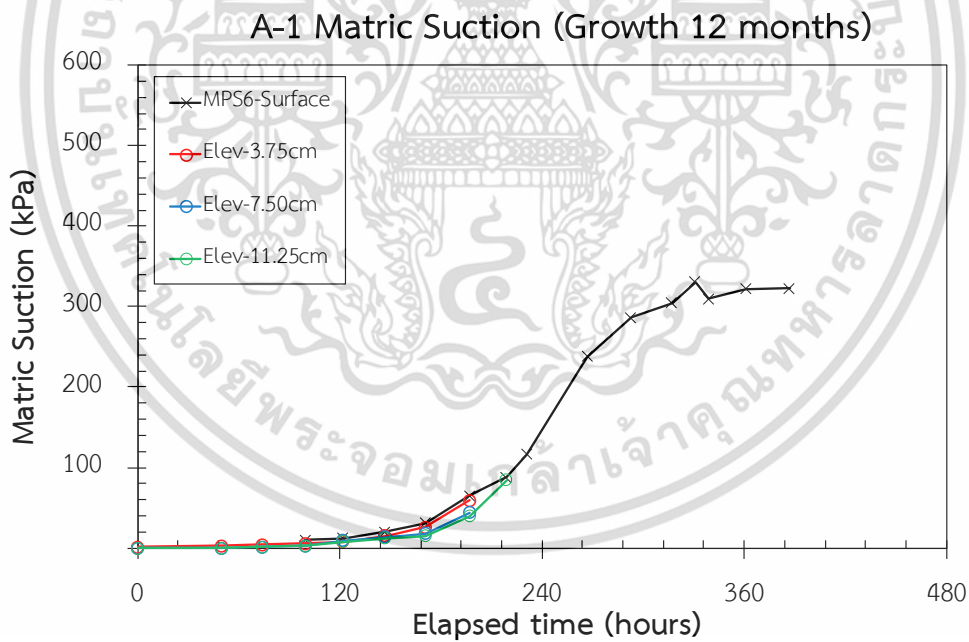
รูปที่ 4-22 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เฉพาะ Tensiometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

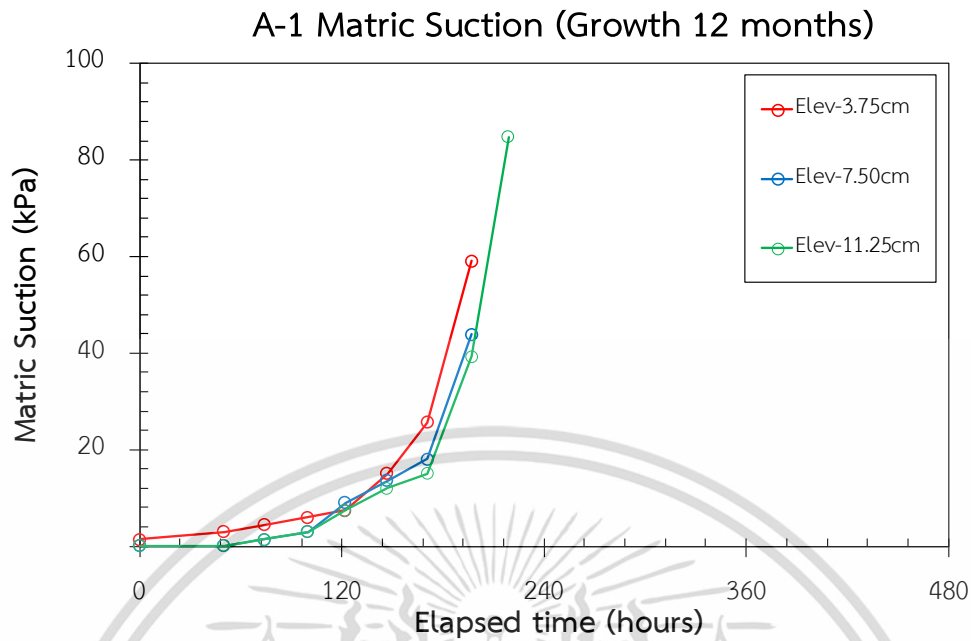


รูปที่ 4-23 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

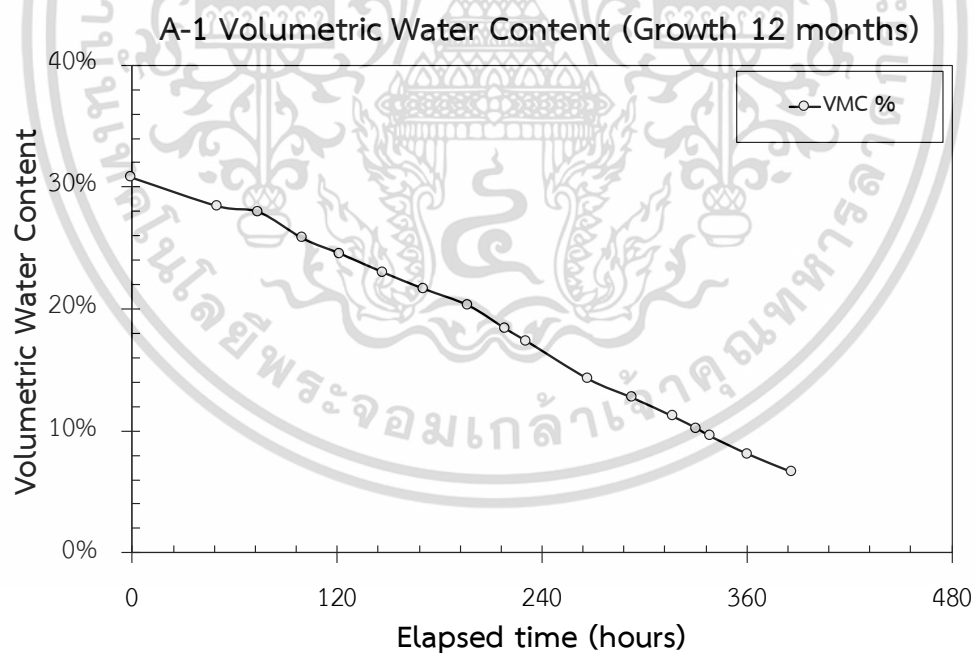


รูปที่ 4-24 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

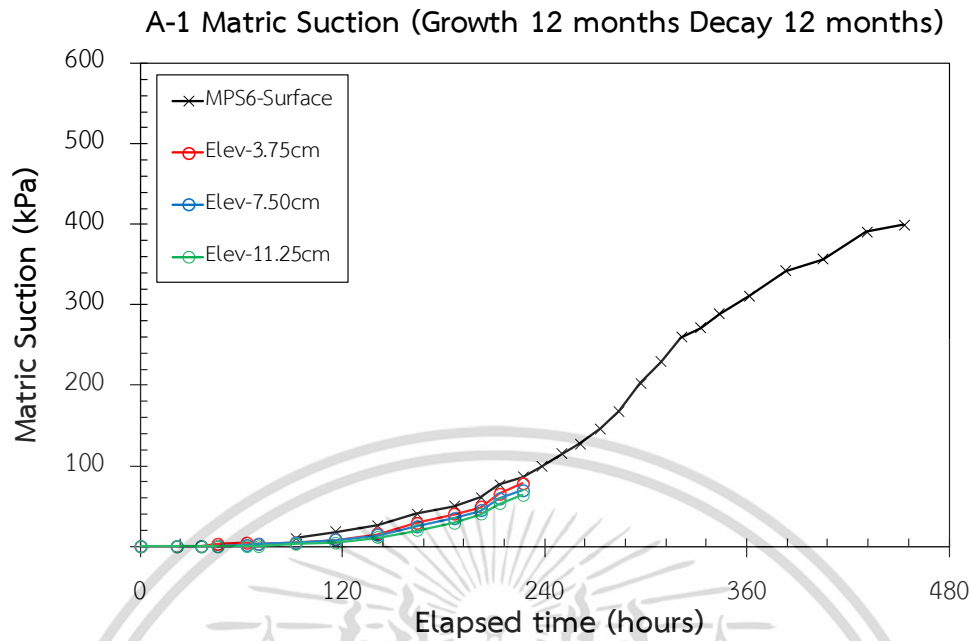


รูปที่ 4-25 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months) เฉพาะ Tensiometer

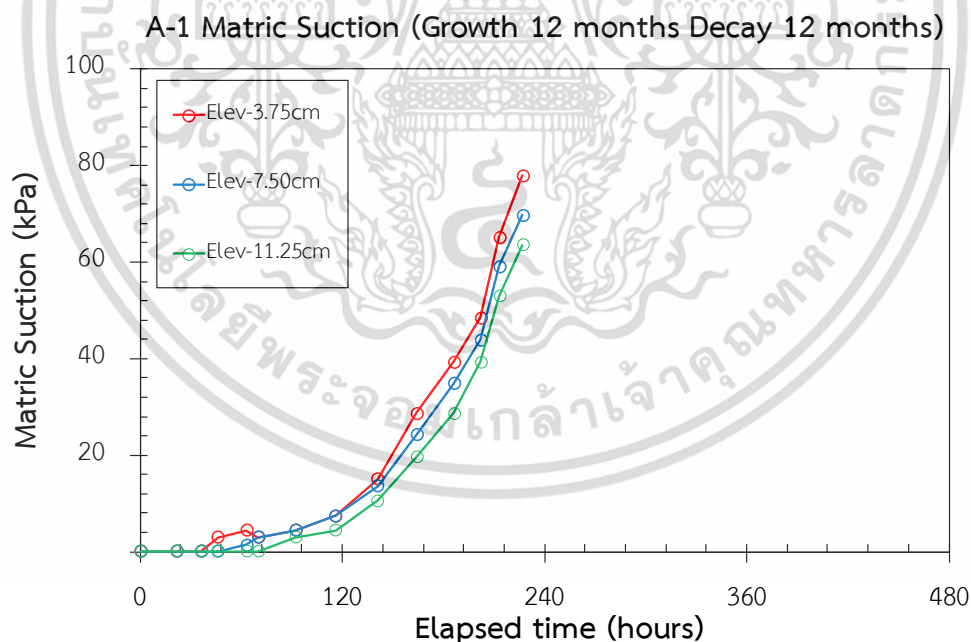


รูปที่ 4-26 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



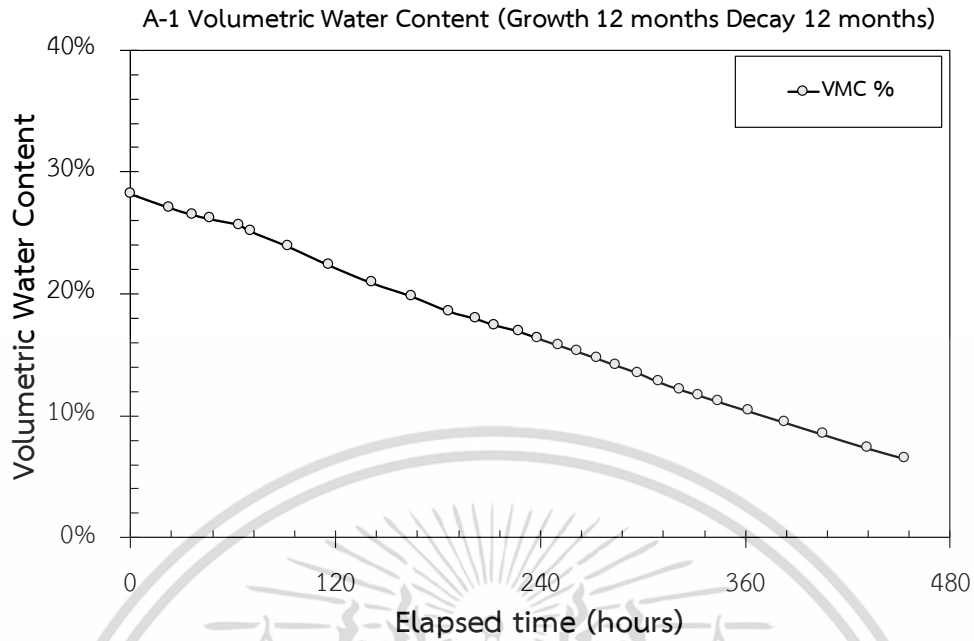
รูปที่ 4-27 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)



รูปที่ 4-28 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เฉพาะ Tensiometer

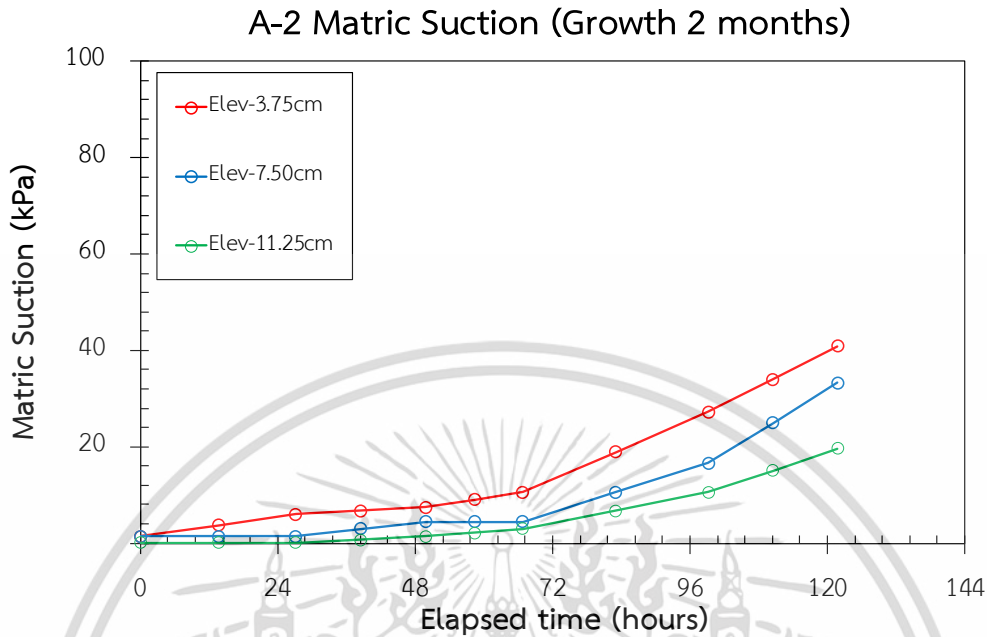
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



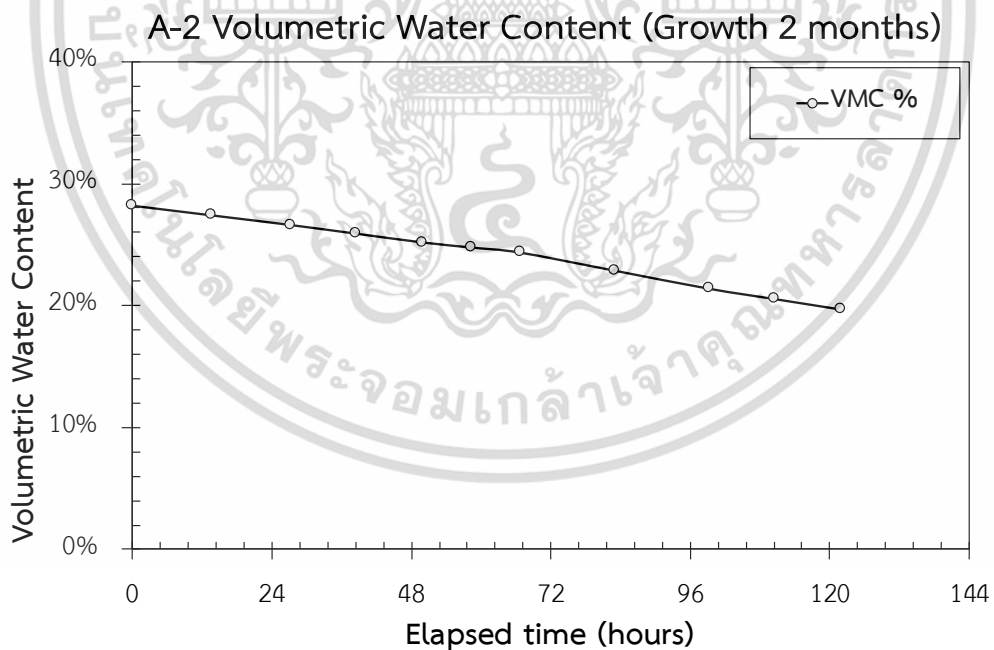
รูปที่ 4-29 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2. ตัวอย่าง A-2

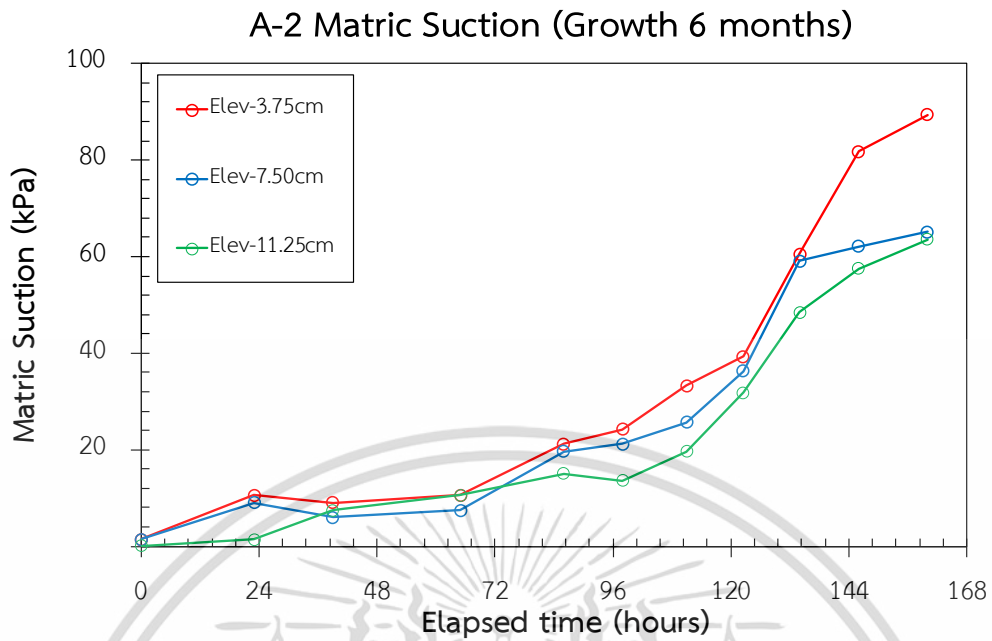


รูปที่ 4-30 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

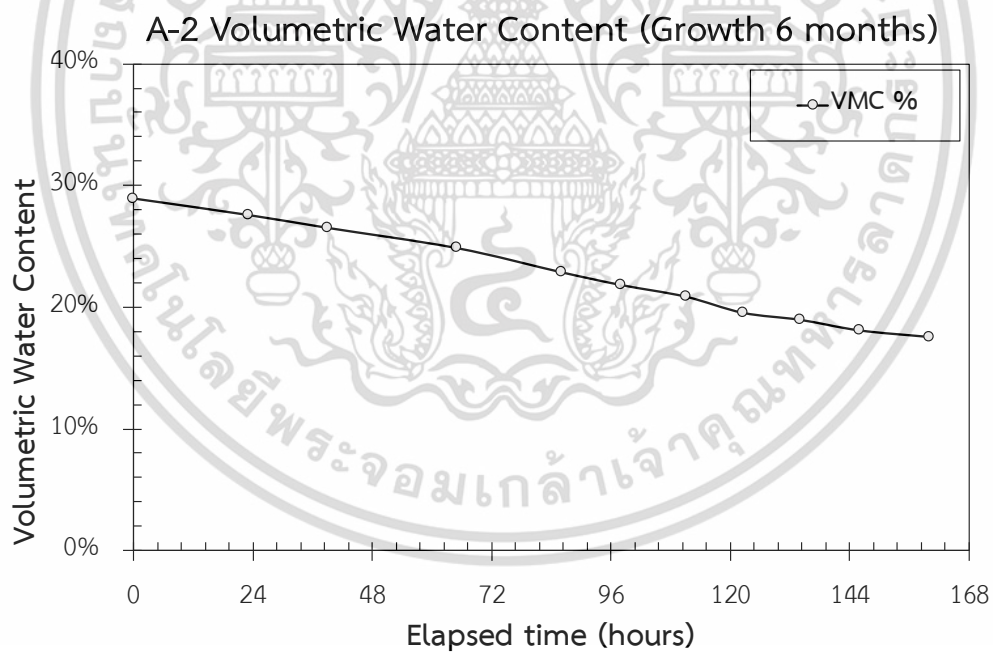


รูปที่ 4-31 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

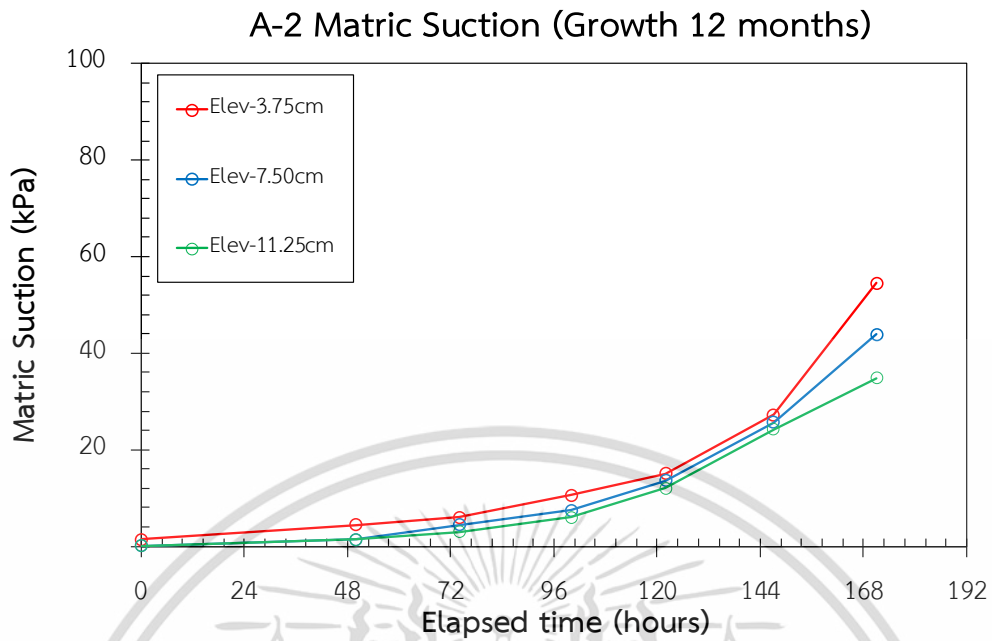


รูปที่ 4-32 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

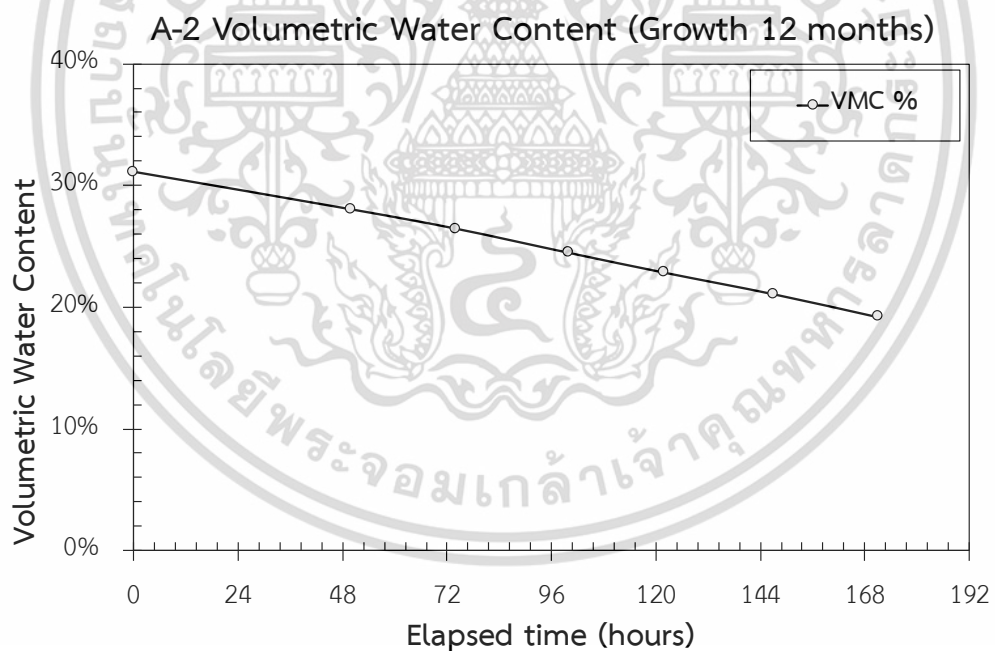


รูปที่ 4-33 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

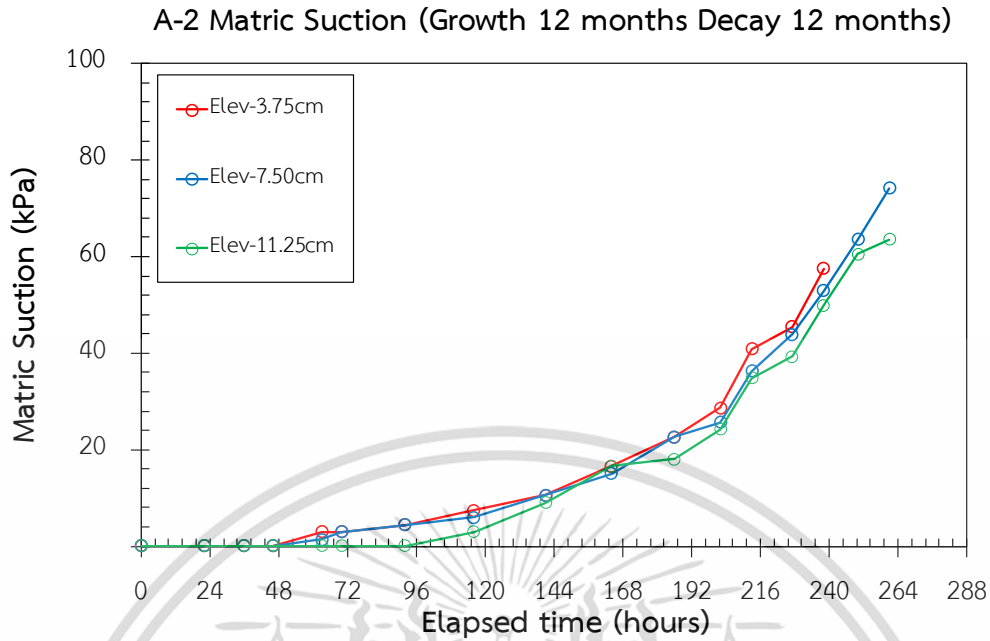


รูปที่ 4-34 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)

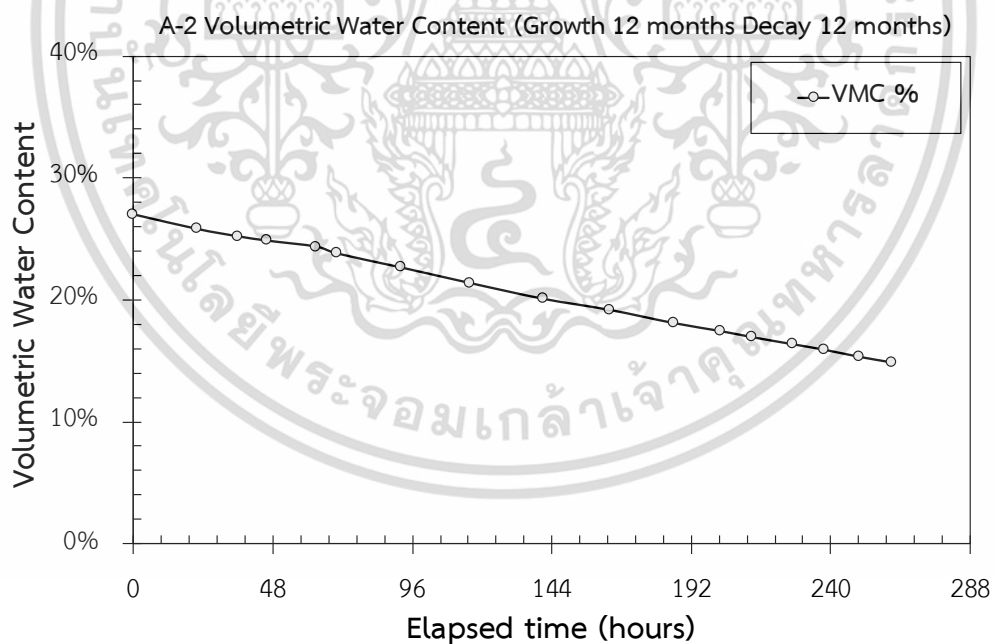


รูปที่ 4-35 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



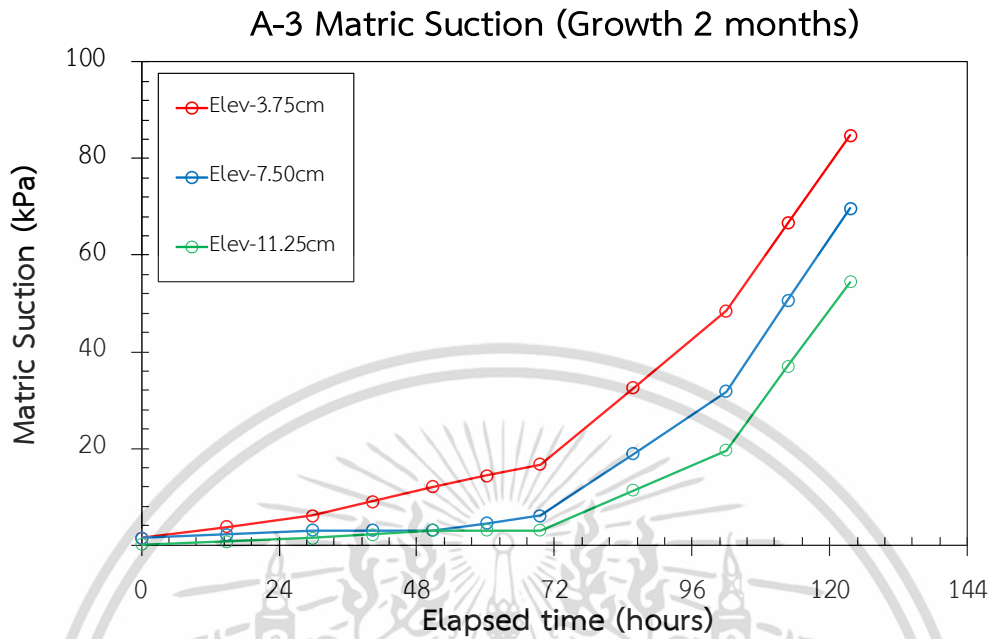
รูปที่ 4-36 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)



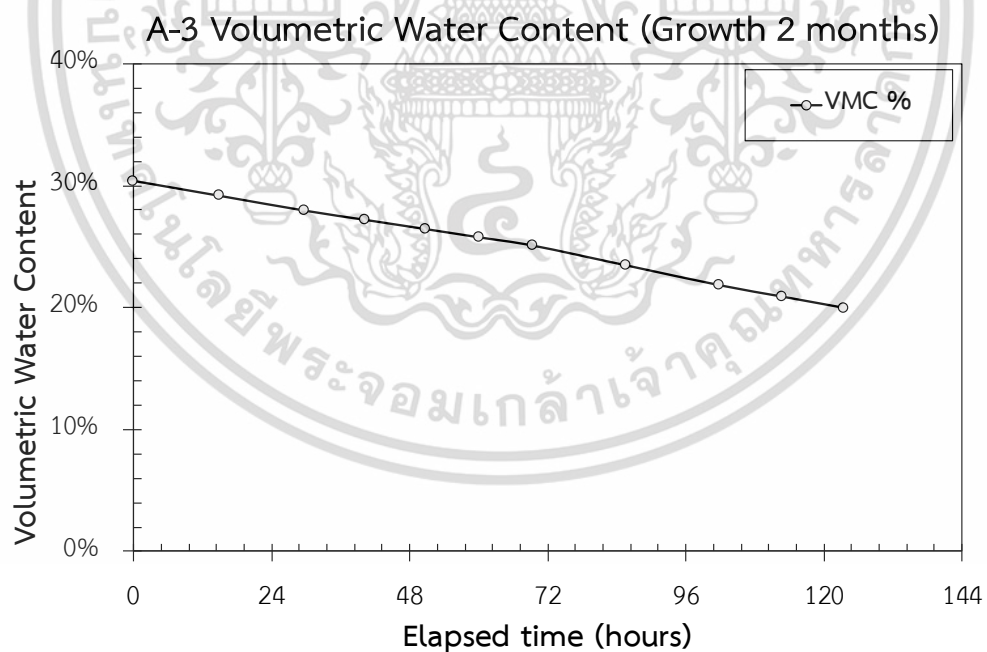
รูปที่ 4-37 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3. ตัวอย่าง A-3

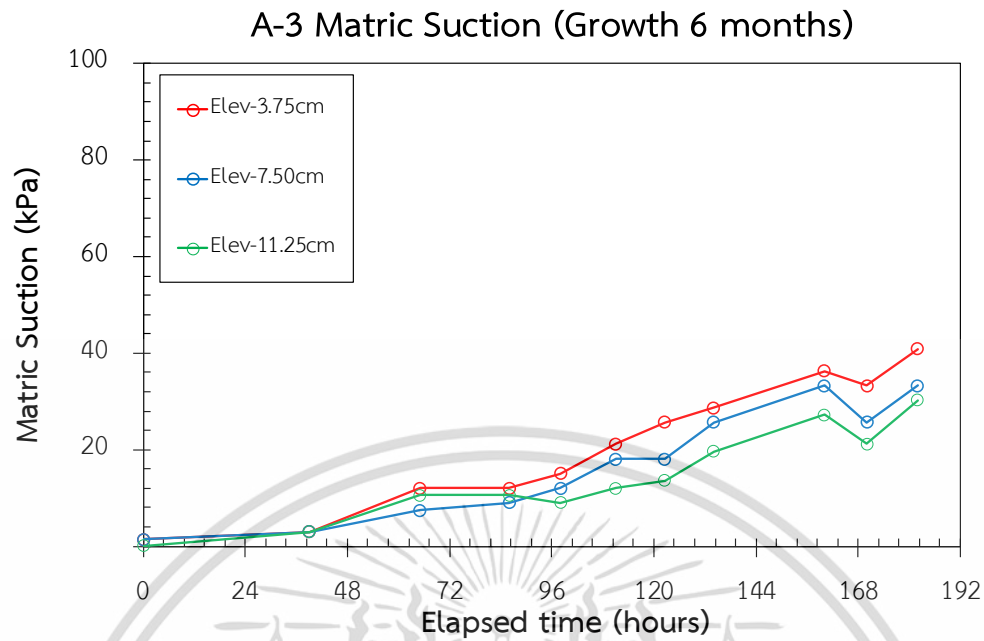


รูปที่ 4-38 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

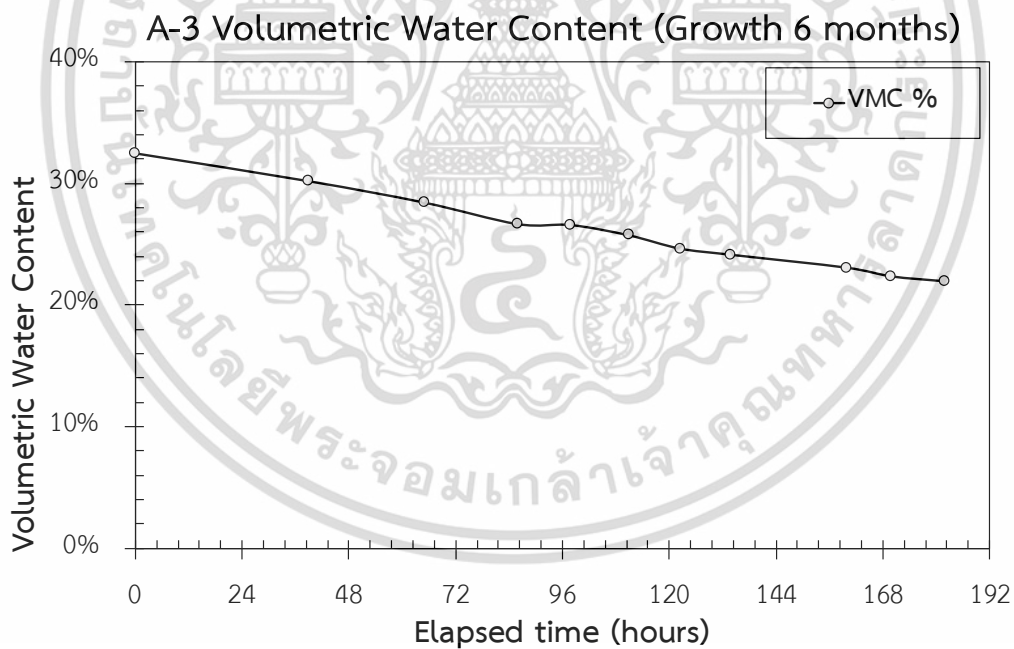


รูปที่ 4-39 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

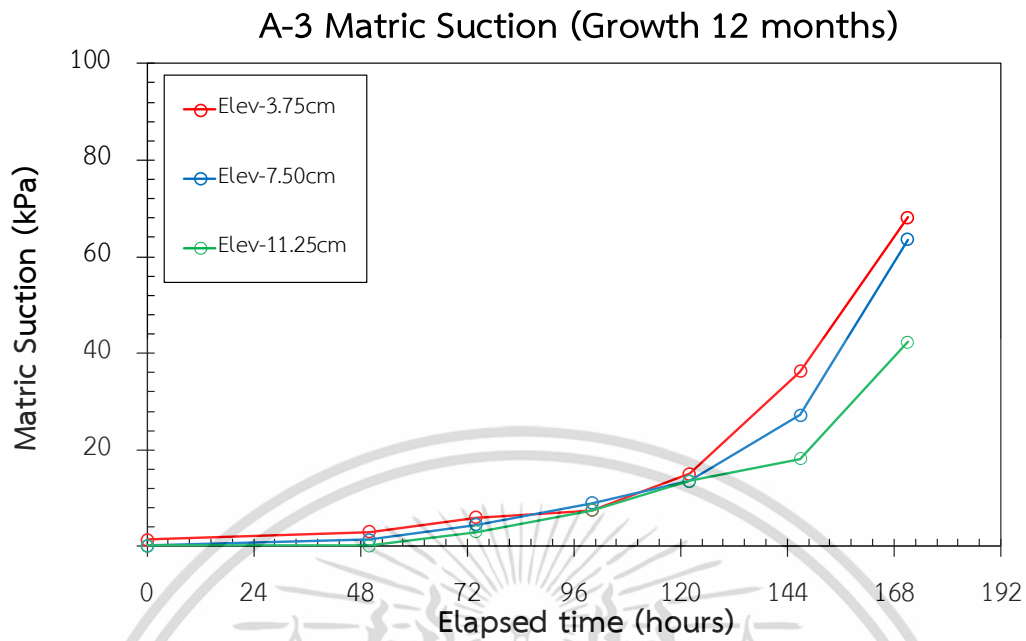


รูปที่ 4-40 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

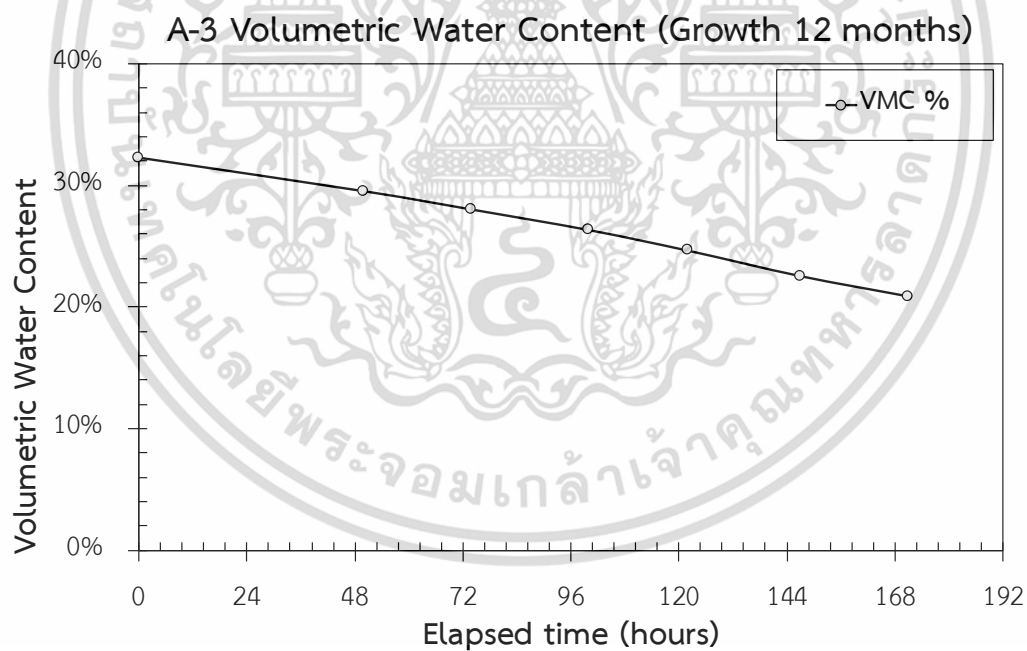


รูปที่ 4-41 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

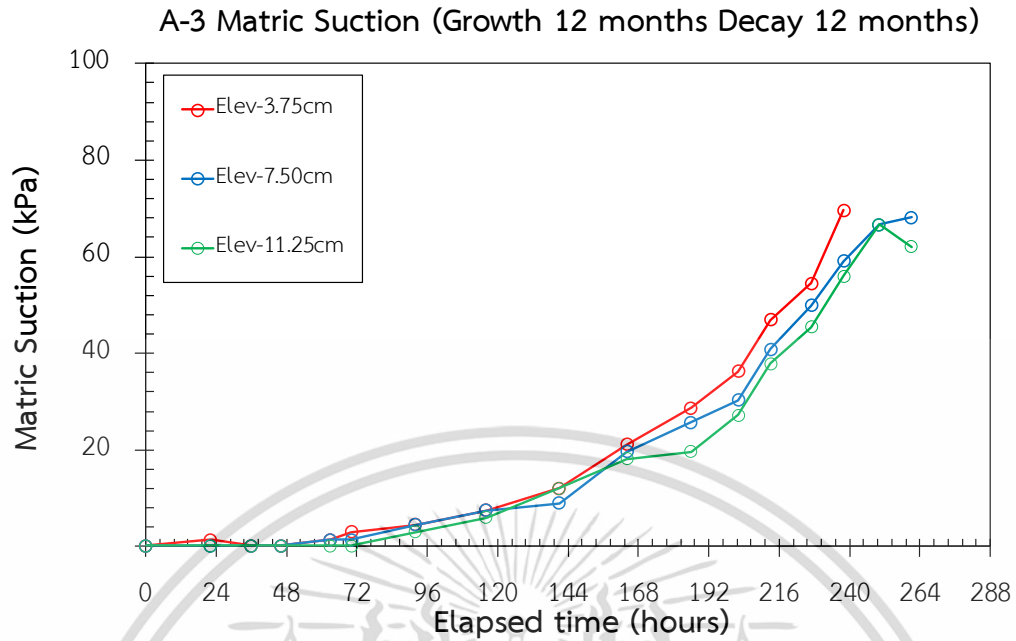


รูปที่ 4-42 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)

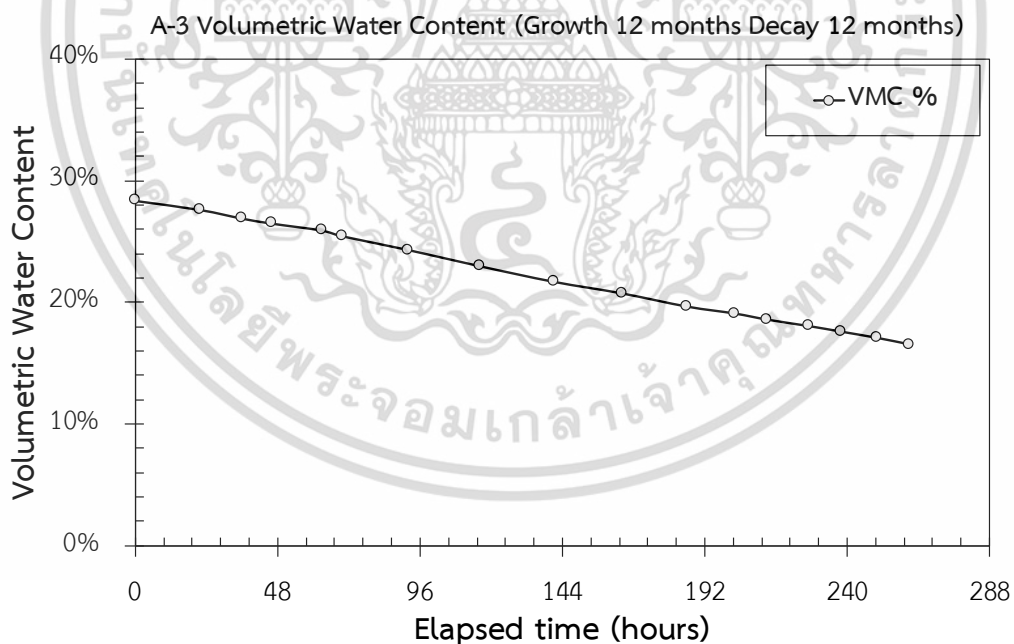


รูปที่ 4-43 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-44 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

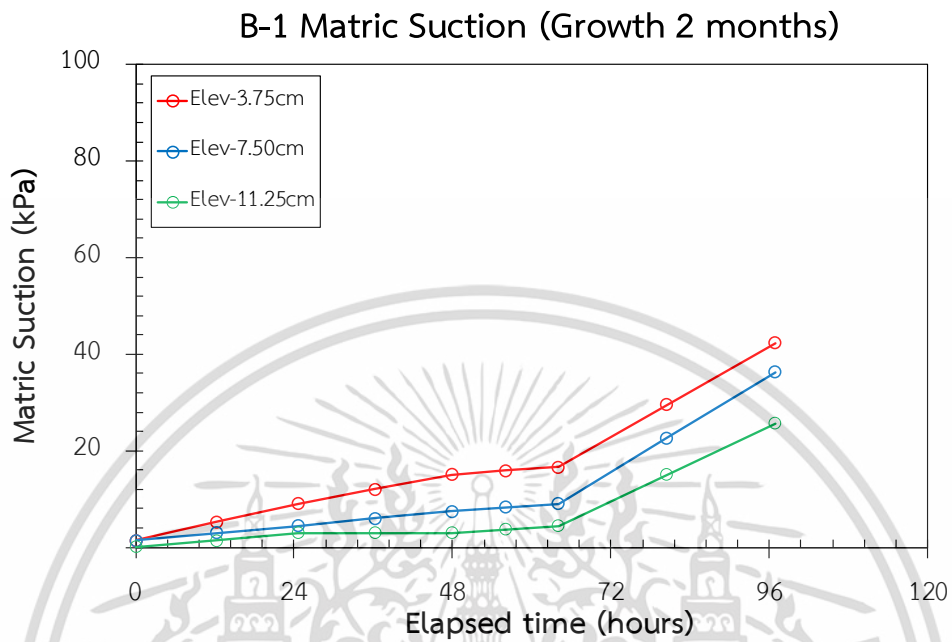


รูปที่ 4-45 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

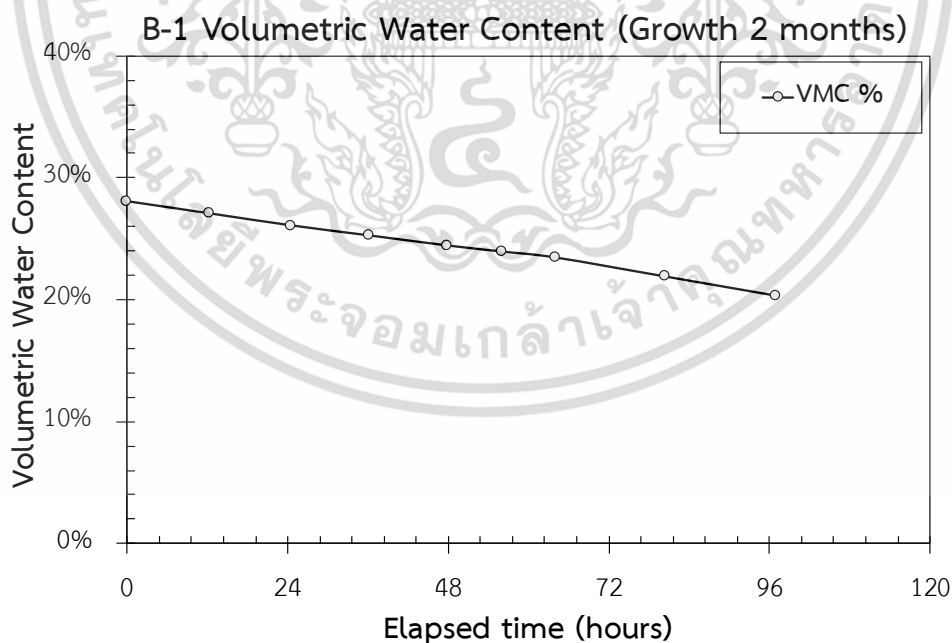
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3. กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน)

4.3.3.1. ตัวอย่าง B-1



รูปที่ 4-46 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

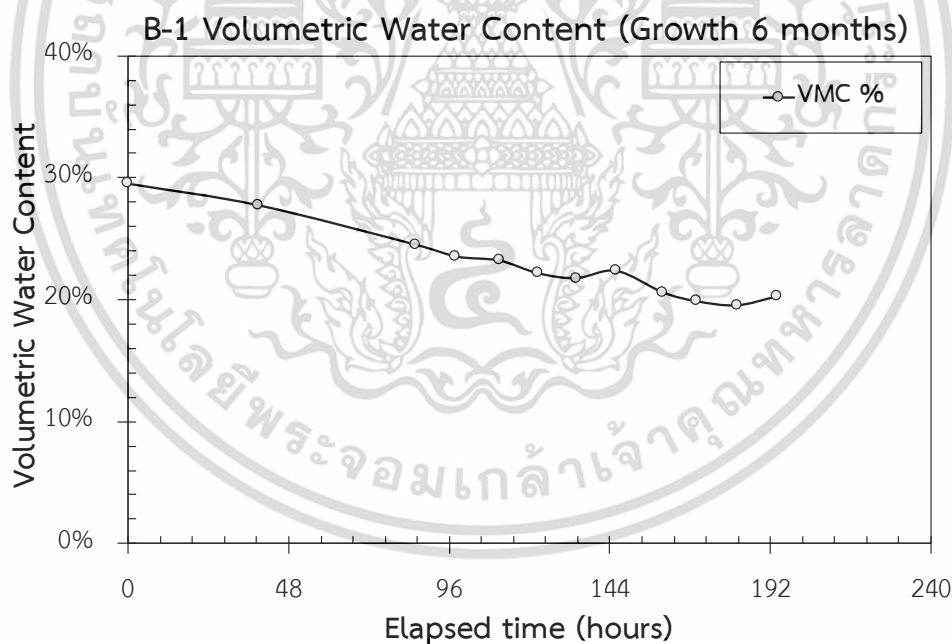


รูปที่ 4-47 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

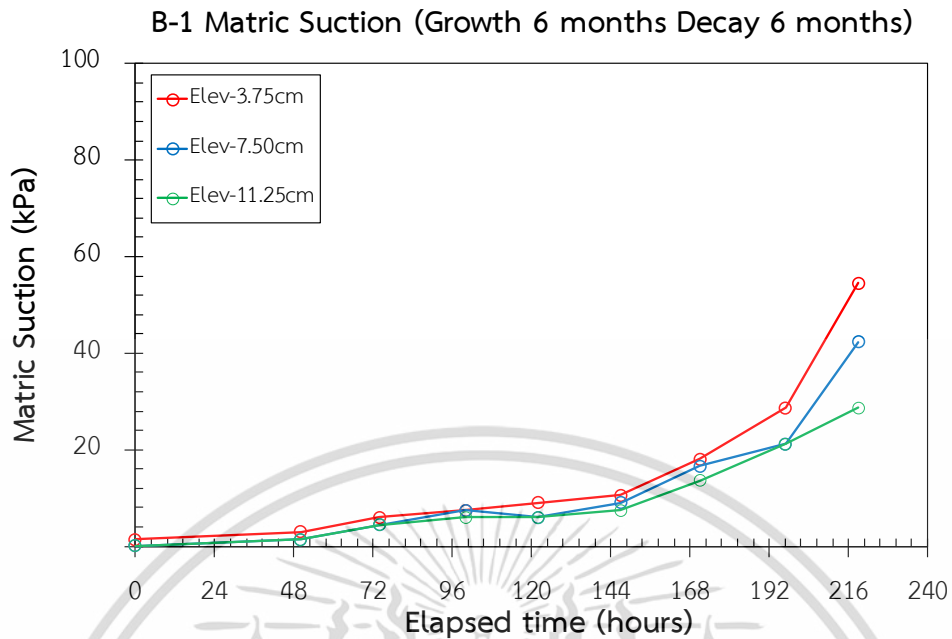


รูปที่ 4-48 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

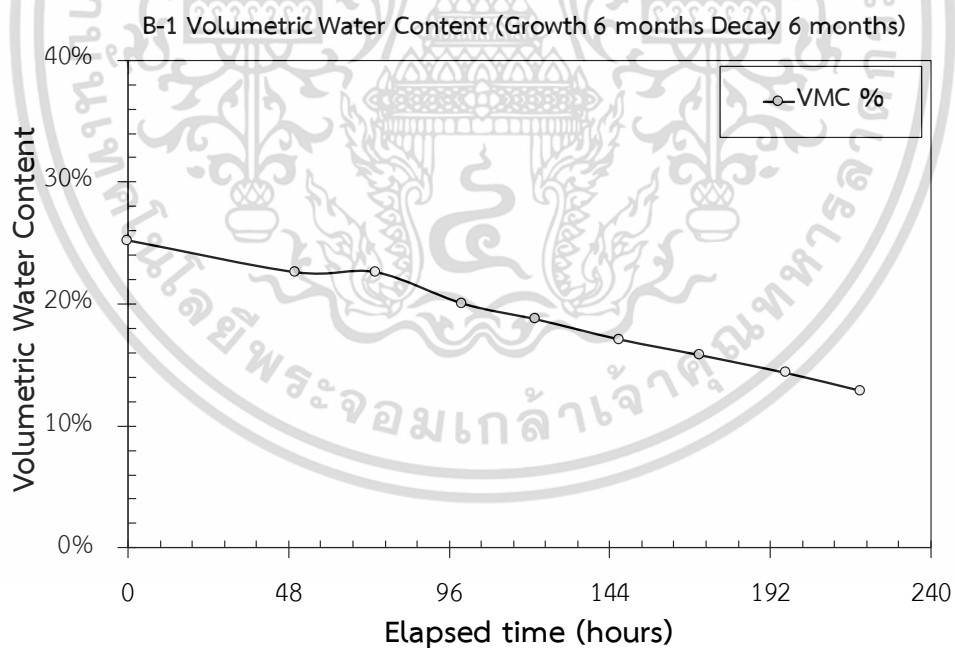


รูปที่ 4-49 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

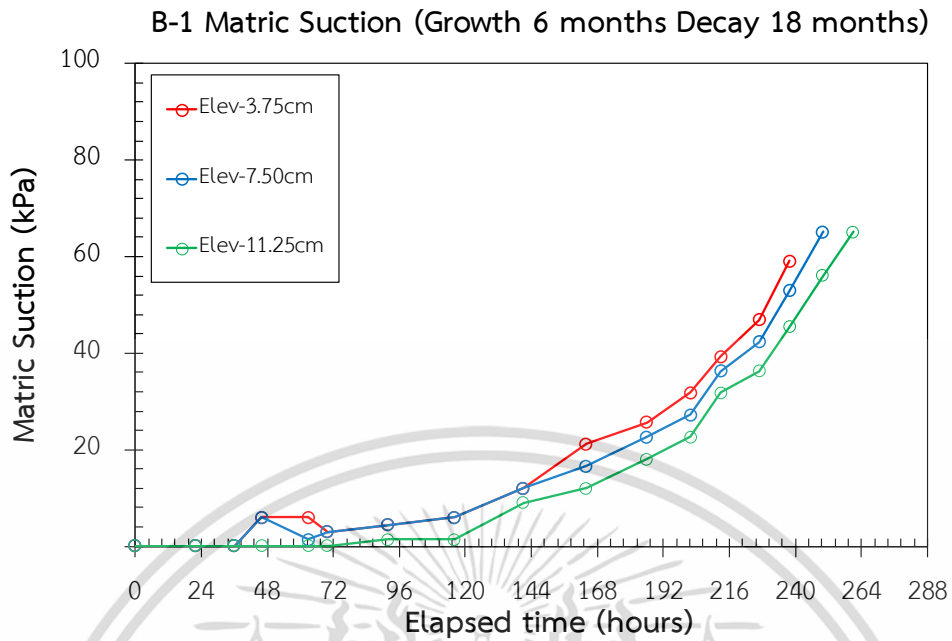


รูปที่ 4-50 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)

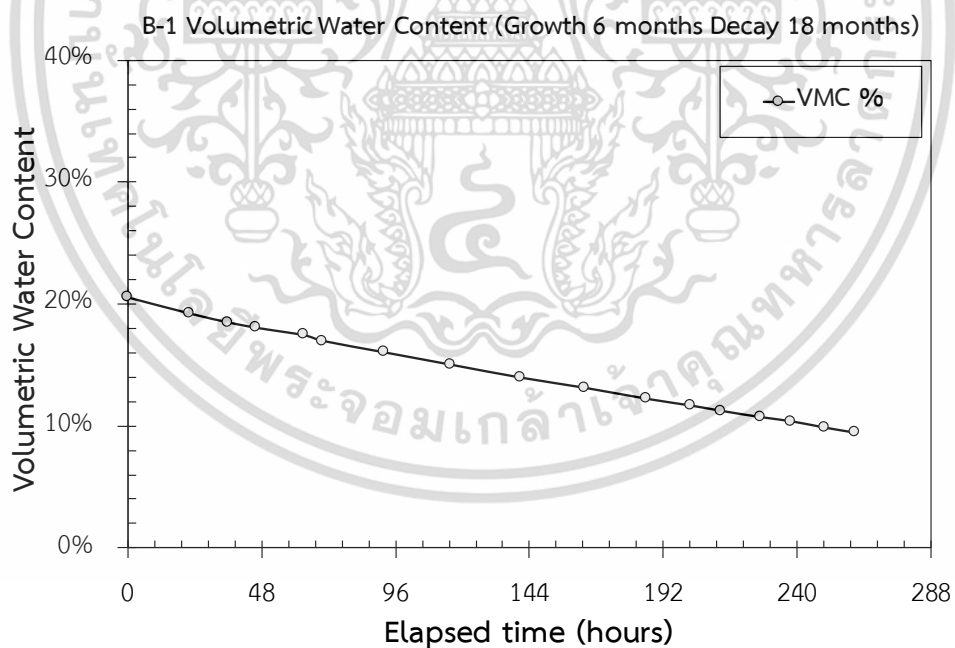


รูปที่ 4-51 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



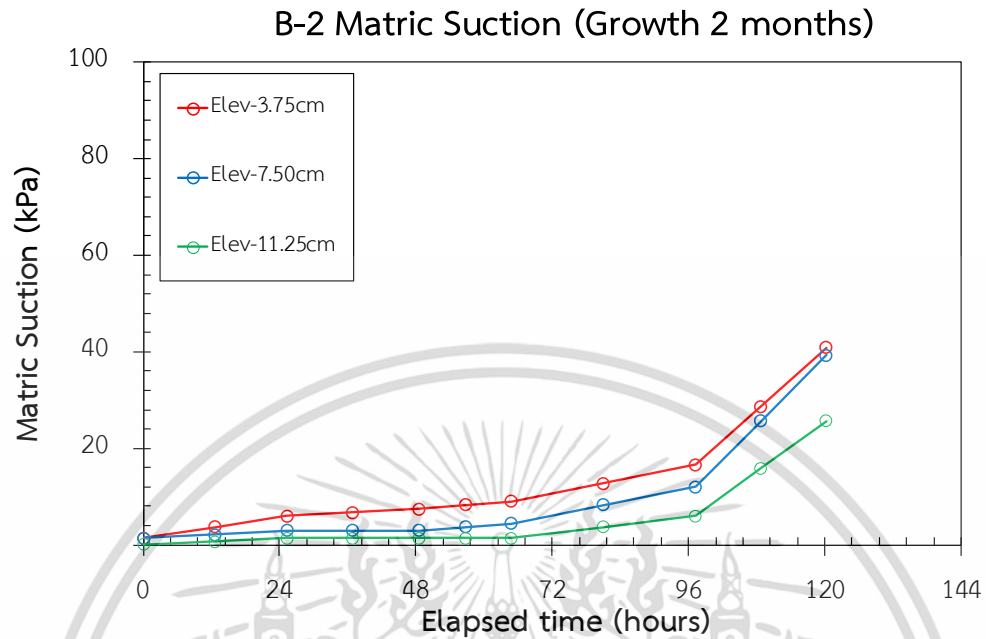
รูปที่ 4-52 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)



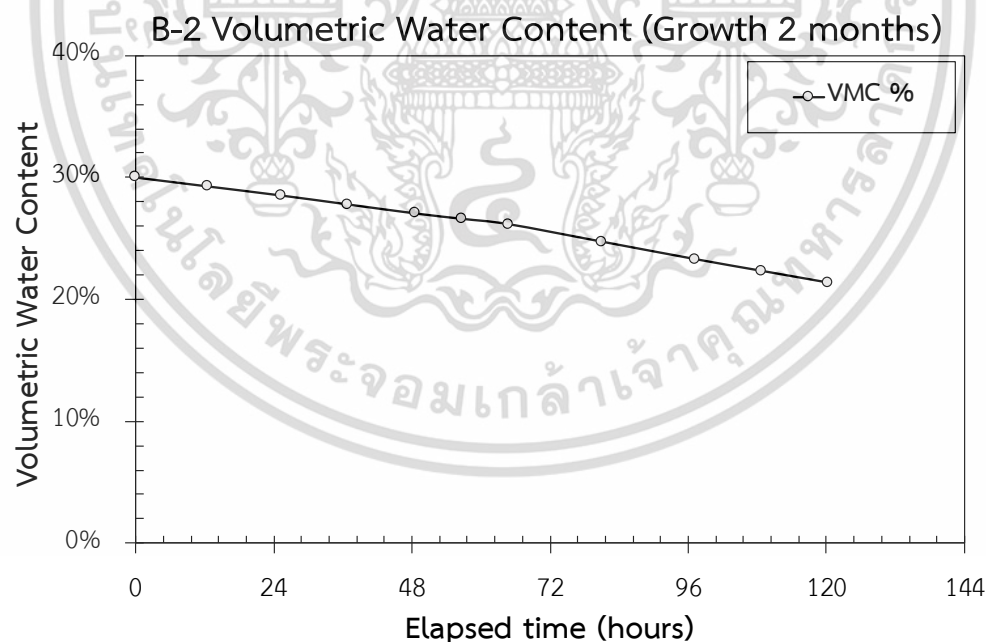
รูปที่ 4-53 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2. ตัวอย่าง B-2

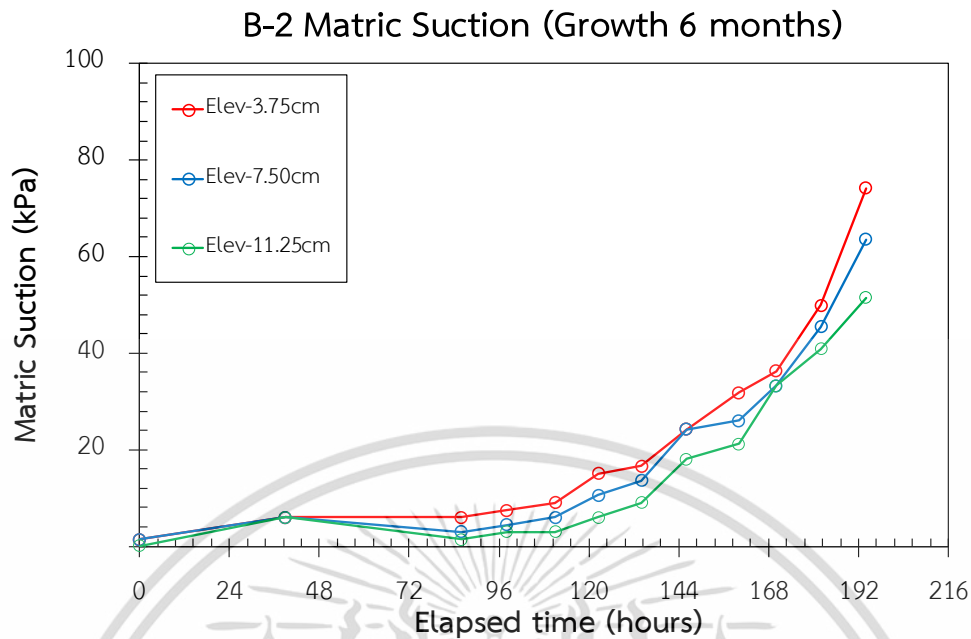


รูปที่ 4-54 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

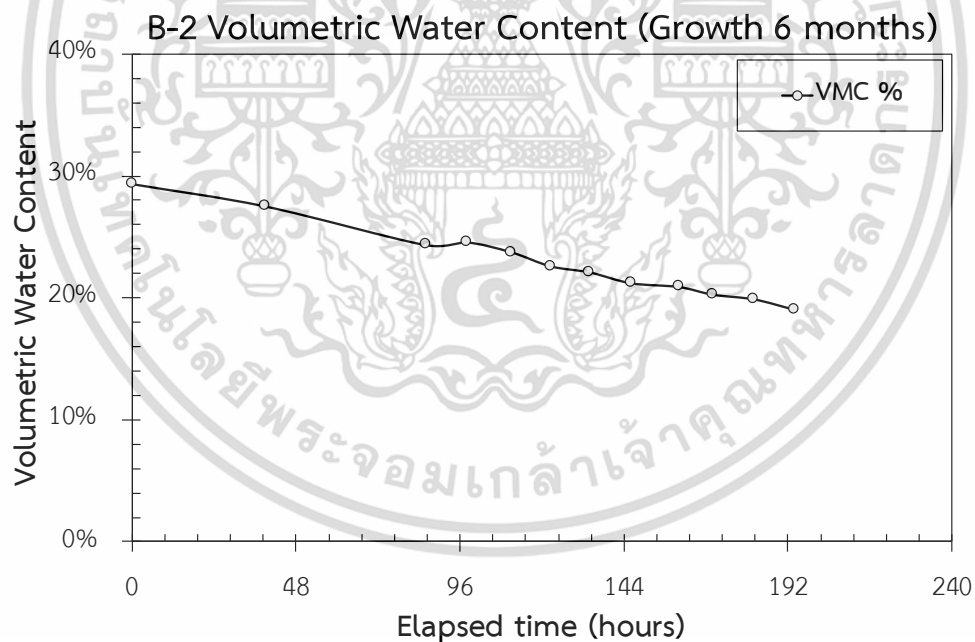


รูปที่ 4-55 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

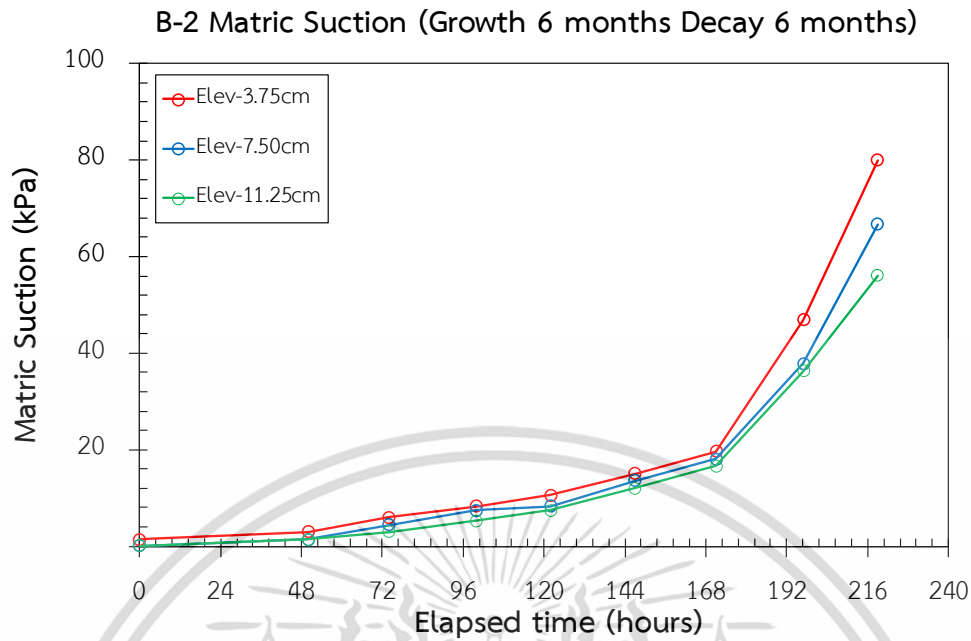


รูปที่ 4-56 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

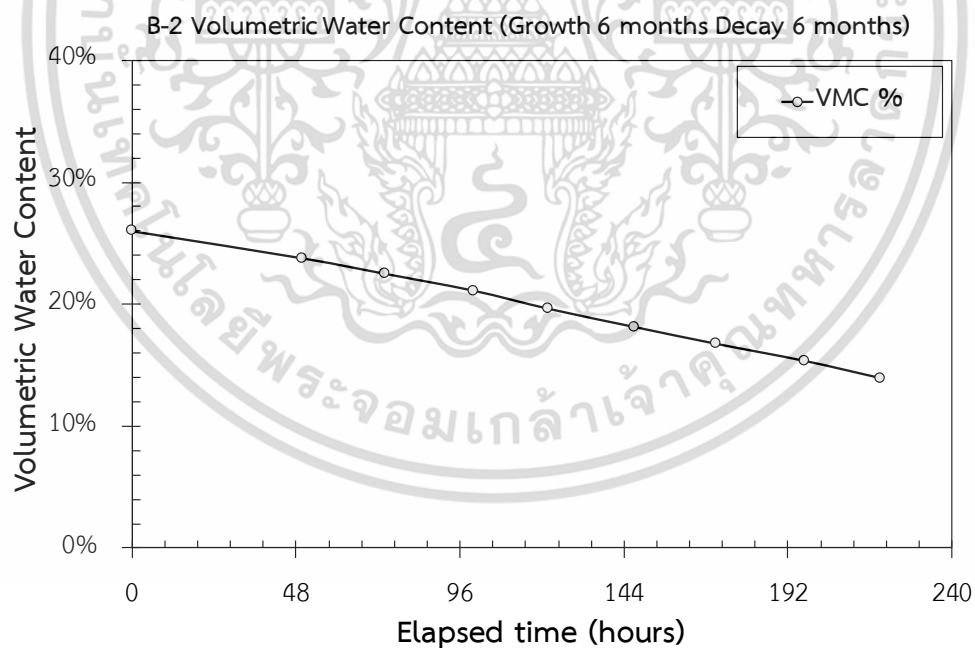


รูปที่ 4-57 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

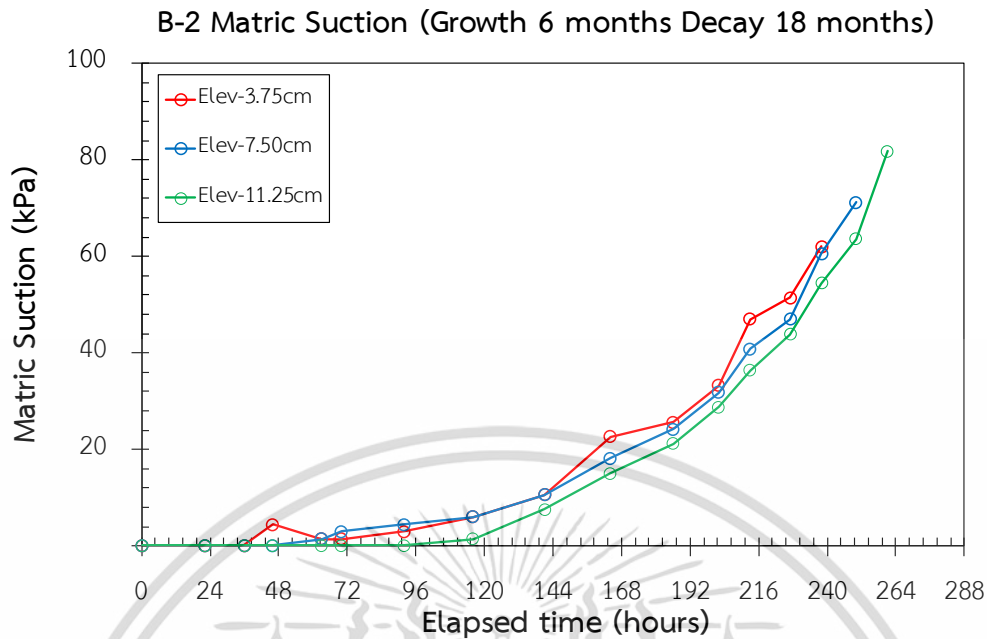


รูปที่ 4-58 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)

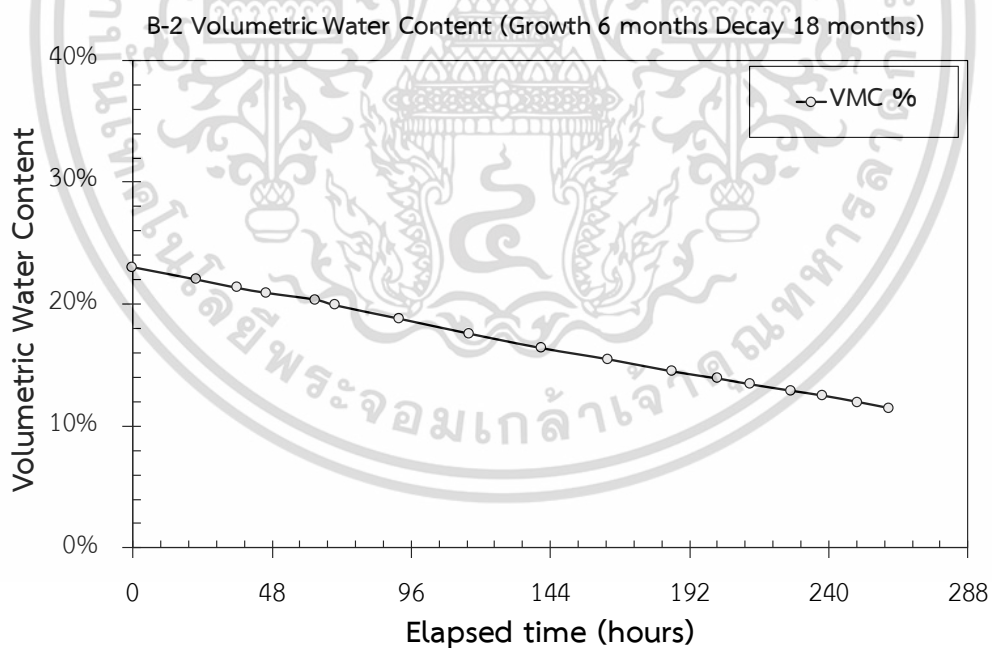


รูปที่ 4-59 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



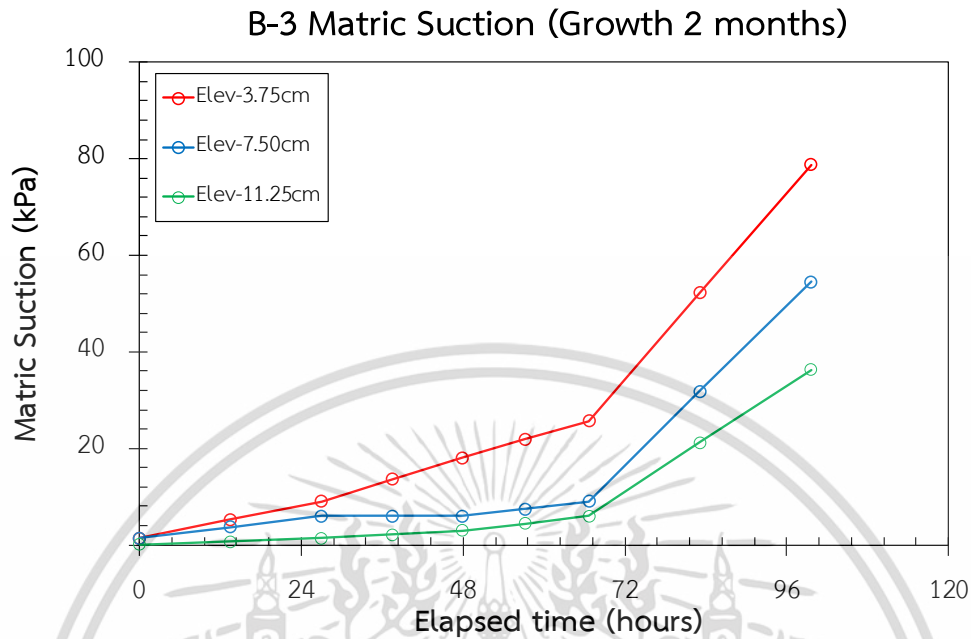
รูปที่ 4-60 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)



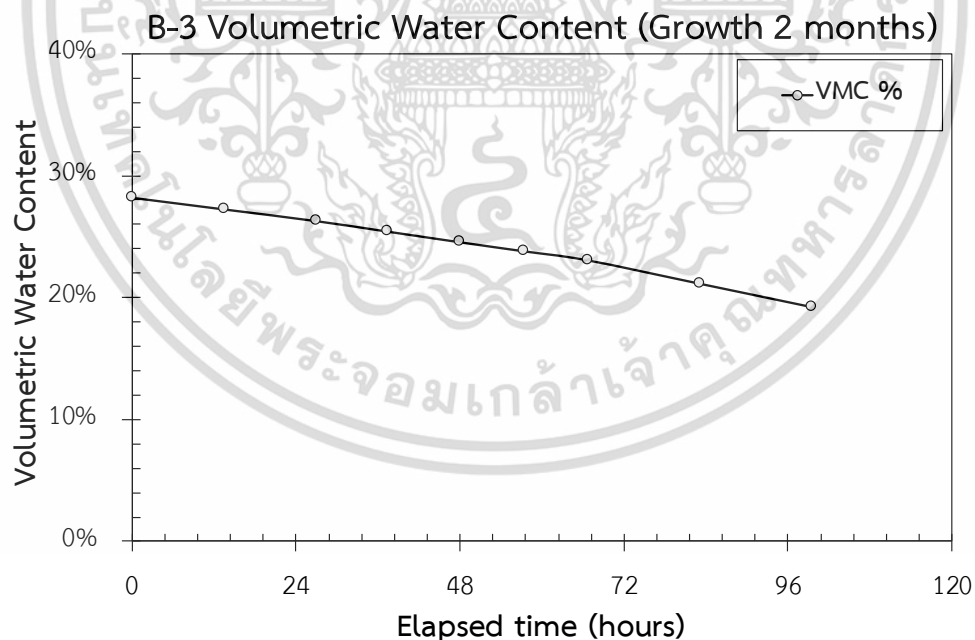
รูปที่ 4-61 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3. ตัวอย่าง B-3

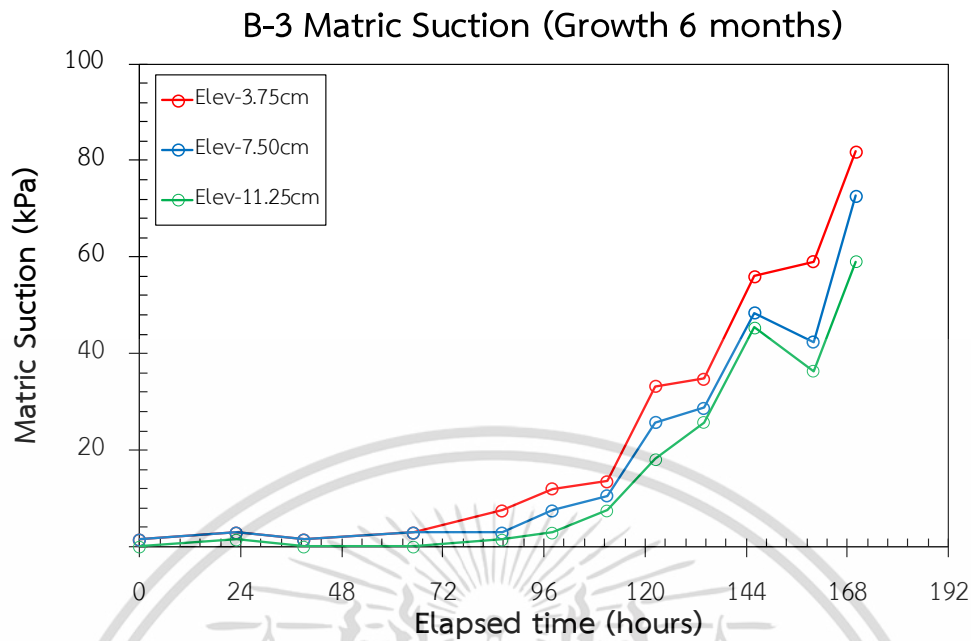


รูปที่ 4-62 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

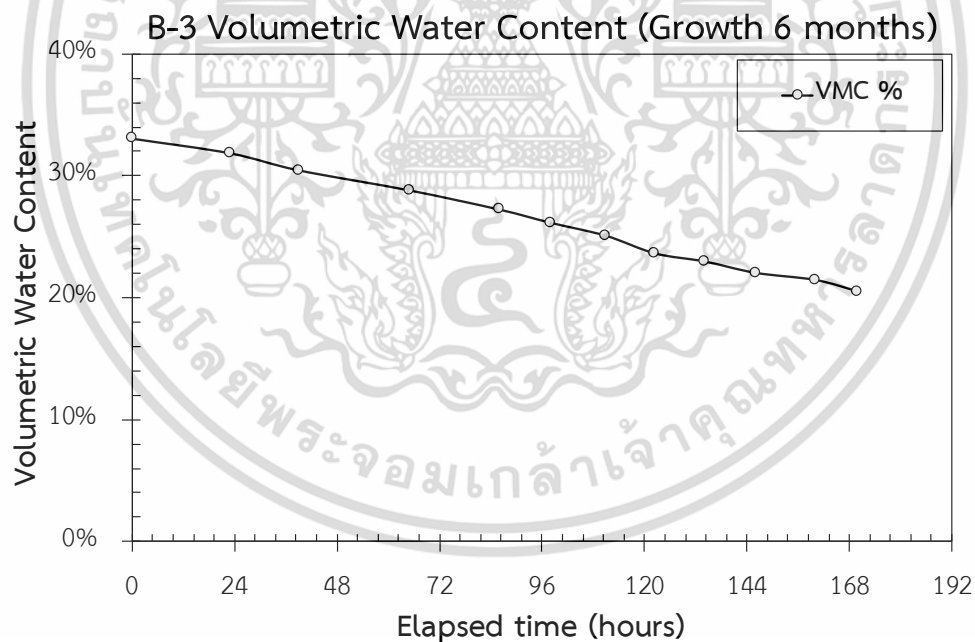


รูปที่ 4-63 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

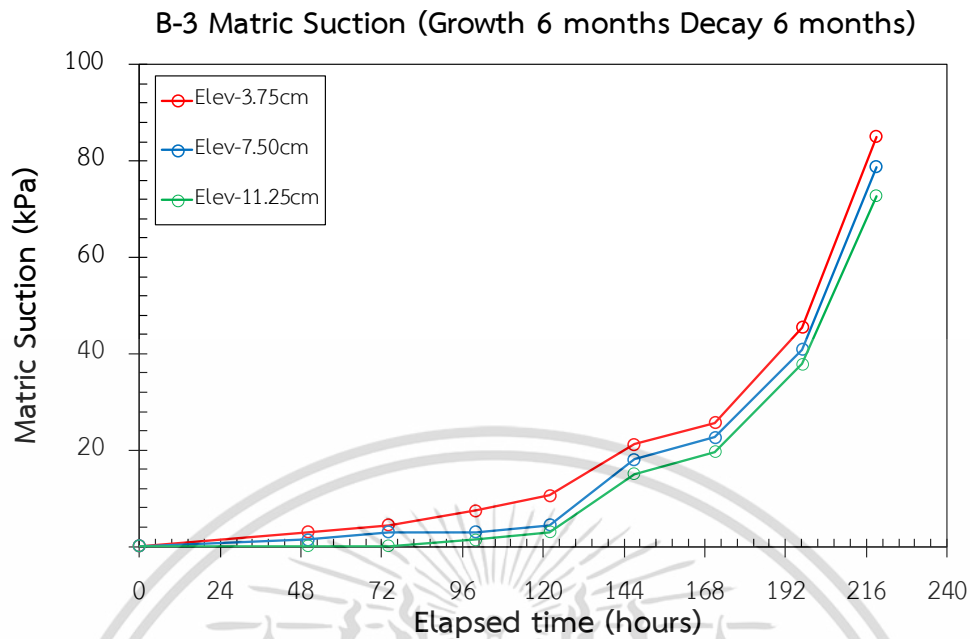


รูปที่ 4-64 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

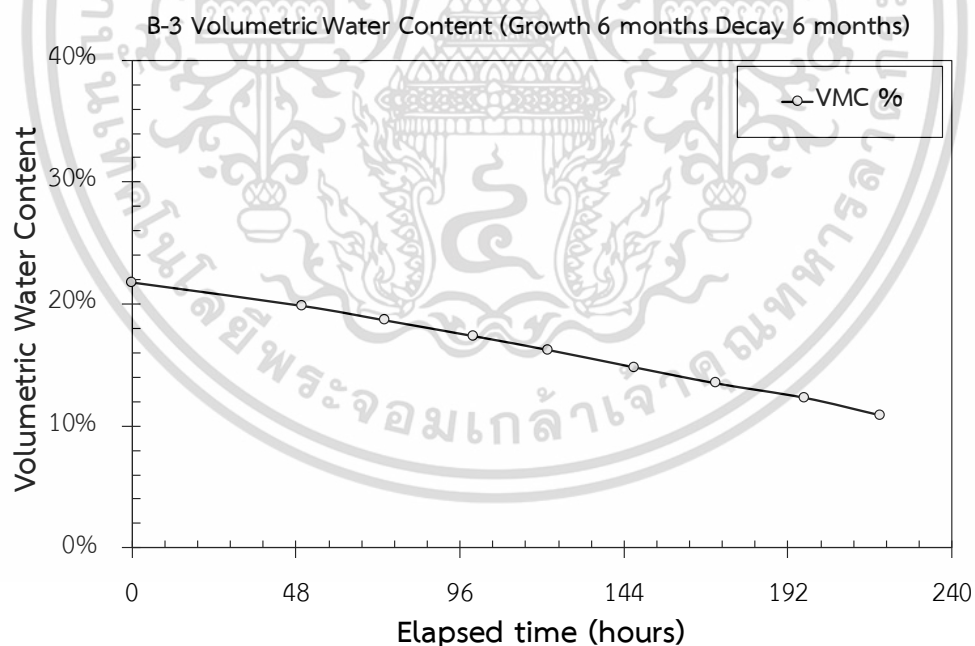


รูปที่ 4-65 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

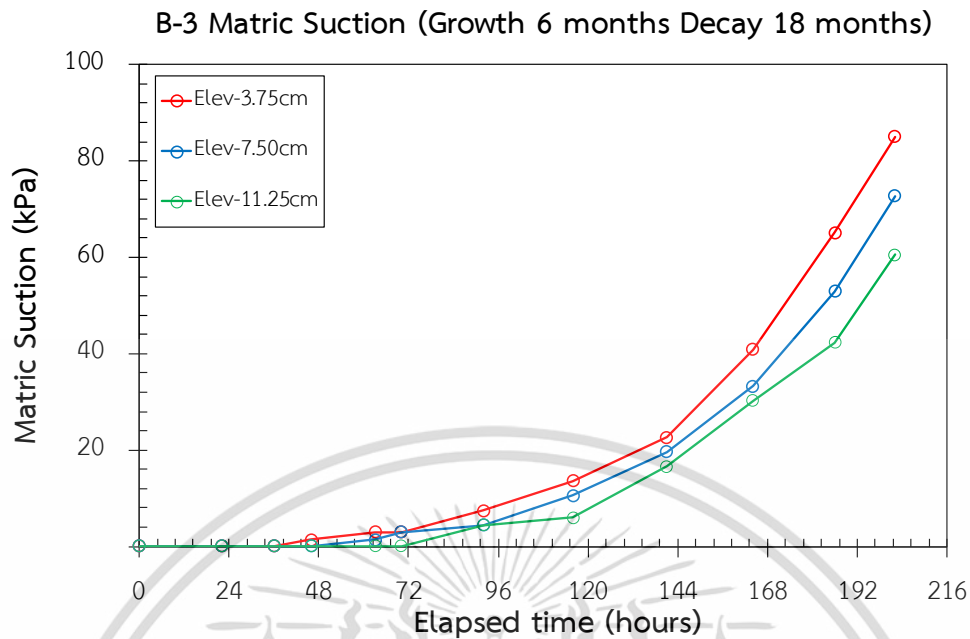


รูปที่ 4-66 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)

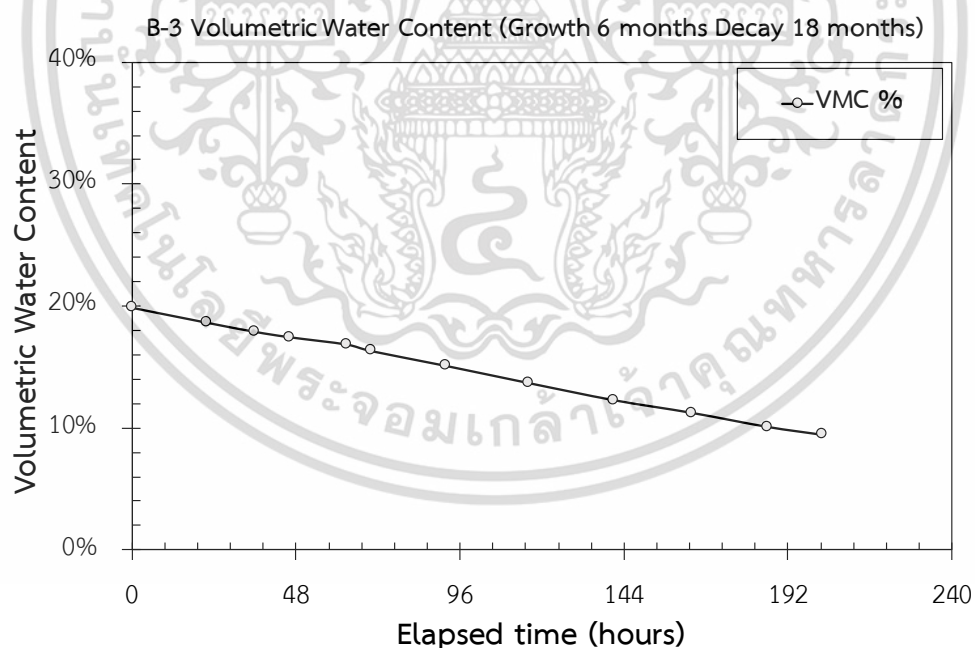


รูปที่ 4-67 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-68 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)



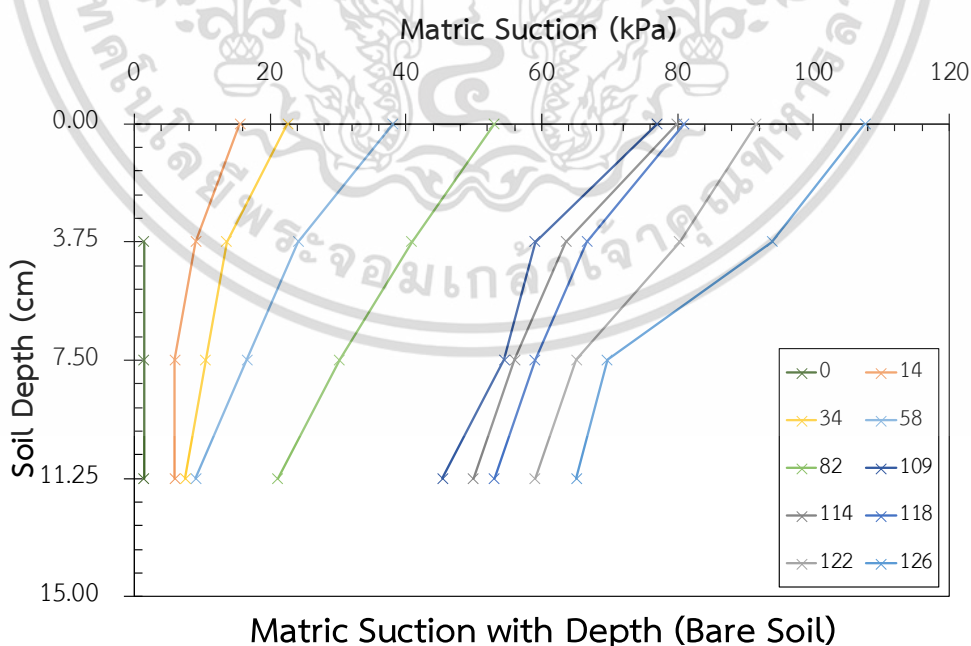
รูปที่ 4-69 ผลการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามช่วงเวลา ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. การเปลี่ยนแปลงของ Matric Suction ตามระดับความลึก

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดค่า Matric suction ที่ระดับความลึกที่แตกต่างกัน จากระดับผิวดินที่ 3.75, 7.5 และ 11.25 ซม. ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า Matric Suction ในแต่ละความลึก ในกระบวนการ Dry Process แสดงผลลัพธ์ในแต่ละช่วงเวลา หน่วยเป็นชั่วโมง จะสังเกตได้ว่า ในดินลูกรังเดิม แสดงในรูปที่ 4-70 การเปลี่ยนแปลงของเซนเซอร์แต่ละตัว เกิดขึ้นตามลำดับความลึกของดิน เนื่องจากการระเหยของน้ำในดินจากทางผิวดินด้านบน ในกลุ่ม A เมื่อมีการเกิดขึ้นของรากหญ้าแฝก ในช่วง 0-2 เดือนแรก ที่บริเวณผิวดินจะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดูดที่ผิวดินมากกว่าดินเดิม เกิดจากที่เริ่มซบซึ้งลงไปดินและหนาแน่นที่บริเวณด้านบนกระบอก มากกว่าด้านล่าง ถัดมาที่อายุ 2-6 เดือนจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่า Matric suction ต่อความลึก มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการที่รากซบซึ้งไปทั่วกระบอก ทำให้เกิดการรักษาสสมดุลของน้ำในดิน รวมไปถึงการดูดน้ำของรากที่ทั่วกันทั้งกระบอก ต่อมาที่ช่วงอายุ 6-12 เดือน จะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดูดที่บริเวณต้นมากกว่าบริเวณลึก อาจเกิดจากปริมาณของรากฝอยที่หนาแน่นบริเวณผิวดิน ที่แสดงดังรูป 4-5(a) และเมื่อรากมีการเสื่อมสลาย ความแตกต่างของค่า Matric suction ในแต่ละความลึก ใกล้เคียงกับดินเดิม แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของแรงดูดจากรากหญ้าแฝกได้หายไป แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มตัวอย่าง A ในหัวข้อ 4.4.2 ในกลุ่ม B ผลการเปลี่ยนแปลงเหมือนกันทั้งในช่วงการเจริญเติบโต และการเสื่อมสลาย แสดงผลการเปลี่ยนแปลงตัวอย่าง B ในหัวข้อ 4.4.3

4.4.1. ดินลูกรังเดิม (Bare soil)

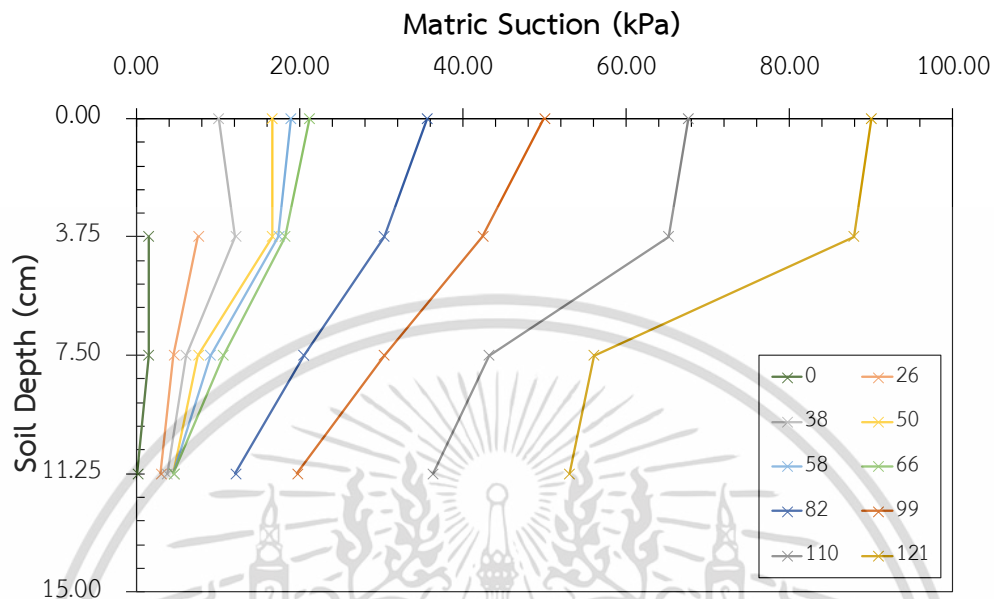


รูปที่ 4-70 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินลูกรังเดิม (Bare soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

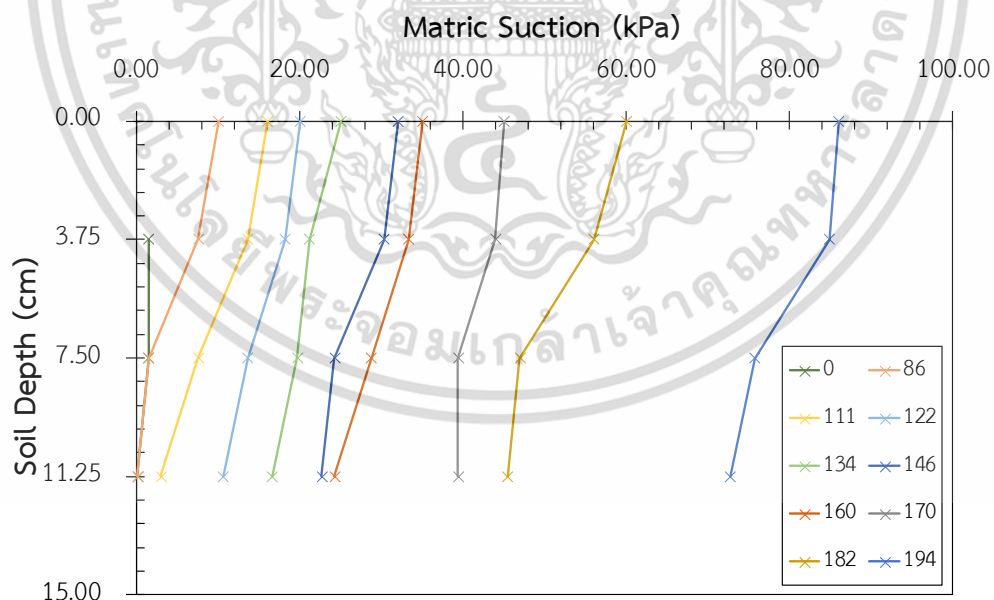
4.4.2. กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน)

4.4.2.1. ตัวอย่าง A-1



A-1 Matric Suction with Depth (Growth 2 months)

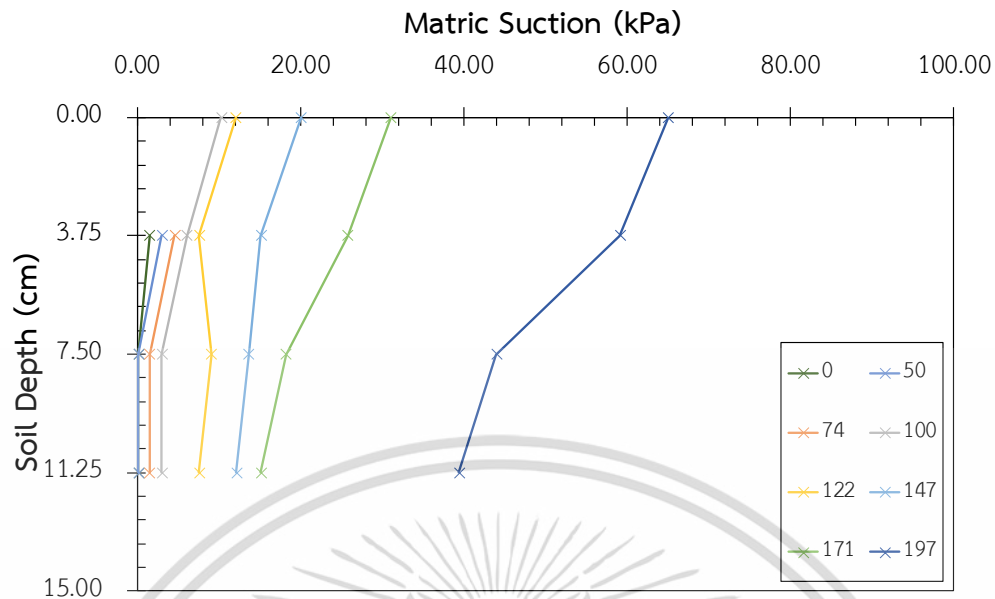
รูปที่ 4-71 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)



A-1 Matric Suction with Depth (Growth 6 months)

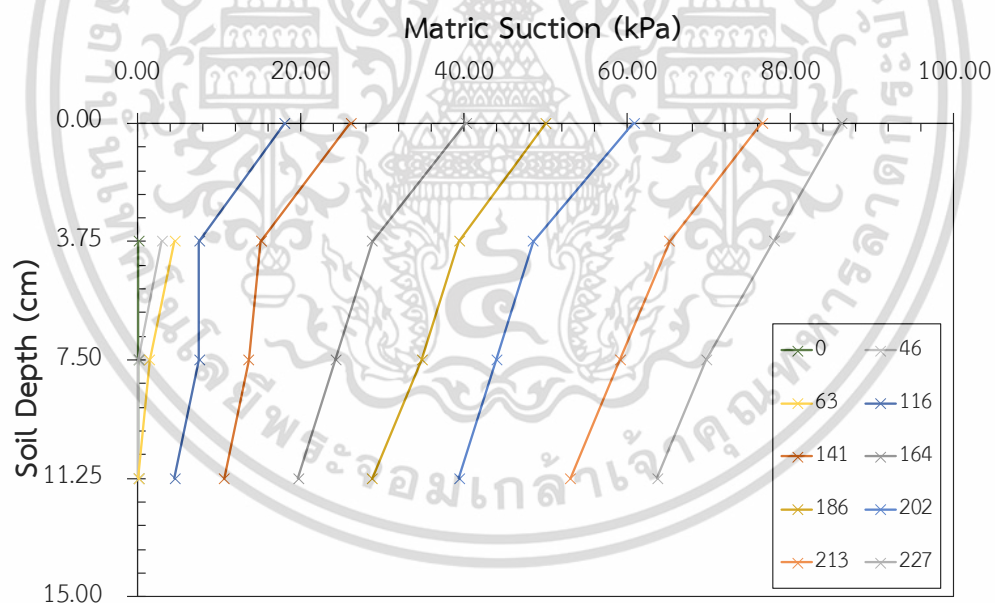
รูปที่ 4-72 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A-1 Matric Suction with Depth (Growth 12 months)

รูปที่ 4-73 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)

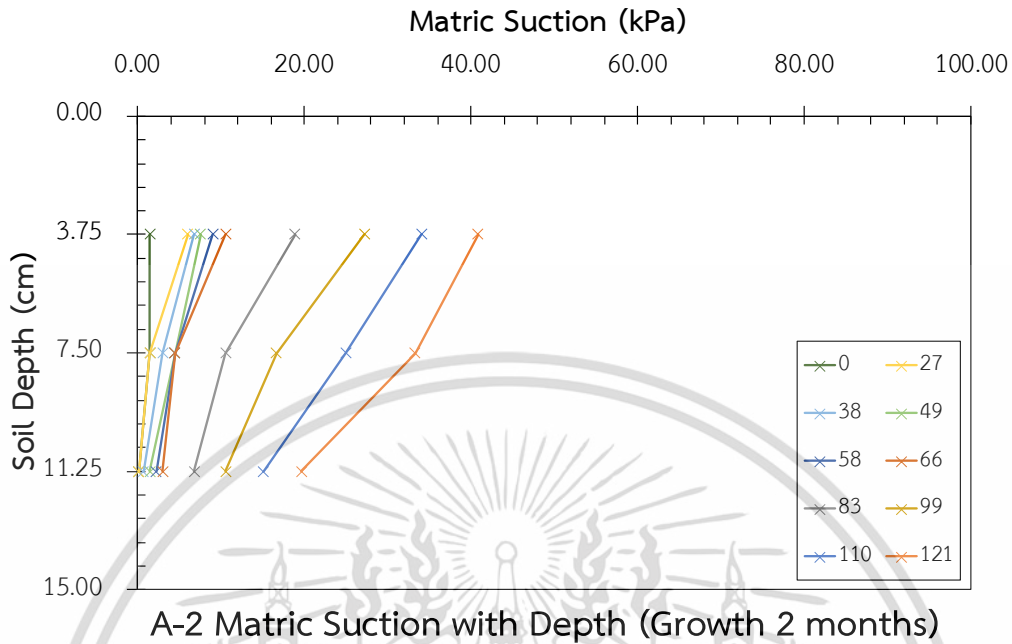


A-1 Matric Suction with Depth (Growth 12 months Decay 12 months)

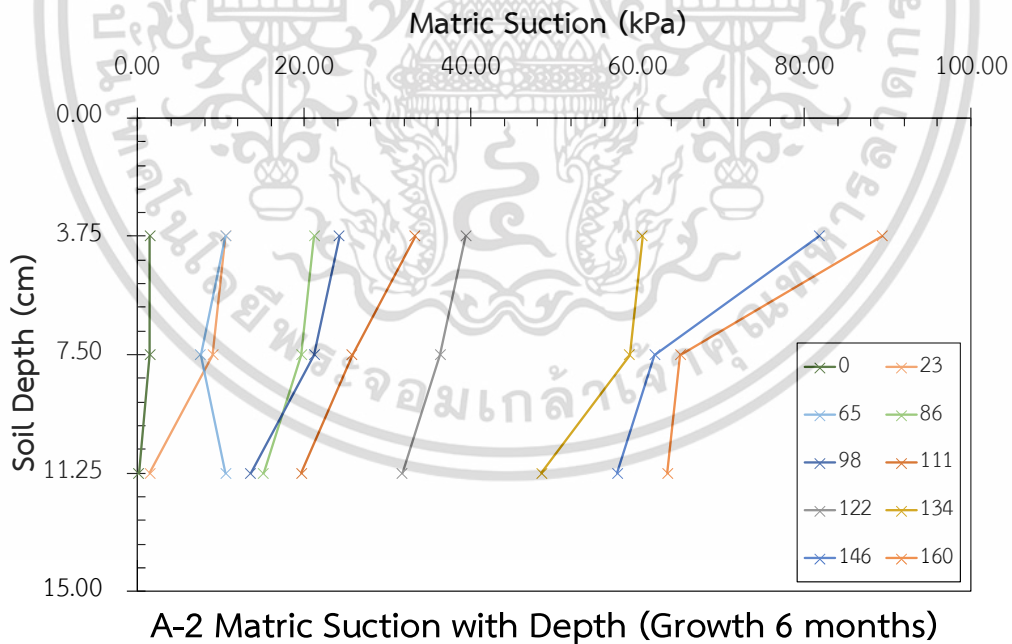
รูปที่ 4-74 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2. ตัวอย่าง A-2

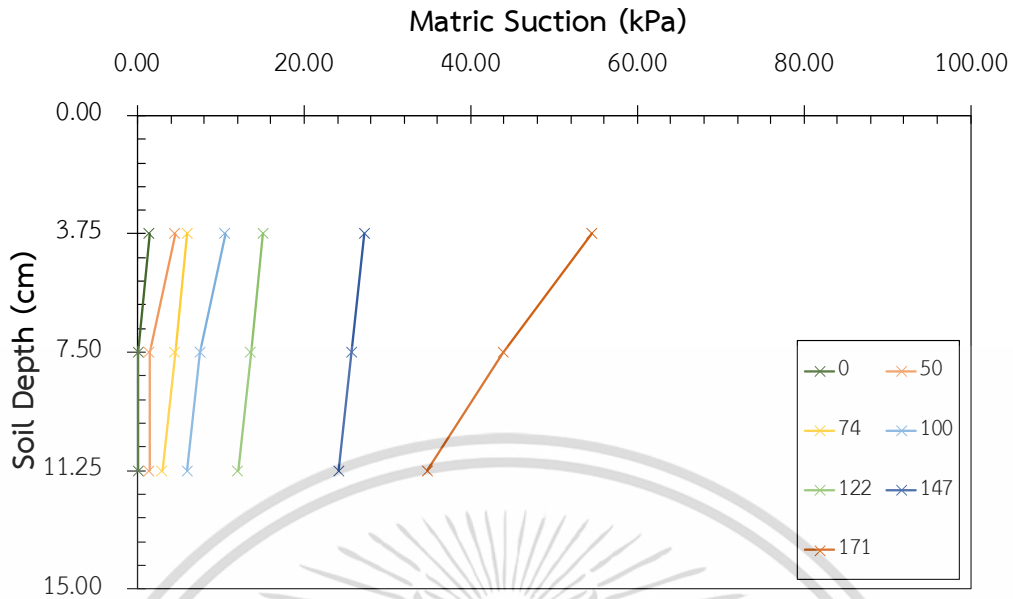


รูปที่ 4-75 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)



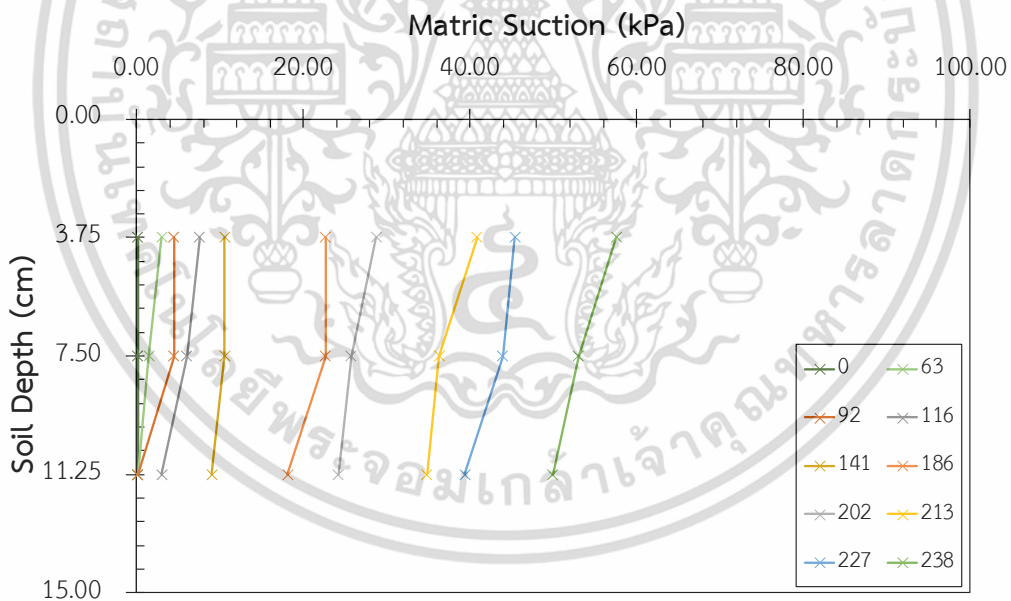
รูปที่ 4-76 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A-2 Matric Suction with Depth (Growth 12 months)

รูปที่ 4-77 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)

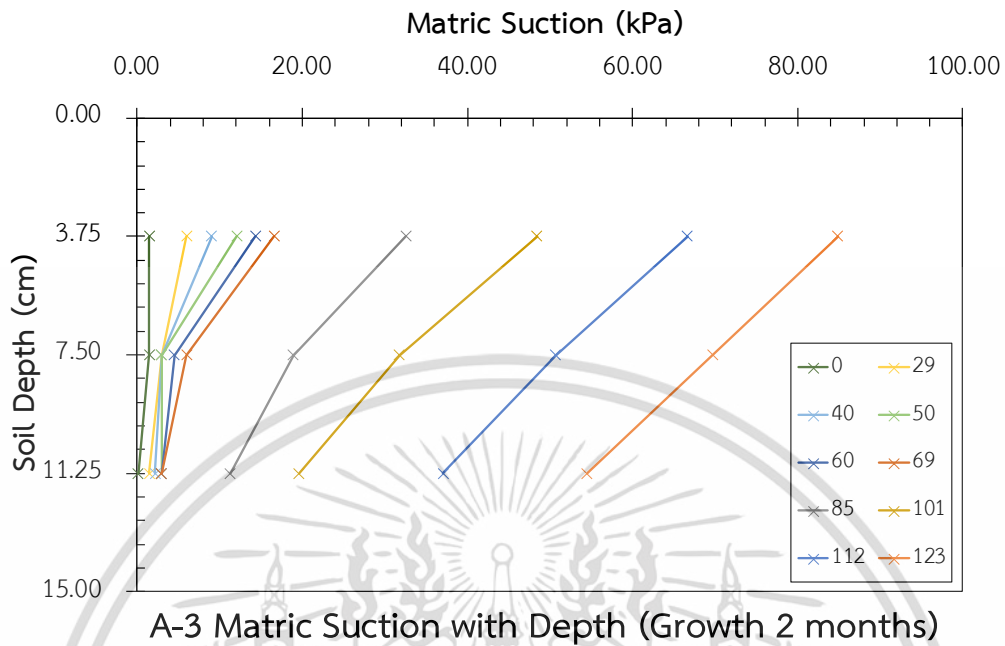


A-2 Matric Suction with Depth (Growth 12 months Decay 12 months)

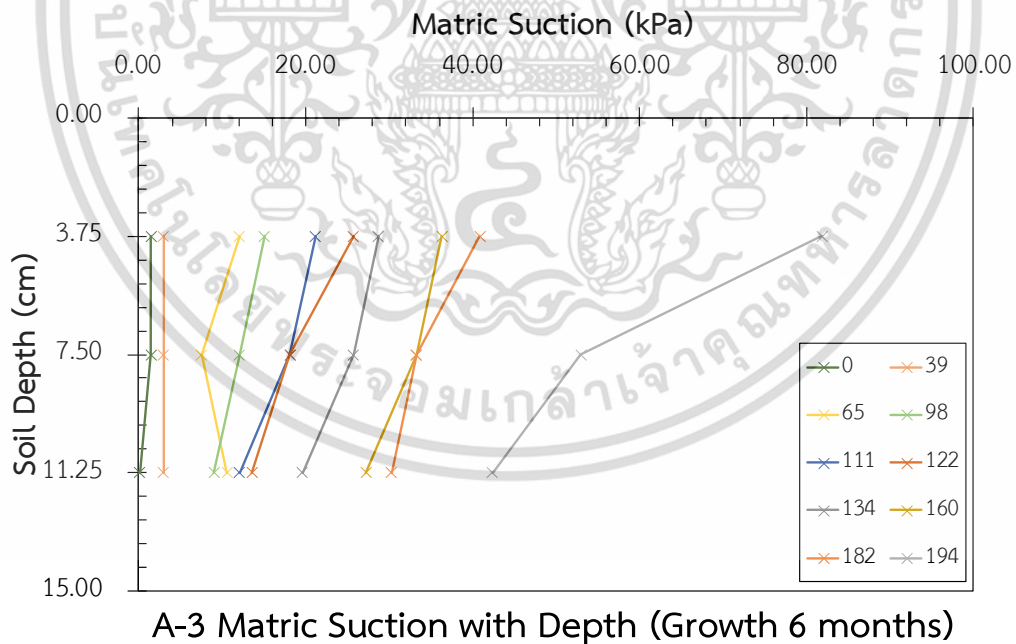
รูปที่ 4-78 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.3. ตัวอย่าง A-3

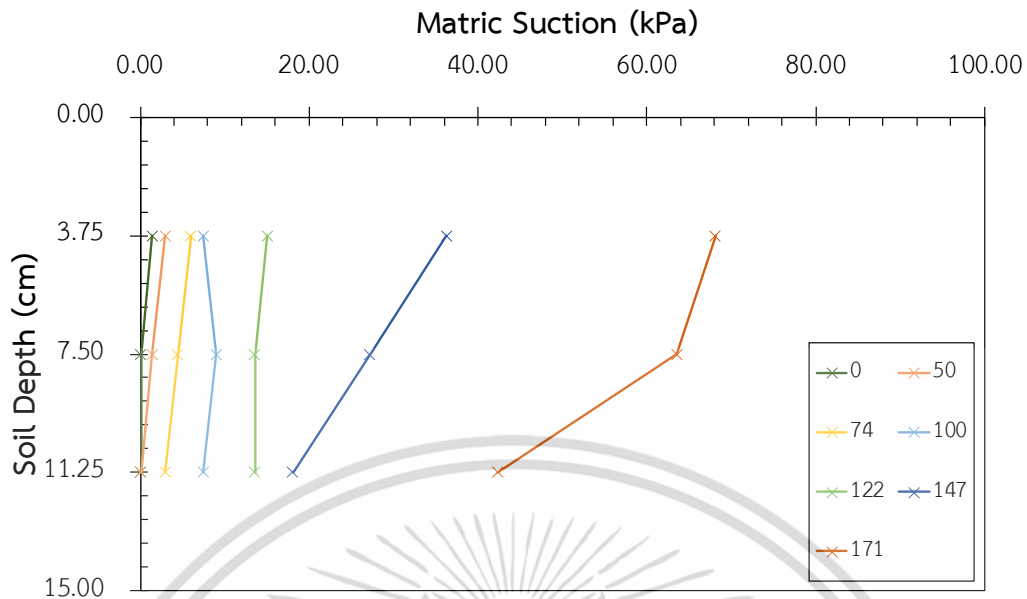


รูปที่ 4-79 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)



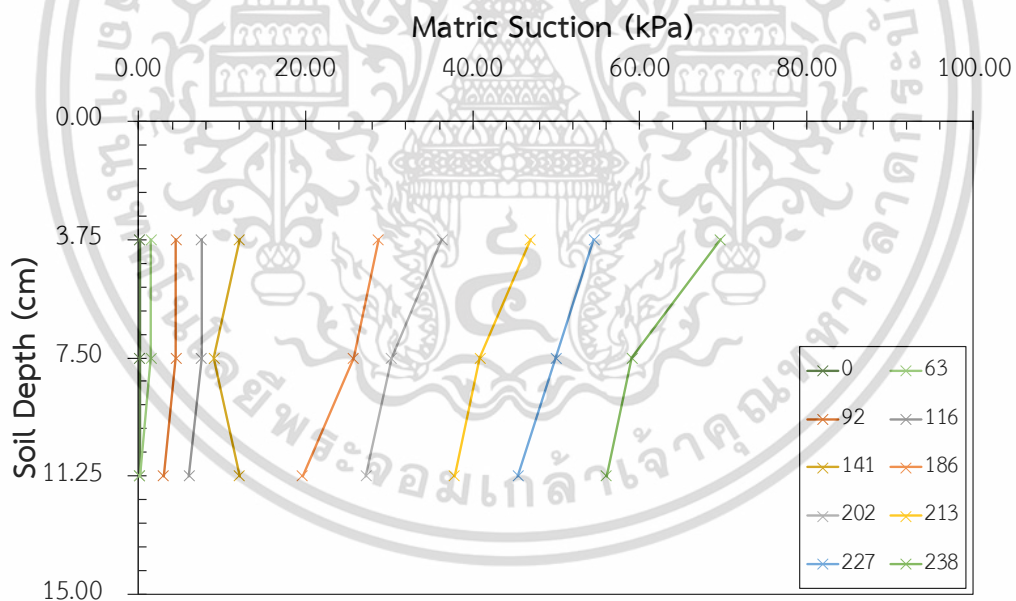
รูปที่ 4-80 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A-3 Matric Suction with Depth (Growth 12 months)

รูปที่ 4-81 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)



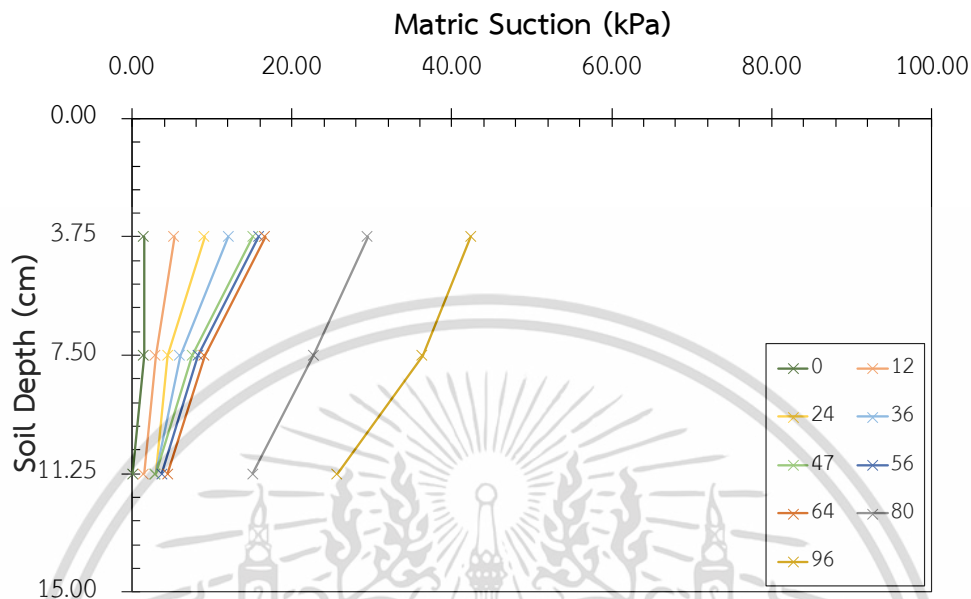
A-3 Matric Suction with Depth (Growth 12 months Decay 12 months)

รูปที่ 4-82 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

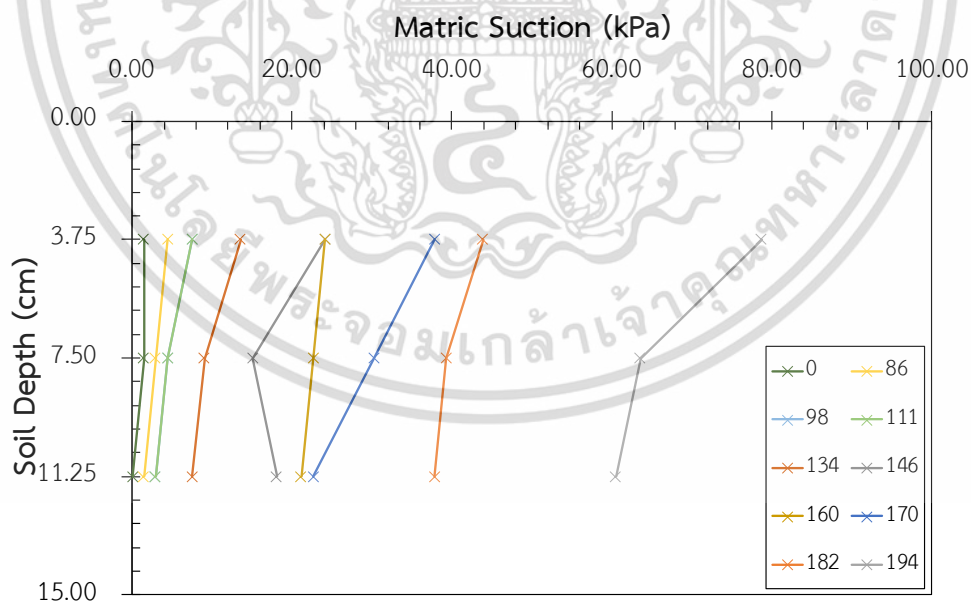
4.4.3. กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน)

4.4.3.1. ตัวอย่าง B-1



B-1 Matric Suction with Depth (Growth 2 months)

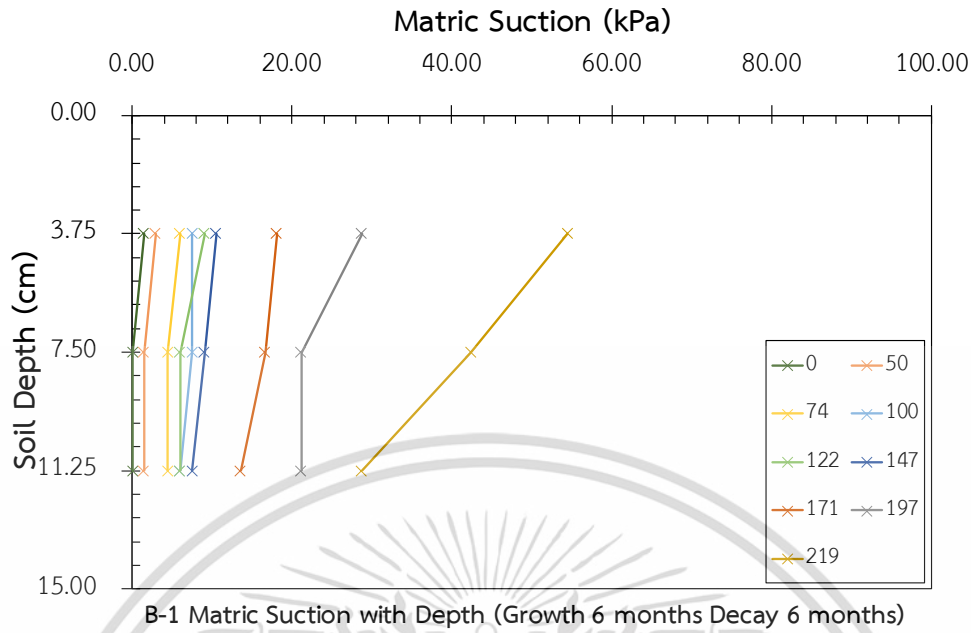
รูปที่ 4-83 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)



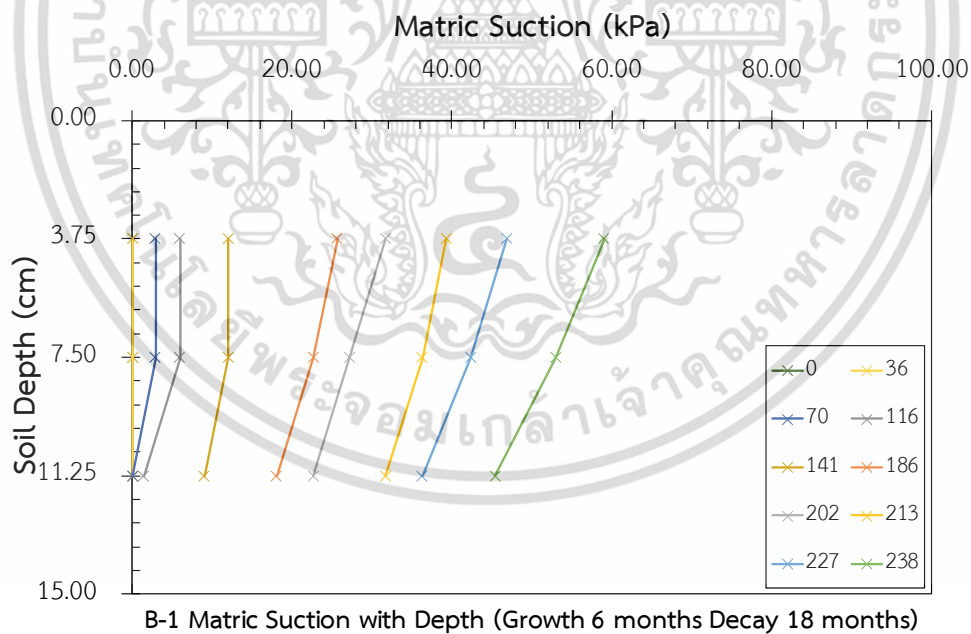
B-1 Matric Suction with Depth (Growth 6 months)

รูปที่ 4-84 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



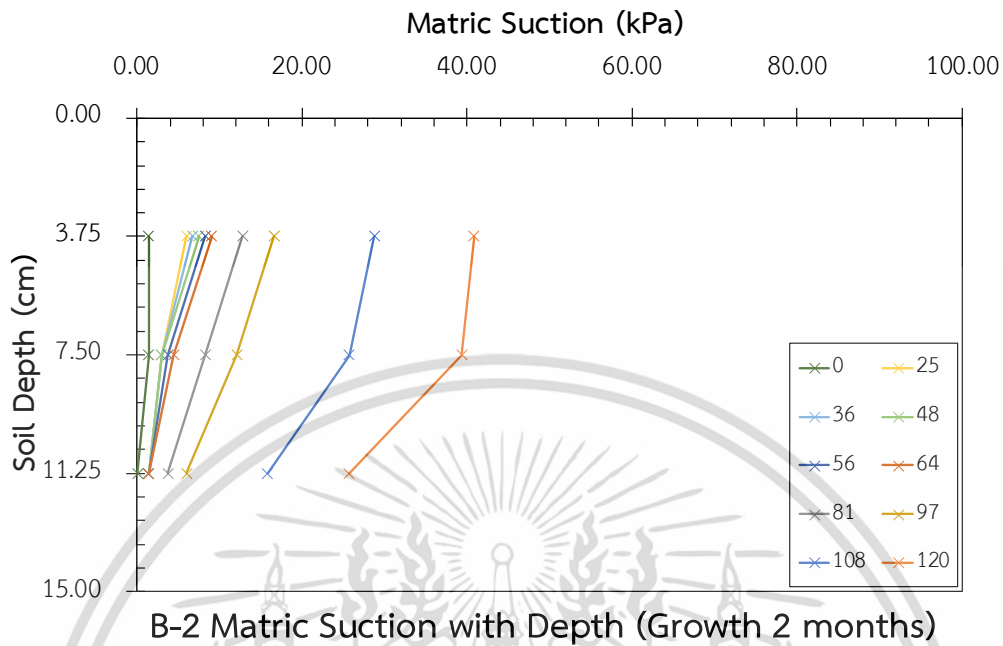
รูปที่ 4-85 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)



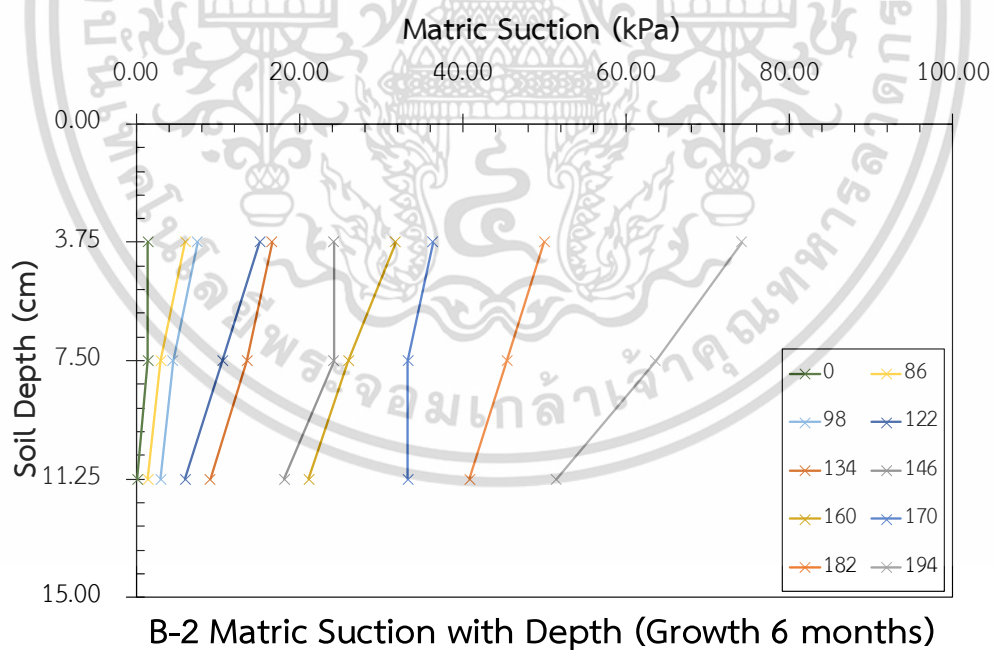
รูปที่ 4-86 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3.2. ตัวอย่าง B-2

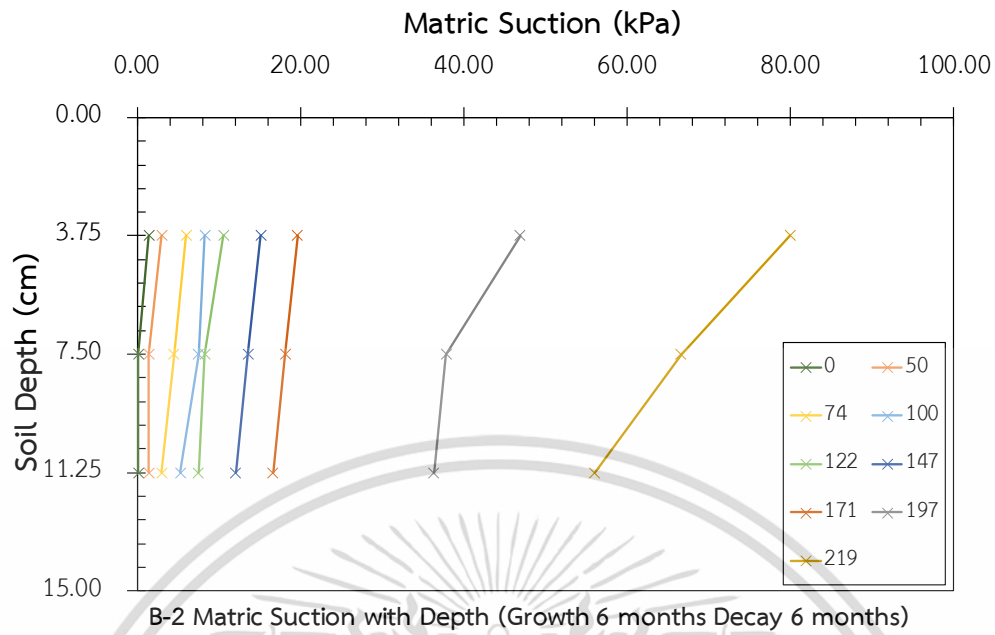


รูปที่ 4-87 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

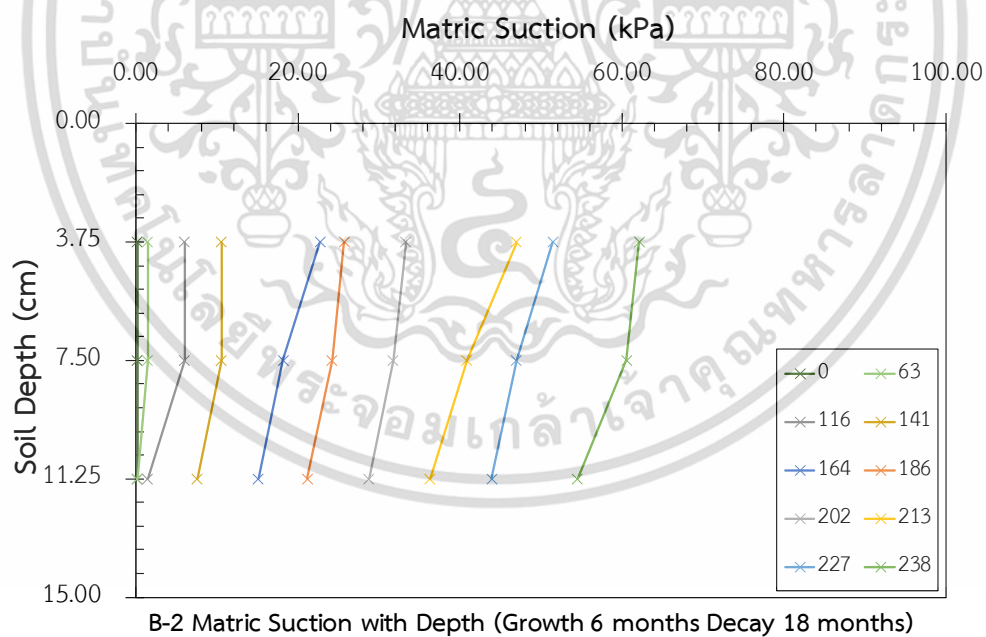


รูปที่ 4-88 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



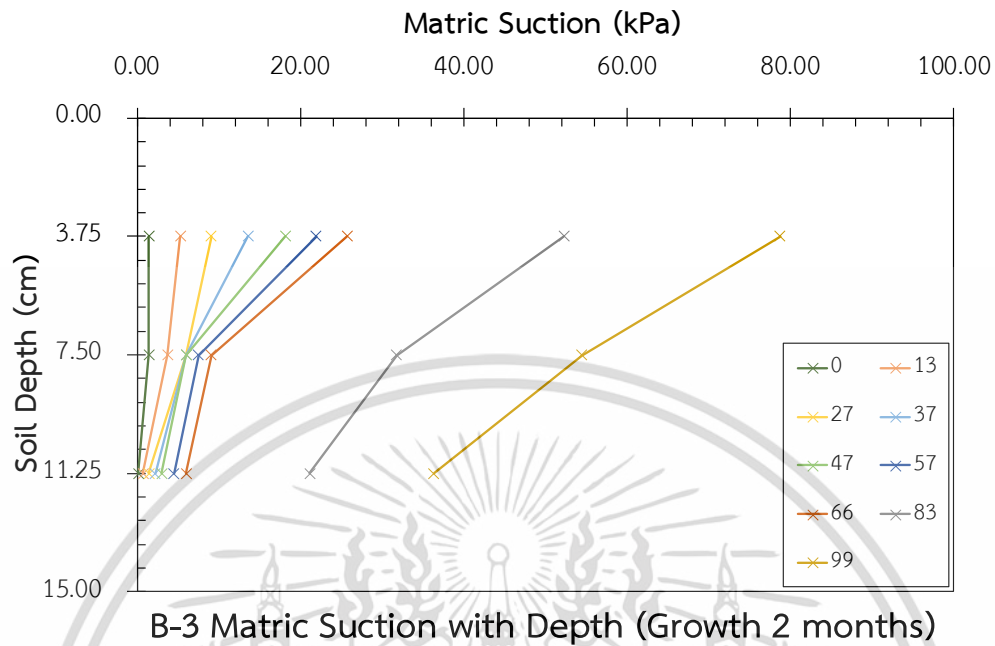
รูปที่ 4-89 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)



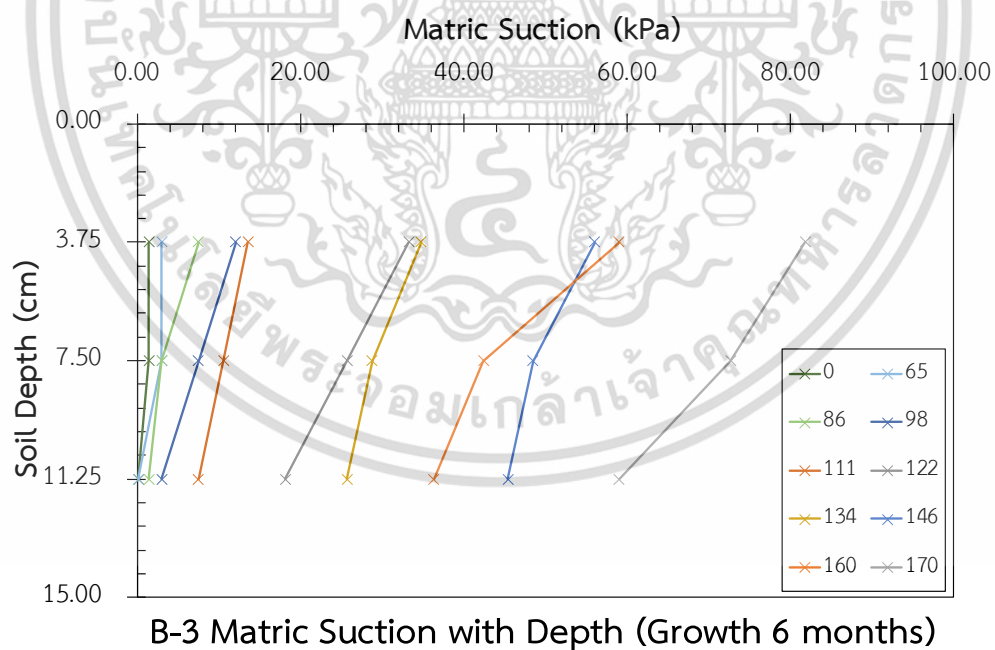
รูปที่ 4-90 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3.3. ตัวอย่าง B-3

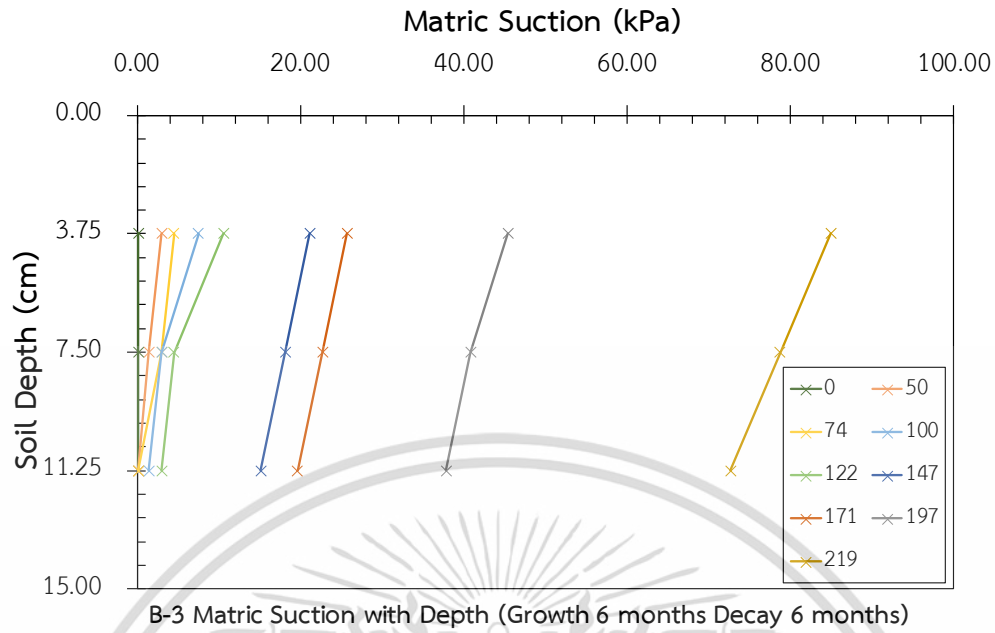


รูปที่ 4-91 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

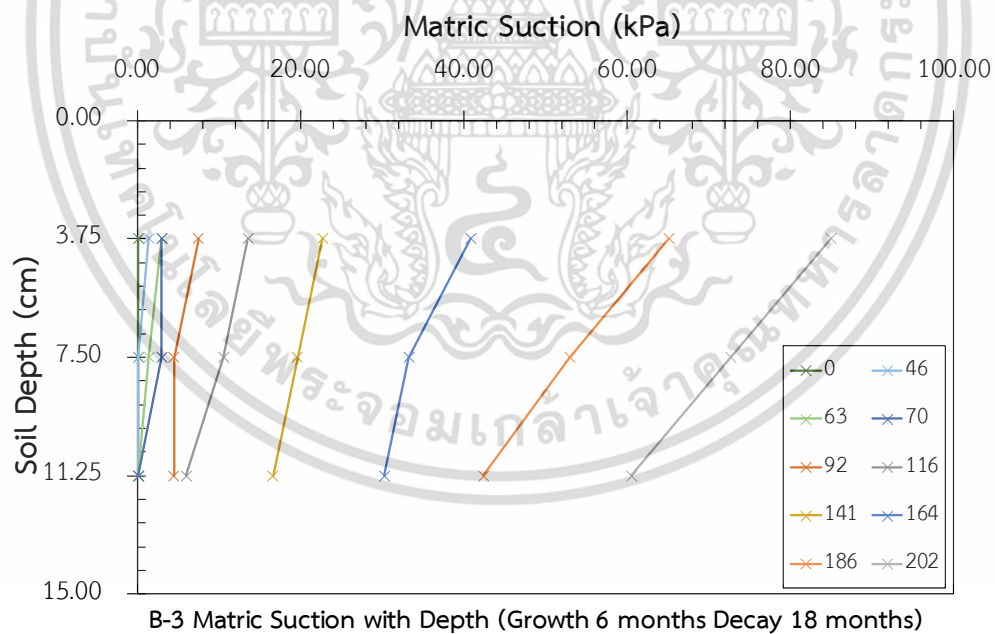


รูปที่ 4-92 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-93 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)

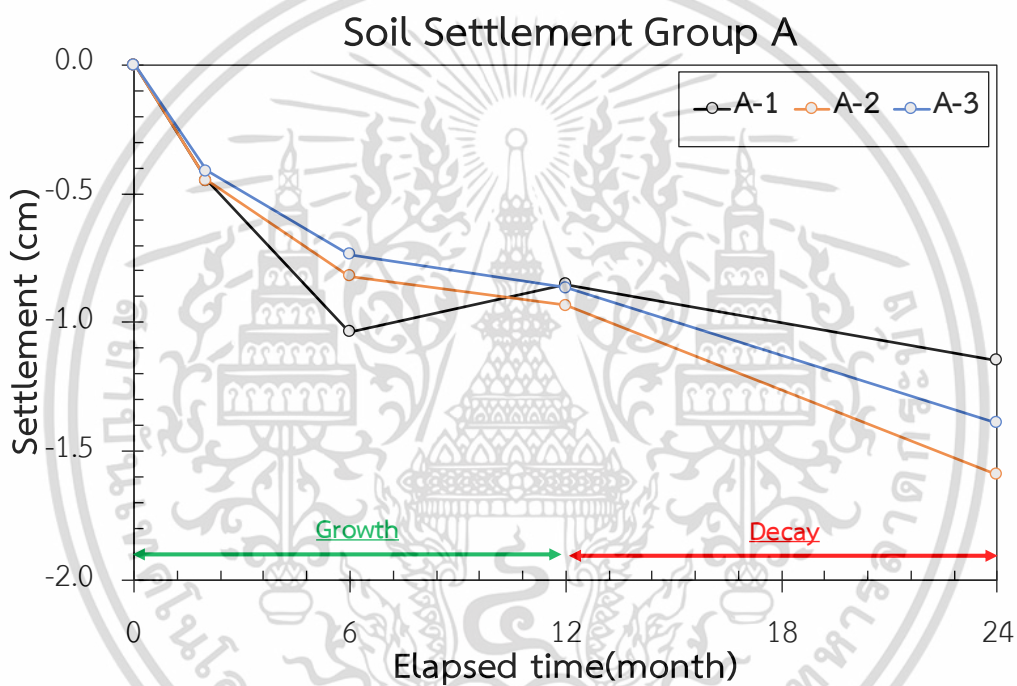


รูปที่ 4-94 ผลการเปลี่ยนแปลง Matric Suction ตามระดับความลึก ของดินตัวอย่าง B-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

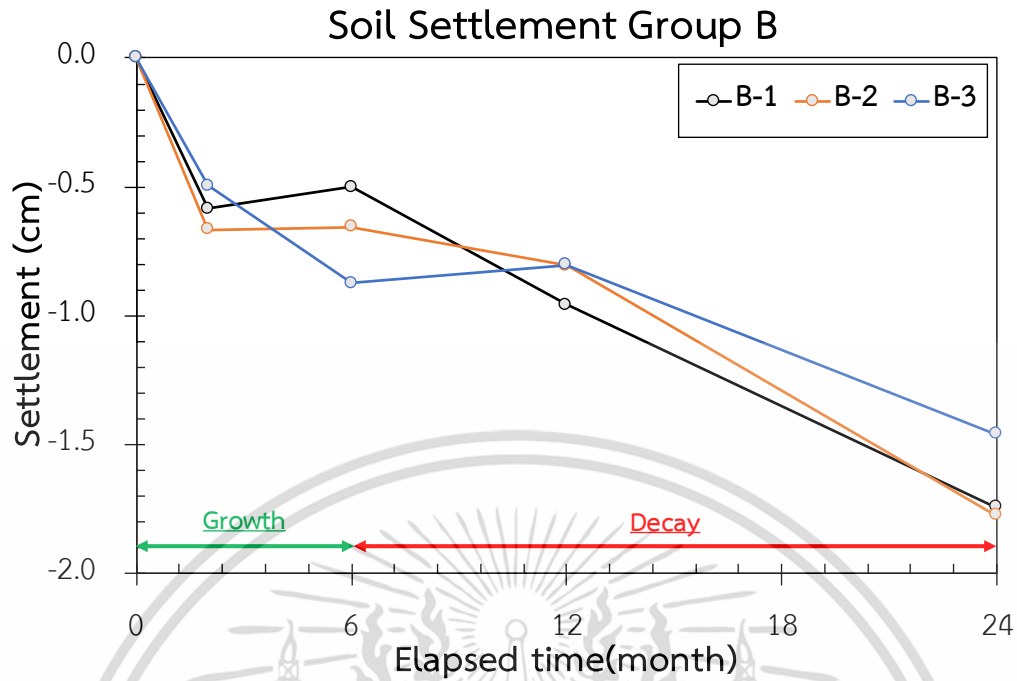
4.5. การทรุดตัวของดินในระบอบทดสอบ

หลังจากทำการทดสอบหาเส้นคงค้างของน้ำในดิน (SWRC) จะทำการจดบันทึกที่ระดับความสูงของผิวดิน เพื่อหาค่าการทรุดตัวของดินในระบอบทดสอบ แสดงในรูปที่ 4-95 และ 4-96 จะสังเกตได้ว่าในช่วง 0-2 เดือนแรก จะมีการทรุดตัวสูง เนื่องจาก Self-consolidation จะโครงสร้างดินที่บดอัดไม่แน่นมากนัก อัตราการทรุดตัวลดลงเมื่อมีการขนไซของรากหญ้าแฝกเข้าไปในช่องว่างของดิน เปรียบเสมือนร่างแห เสริมความแข็งแรงให้โครงสร้างของดิน และเมื่อหญ้าแฝกมีการหดตัวและเสื่อมสลาย จนเกิดช่องว่างในดิน ส่งผลให้เกิดการพังทลายของช่องว่างเม็ดดิน ทำให้อัตราการทรุดตัวกลับมามีค่าเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4-95 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนลำต้นหญ้าแฝก ในช่วงการเจริญเติบโต กลุ่ม A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-96 การเปลี่ยนแปลงของจำนวนลำต้นหญ้าแฝก ในระหว่างการเจริญเติบโต กลุ่ม B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

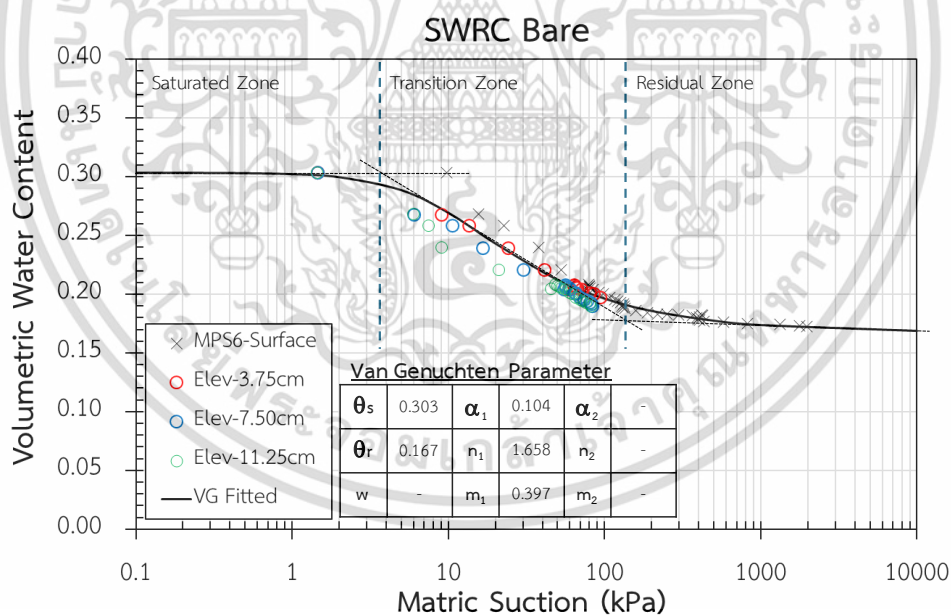
บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน จากการเจริญเติบโตและเสื่อมสลายของราก

5.1. เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve)

5.1.1. เส้นโค้งค้างของน้ำในดินลูกรังเดิม (Bare soil)

จากการศึกษาเส้นโค้งค้างของน้ำในดิน (Soil-Water Characteristic Curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (Volumetric Water Content) ของดินกับค่าแรงดูดในดิน (Matrix Suction) ปรับเส้นการค้างของน้ำในดิน โดยใช้สมการของ Van Genuchten ทั้งนี้ทั้งนั้นพฤติกรรมของดินลูกรังเดิมอาจมีรูปแบบพฤติกรรมแบบ Bimodal ที่แรงดูดสูงกว่า 2000 kPa แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือตรวจวัด จึงไม่สามารถตรวจวัดพฤติกรรมของดินที่แรงดูดสูงกว่า 2000 kPa ได้ จึงแสดงผลของดินลูกรังเดิม (Bare soil) ในรูปที่ 5-1 ในรูปแบบของ Unimodal (single porosity)



รูปที่ 5-1 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน ของดินลูกรัง (Bare soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2. เส้นคengk้างของน้ำในดิน กลุ่มตัวอย่าง A

(ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน)

แสดงเส้นคengk้างของน้ำในดินหญ้าแฝก ครอบอก A-1 (Vetiver Sample A-1) ในช่วงการเจริญเติบโต ที่อายุ 2 เดือน, 6 เดือน และ 12 เดือน ในรูปที่ 5-2 ถึง 5-4 ตามลำดับ และแสดงเส้นคengk้างของน้ำในดิน ช่วงการเสื่อมสลายไปได้ 12 เดือน ในรูปที่ 5-5 ในรูปแบบของ Bimodal (Dual porosity) สรุปค่าพารามิเตอร์ของ Van Genuchten ในตารางที่ 5-2

แสดงเส้นคengk้างของน้ำในดินหญ้าแฝก ครอบอก A-2 (Vetiver Sample A-2) ในช่วงการเจริญเติบโต ที่อายุ 2 เดือน, 6 เดือน และ 12 เดือน ในรูปที่ 5-6 ถึง 5-8 ตามลำดับ และแสดงเส้นคengk้างของน้ำในดิน ช่วงการเสื่อมสลายไปได้ 12 เดือน ในรูปที่ 5-9 ในรูปแบบของ Unimodal (Single porosity) สรุปค่าพารามิเตอร์ของ Van Genuchten ในตารางที่ 5-3

แสดงเส้นคengk้างของน้ำในดินหญ้าแฝก ครอบอก A-3 (Vetiver Sample A-3) ในช่วงการเจริญเติบโต ที่อายุ 2 เดือน, 6 เดือน และ 12 เดือน ในรูปที่ 5-10 ถึง 5-12 ตามลำดับ และแสดงเส้นคengk้างของน้ำในดิน ช่วงการเสื่อมสลายไปได้ 12 เดือน ในรูปที่ 5-13 ในรูปแบบของ Unimodal (Single porosity) สรุปค่าพารามิเตอร์ของ Van Genuchten ในตารางที่ 5-4

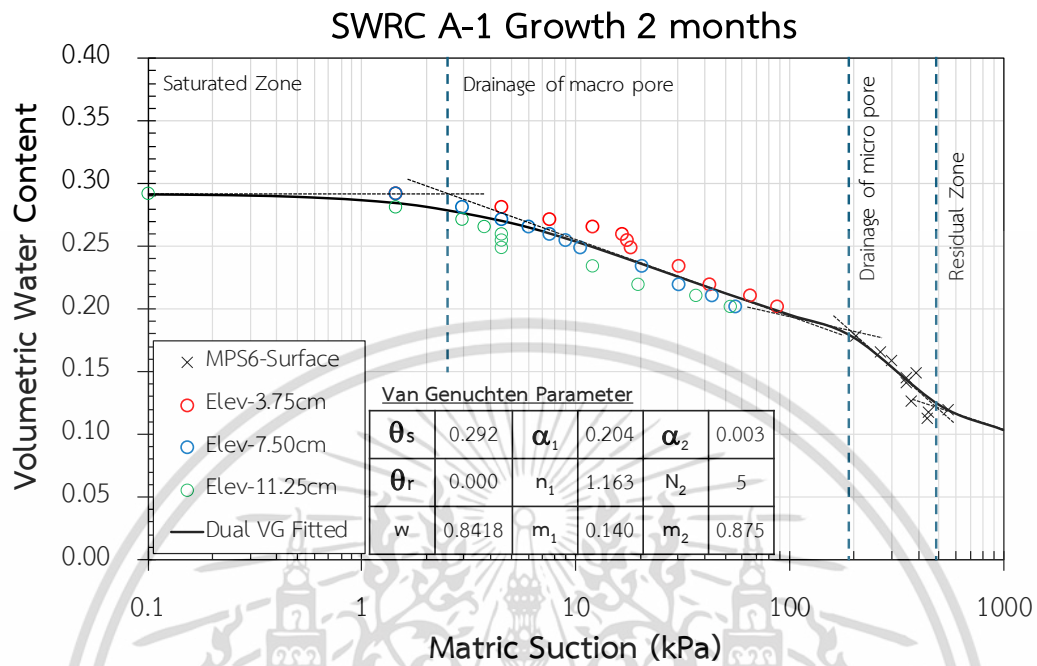
จากการเปรียบเทียบชุดข้อมูลความสัมพันธ์ในกลุ่มตัวอย่าง A นี้จะสังเกตได้ว่า ที่ดินลูกรังเดิมจะเห็นการกระจายตัวของค่าแรงดึงของน้ำในดินที่มากในแต่ละความลึก เนื่องจากค่าความชื้นเป็นค่าโดยรวมของทั้งครอบอก และพบว่าในความชื้นเดียวกันจะมีค่าแรงดึงของน้ำแตกต่างกันถึงกว่า 20kPa โดยมีค่ามากที่สุดที่ผิวดินเนื่องจากผลของการระเหยที่มีการสูญเสียน้ำบริเวณผิวดิน และเกิดการไหลจากล่างขึ้นบนตามลำดับ ต่อมาเมื่อสังเกตดินที่มีหญ้าแฝกอายุ 6 เดือน จะเห็นว่าการกระจายตัวของแรงดึงน้ำในดินมีค่าลดลง โดยในความชื้นเดียวกันจะมีค่าไม่เกิน 10kPa ทั้งนี้เนื่องจากรากพืชได้มีการชอนไชไปในแต่ละความลึก และทำให้การสูญเสียน้ำทั้งจากการระเหยและคายน้ำไม่มีความแตกต่างกันมากในช่วงความลึกของรากพืช ดังรูปที่ 4-5 (b) ในช่วงของหญ้าแฝกอายุ 12 เดือน และหลังจากการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝกได้ 12 เดือน จะมีการกระจายตัวของการกระจายตัวของแรงดึงน้ำในดินใกล้เคียงเดิมถึงแม้ว่ารากหญ้าแฝกจะมีการกระจายเต็มทีในครอบอก หรือรากมีการเสื่อมไปแล้วก็ตาม

จากการเปรียบเทียบเส้นการคengk้างของน้ำในดินระหว่างดินลูกรังเดิม กับดินหญ้าแฝก ในครอบอกทดสอบ A-1 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของรูพรุนแบบ Bimodal ที่มีสองความพรุน (Dual porosity) ซึ่งในดินลูกรังเดิมอาจจะเกิดพฤติกรรมแบบ Bimodal ที่ค่าแรงดูดสูงกว่า 2000 kPa แต่ในดินเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

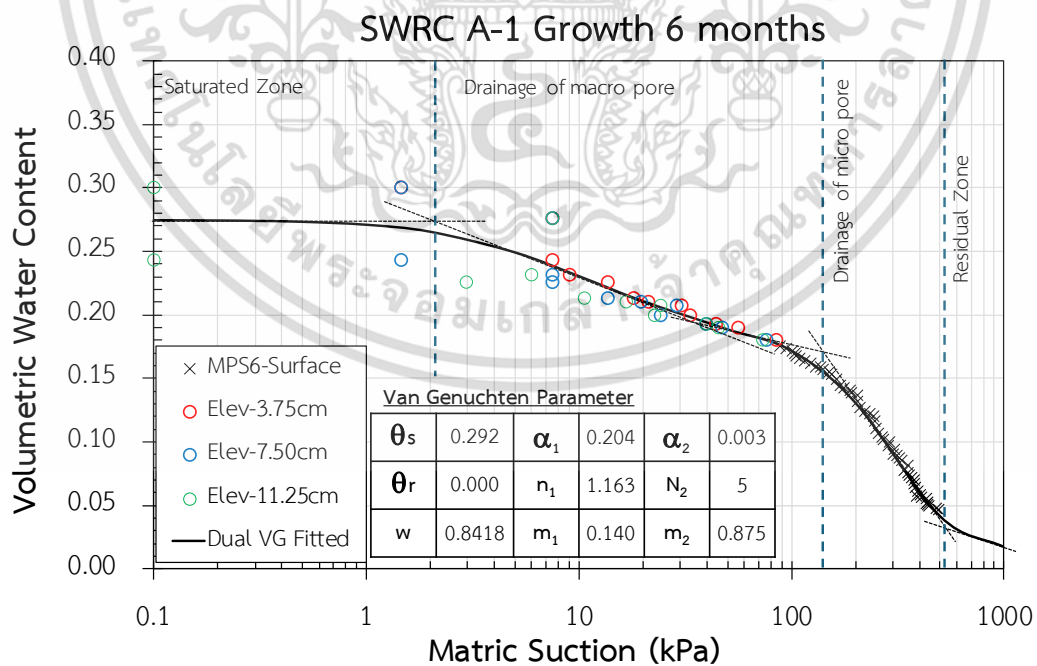
ที่มีหญ้าแฝกเกิดพฤติกรรมนี้ในช่วงของแรงดูด 100 kPa ถึง 1000 kPa จากการตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดแรงดูดสูง (MPS-6) ที่สามารถวัดค่าแรงดูดของดินได้มากกว่า 100 kPa โดยแบ่งเป็น micropore และ macropore ซึ่งเป็นผลกระทบการเจริญเติบโตของรากที่ซ่อนเข้าไปในดินทั้งแนวตั้งและด้านข้าง ทั้งรากแก้วและรากฝอย โดยในเส้นการค้ำของน้ำในดิน แบบ Unimodal จะมีช่วง Transition หรืออัตราการระบายน้ำออกจากเม็ดดินรูปแบบเดียว แต่ในรูปแบบ Bimodal จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการระบายน้ำของช่องว่างขนาดใหญ่ (Drainage of macropore) และช่วงการระบายน้ำของช่องว่างขนาดเล็ก (Drainage of micropore) ซึ่งจะมีความชัน หรืออัตราการระบายน้ำออกจากช่องว่างของเม็ดดินไม่เท่ากันจากโครงสร้างของรูพรุน

ในส่วนของเส้นการค้ำของน้ำในดินของกระบอกทดสอบ A-2 และ A-3 ไม่ได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดูดสูง (MPS-6) จึงไม่สามารถทราบพฤติกรรมของดิน ที่ค่าแรงดูดมากกว่า 100 kPa เมื่อเปรียบเทียบเส้นการค้ำของน้ำในดินกับดินลูกรังเดิม จะเห็นว่า ช่วงของ Saturated zone มีความกว้างลดลง และช่วงของ Transition zone (Drainage of soil) มีความกว้างเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเกิดจากผลกระทบจากการเกิดขึ้นของราก และเมื่อเทียบกับกระบอกทดสอบ A-1 จะเห็นได้ว่ารากของหญ้าแฝกส่งต่อ micropore อย่างชัดเจนมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของ macropore

5.1.2.1. เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง A-1



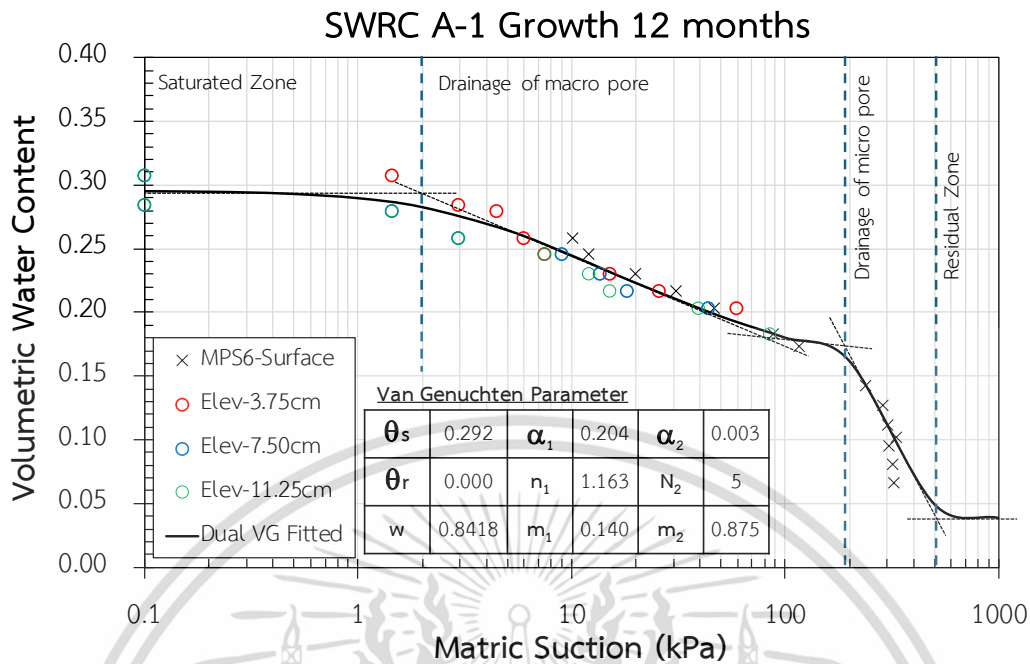
รูปที่ 5-2 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)



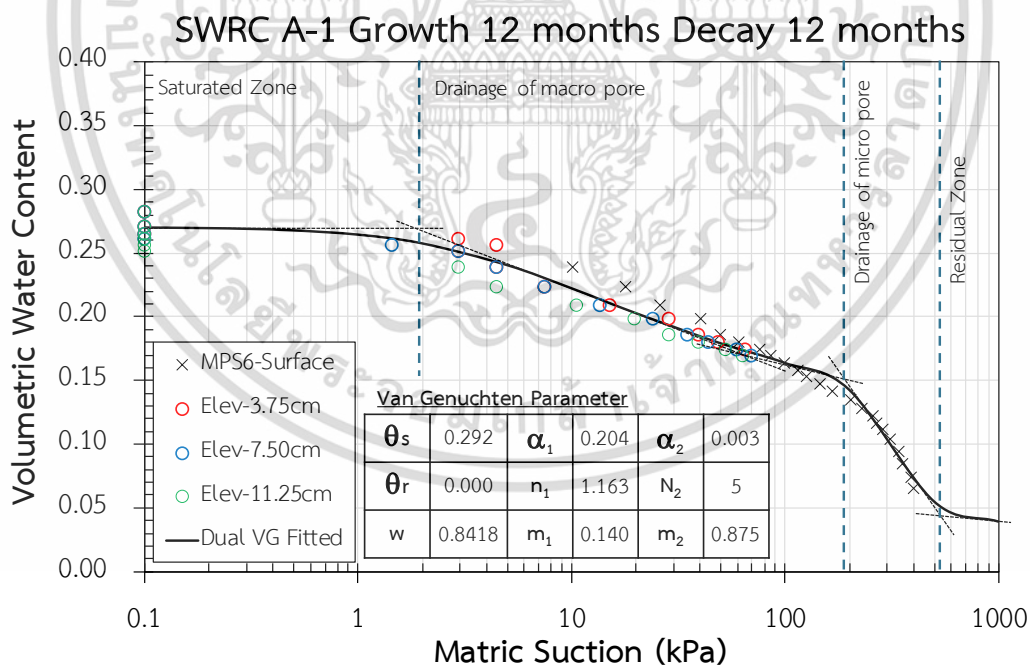
รูปที่ 5-3 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-1

ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



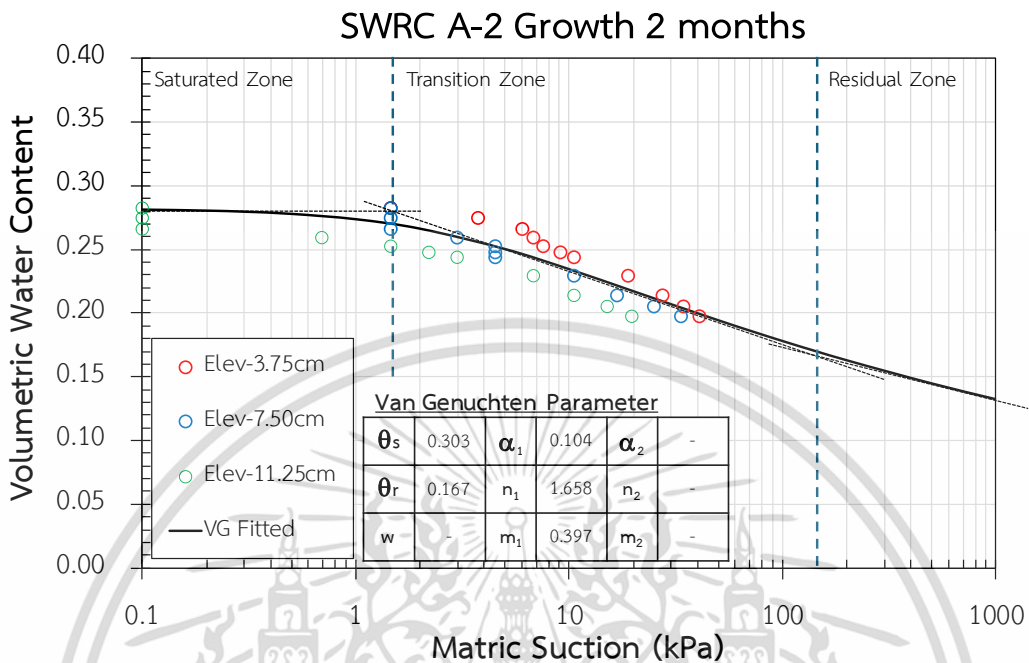
รูปที่ 5-4 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-1
ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)



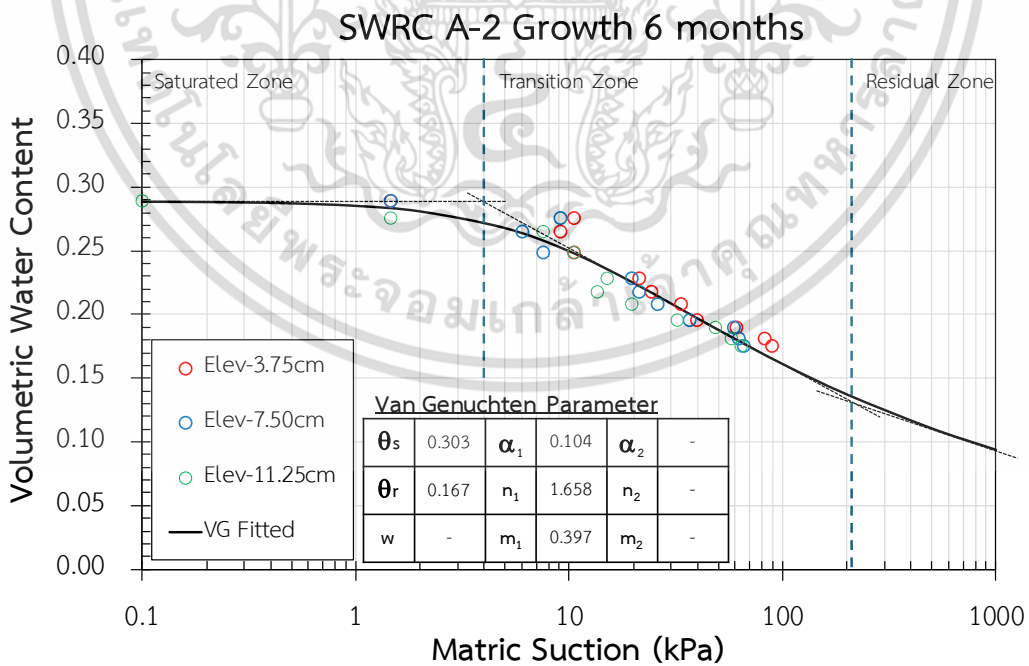
รูปที่ 5-5 เส้นโค้งค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-1
ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน
(Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2. เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง A-2



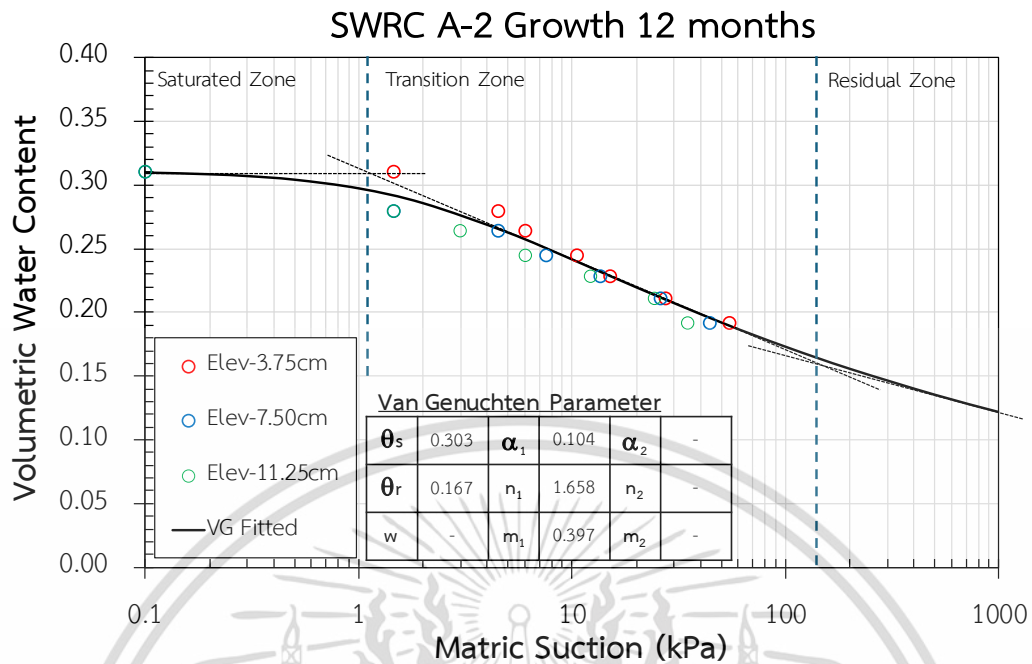
รูปที่ 5-6 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)



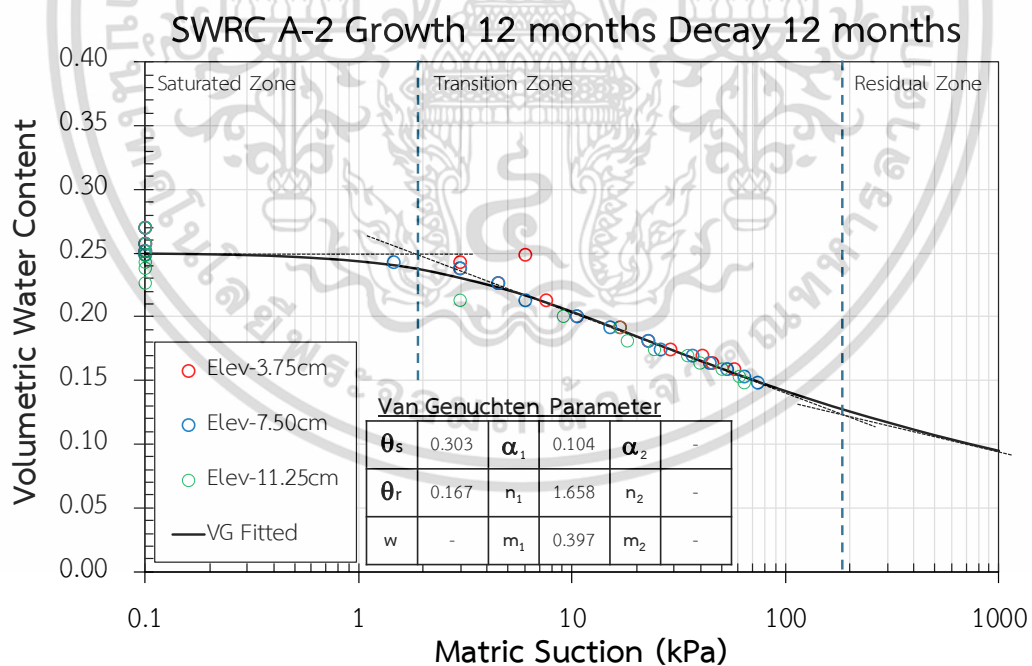
รูปที่ 5-7 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-2

ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



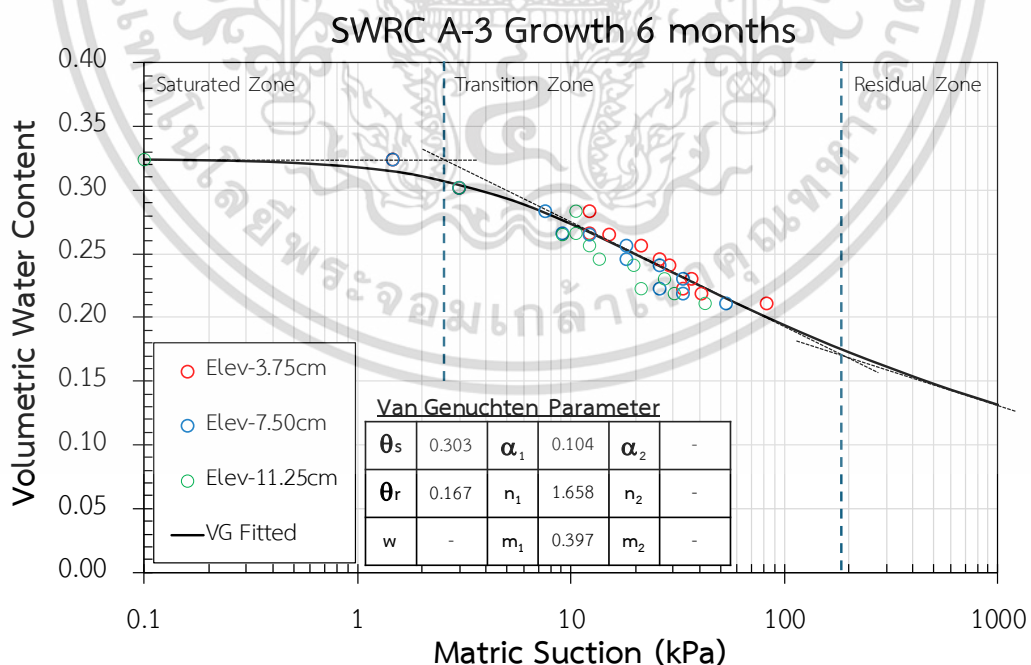
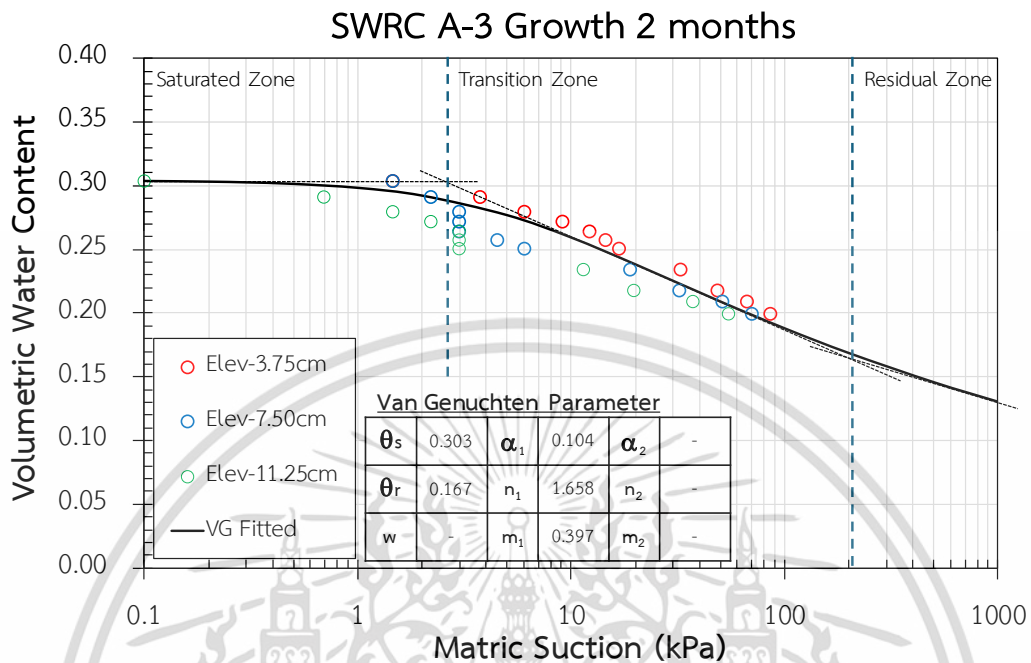
รูปที่ 5-8 เส้นคงค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-2
ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)



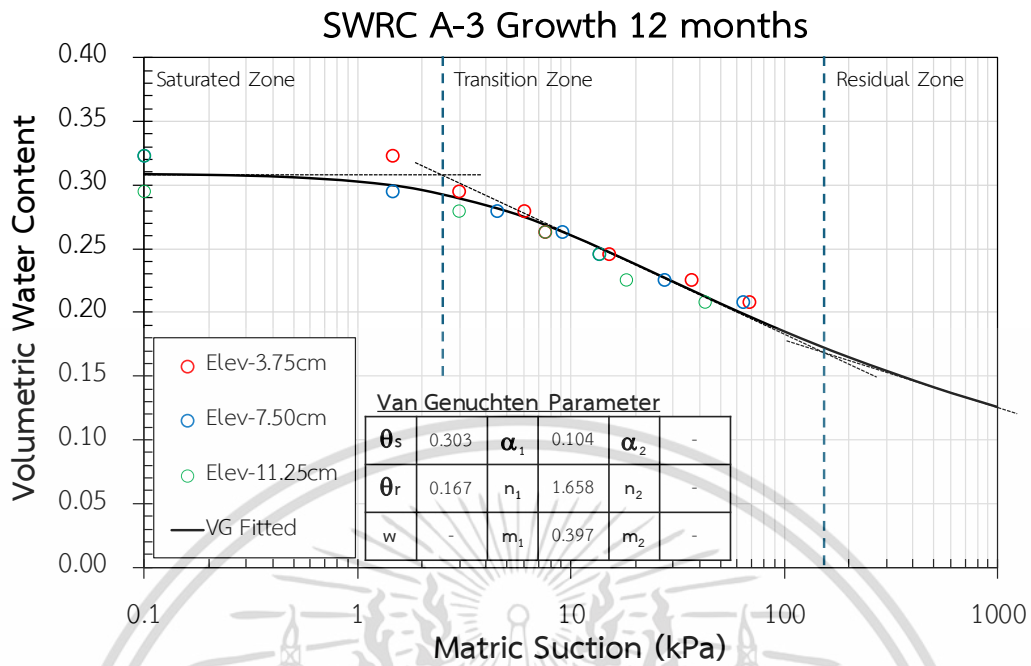
รูปที่ 5-9 เส้นคงค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-2
ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน
(Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

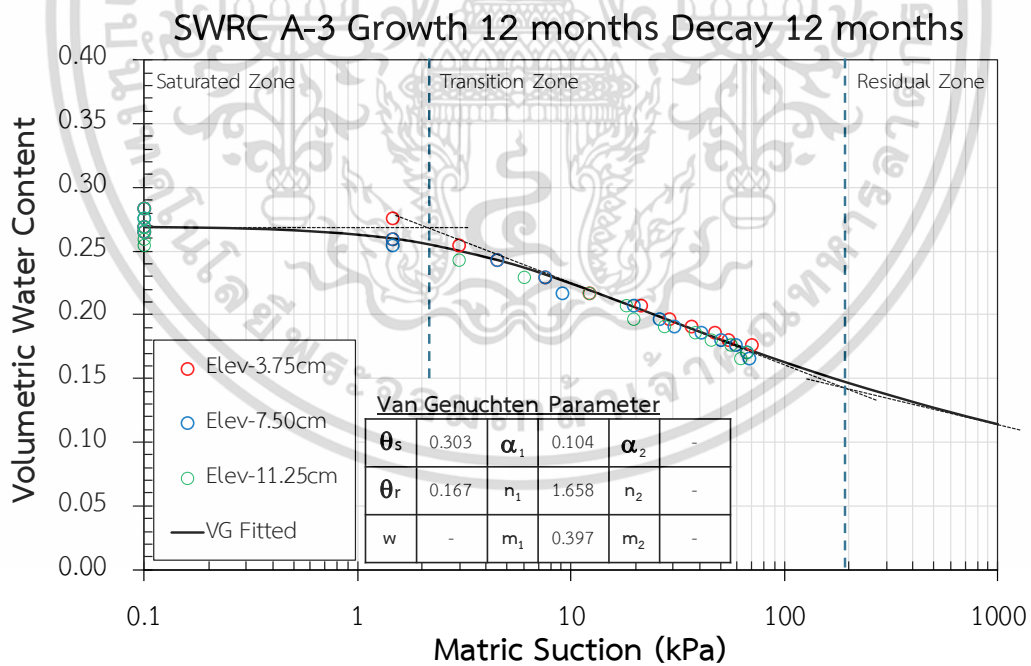
5.1.2.3. เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง A-3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-12 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน (Vetiver soil aged 12 months)



รูปที่ 5-13 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง A-3 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 12 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 12 เดือน (Vetiver growth 12 months then decay 12 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3. เส้นค้ำของน้ำในดิน กลุ่มตัวอย่าง B

(ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน)

แสดงเส้นค้ำของน้ำในดินหญ้าแฝก กระจบอก B-1 (Vetiver Sample B-1) ในช่วงการเจริญเติบโต ที่อายุ 2 เดือน และ 6 เดือน ในรูปที่ 5-14 และ 5-15 ตามลำดับ และแสดงเส้นค้ำของน้ำในดิน ช่วงการเสื่อมสลายไปได้ 6เดือน และ12 เดือน ในรูปที่ 5-16 และ 5-17 ตามลำดับ ในรูปแบบของ Unimodal (Single porosity) สรุปค่าพารามิเตอร์ของ Van Genuchten ในตารางที่ 5-6

แสดงเส้นค้ำของน้ำในดินหญ้าแฝก กระจบอก B-2 (Vetiver Sample B-2) ในช่วงการเจริญเติบโต ที่อายุ 2 เดือน และ 6 เดือน ในรูปที่ 5-18 และ 5-19 ตามลำดับ และแสดงเส้นค้ำของน้ำในดิน ช่วงการเสื่อมสลายไปได้ 6เดือน และ12 เดือน ในรูปที่ 5-20 และ 5-21 ตามลำดับ ในรูปแบบของ Unimodal (Single porosity) สรุปค่าพารามิเตอร์ของ Van Genuchten ในตารางที่ 5-7

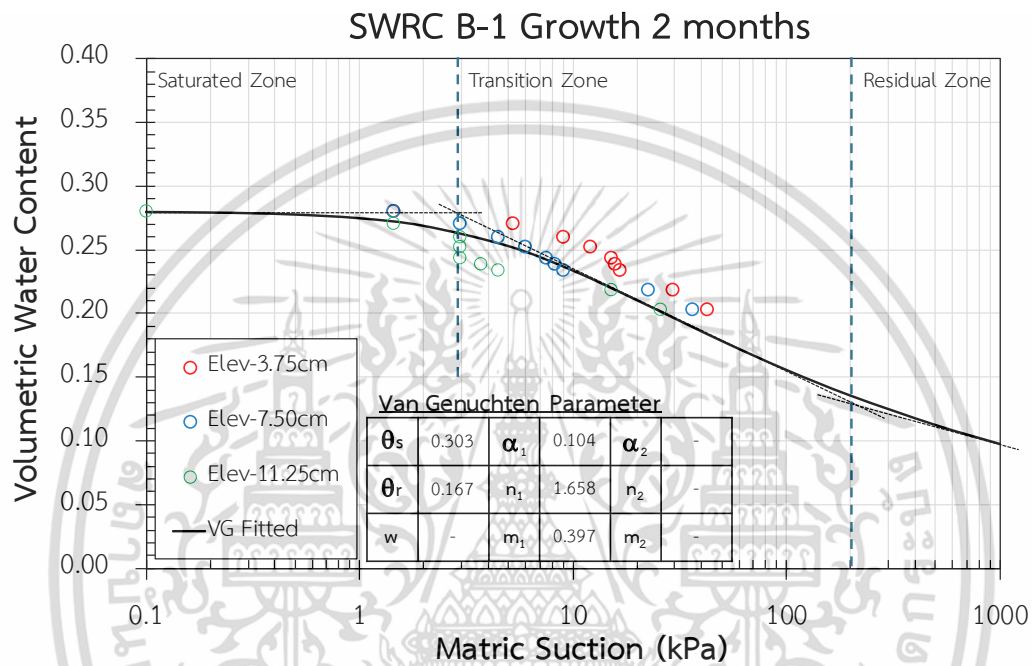
แสดงเส้นค้ำของน้ำในดินหญ้าแฝก กระจบอก B-3 (Vetiver Sample B-3) ในช่วงการเจริญเติบโต ที่อายุ 2 เดือน และ 6 เดือน ในรูปที่ 5-22 และ 5-23 ตามลำดับ และแสดงเส้นค้ำของน้ำในดิน ช่วงการเสื่อมสลายไปได้ 6 เดือน และ 12 เดือน ในรูปที่ 5-24 และ 5-25 ตามลำดับ ในรูปแบบของ Unimodal (Single porosity) สรุปค่าพารามิเตอร์ของ Van Genuchten ในตารางที่ 5-8

จากการเปรียบเทียบชุดข้อมูลความสัมพันธ์ในกลุ่มตัวอย่าง B นี้จะสังเกตได้ว่า ที่ดินลูกรังเดิมจะเห็นการกระจายตัวของค่าแรงดึงของน้ำในดินที่มากในแต่ละความลึก เนื่องจากค่าความชื้นเป็นค่าโดยรวมของทั้งกระจบอก และพบว่าในความชื้นเดียวกันจะมีค่าแรงดึงของน้ำแตกต่างกันถึงกว่า 20-30 kPa โดยมีค่ามากที่สุดที่ผิวดินเนื่องจากผลของการระเหยที่มีการสูญเสียน้ำบริเวณผิวดิน และเกิดการไหลจากล่างขึ้นบนตามลำดับ ต่อมาเมื่อสังเกตดินที่มีหญ้าแฝกอายุ 6 เดือน จะเห็นว่า การกระจายตัวของแรงดึงน้ำในดินมีค่าลดลง โดยในความชื้นเดียวกันจะมีค่าไม่เกิน 10-20 kPa ทั้งนี้เนื่องจากรากพืชได้มีการชอนไชไปในแต่ละความลึก และทำให้การสูญเสียน้ำทั้งจากการระเหยและคายน้ำไม่ได้มีความแตกต่างกันมากในช่วงความลึกของรากพืช ดังรูปที่ 4-12 (b) ต่อมาหลังจากการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝกได้ 6 เดือน จะเห็นว่า การกระจายตัวของแรงดึงน้ำในดินมีค่าลดลง โดยในความชื้นเดียวกันจะมีค่าไม่เกิน 10 kPa และสุดท้าย หลังจากการเสื่อมสลายของรากได้ 18 เดือน จะมีการกระจายตัวการกระจายตัวของแรงดึงน้ำในดินใกล้เคียงเดิมถึงแม้ว่ารากหญ้าแฝกจะมีการเสื่อมสลายไปแล้วก็ตาม

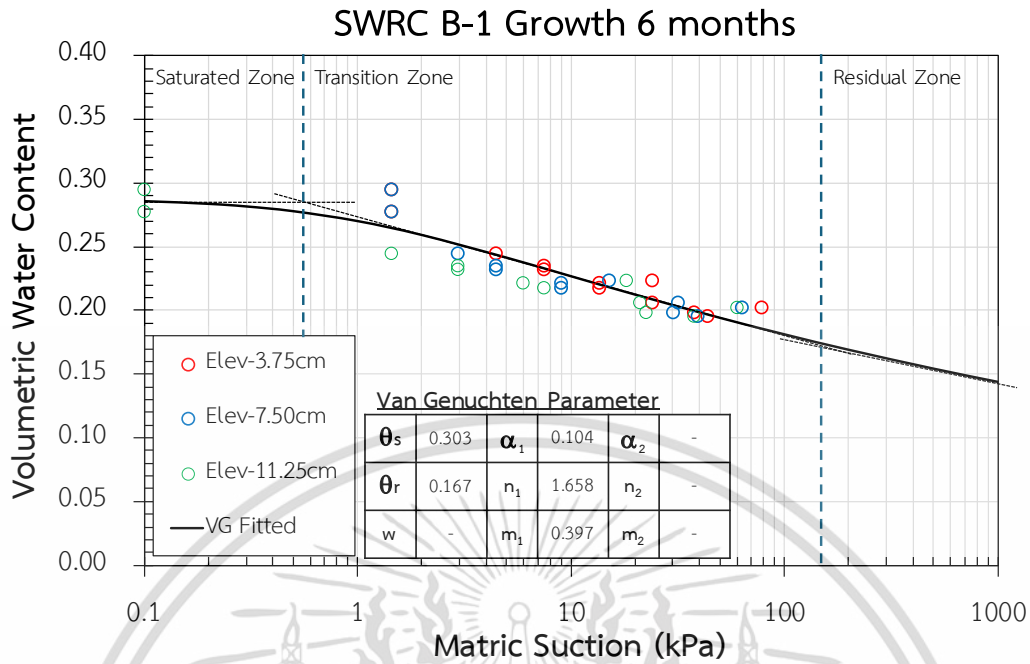
ในส่วน of เส้นการค้ำของน้ำในดินของกระจบอกทดสอบ กลุ่ม B ไม่ได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดูดสูง (MPS-6) จึงไม่สามารถทราบพฤติกรรมของดิน ที่ค่าแรงดูดมากกว่า 100 kPa เมื่อเปรียบเทียบเส้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงค้างของน้ำในดินกับดินลูกรังเดิม จะเห็นว่า ช่วงของ Saturated zone มีความกว้างลดลง และช่วงของ Transition zone (Drainage of soil) มีความกว้างเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเกิดจากผลกระทบจากการเกิดขึ้นของรากหญ้าแฝก

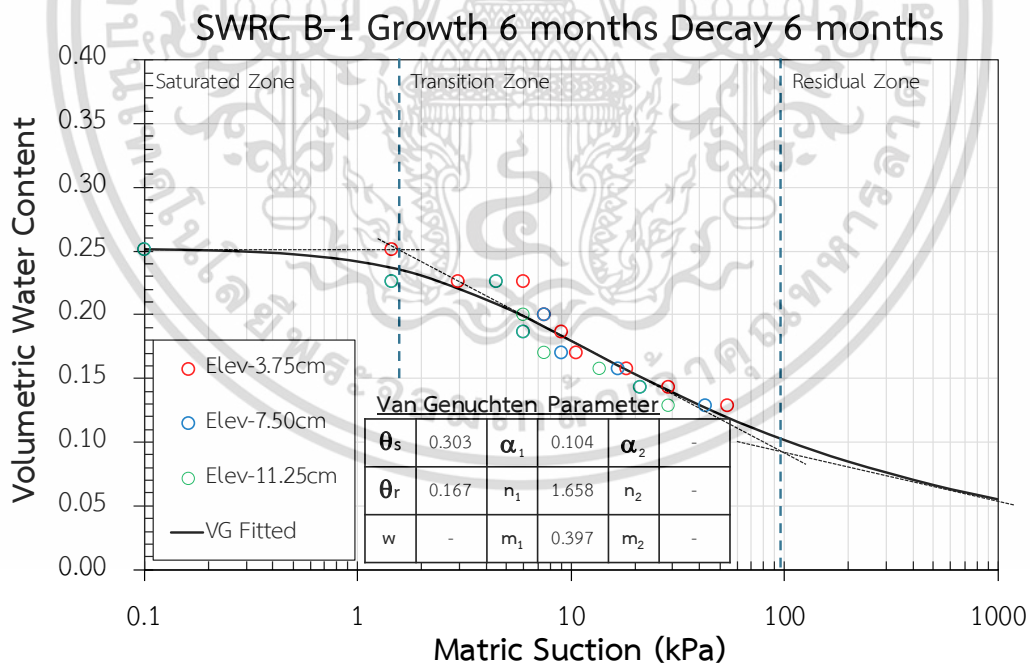
5.1.3.1. เส้นคงค้างของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง B-1



รูปที่ 5-14 เส้นคงค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

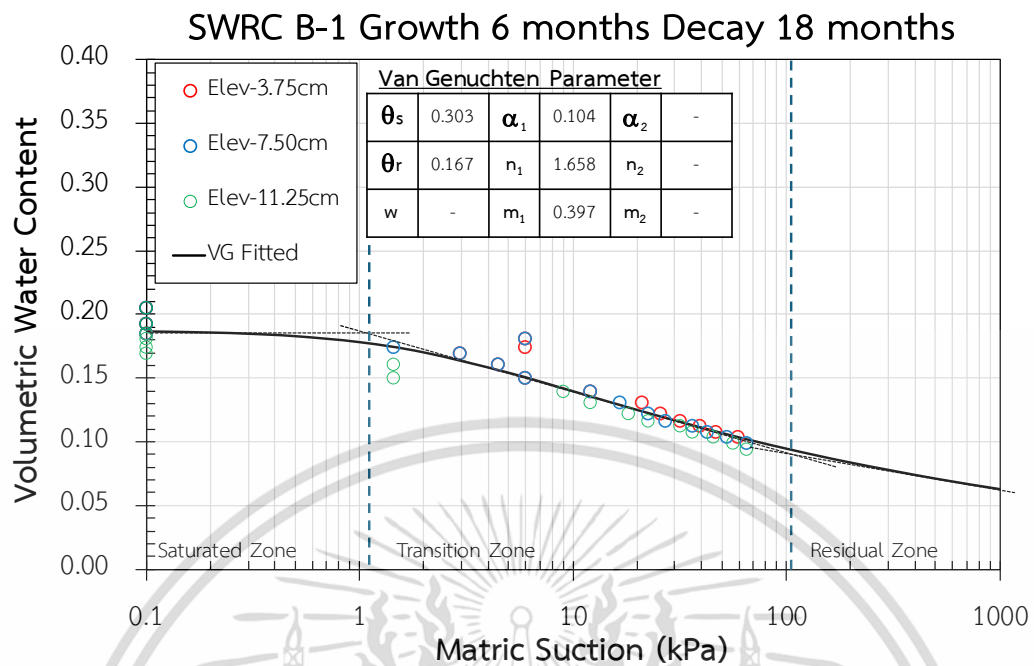


รูปที่ 5-15 เส้นคงค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)



รูปที่ 5-16 เส้นคงค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-1 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)

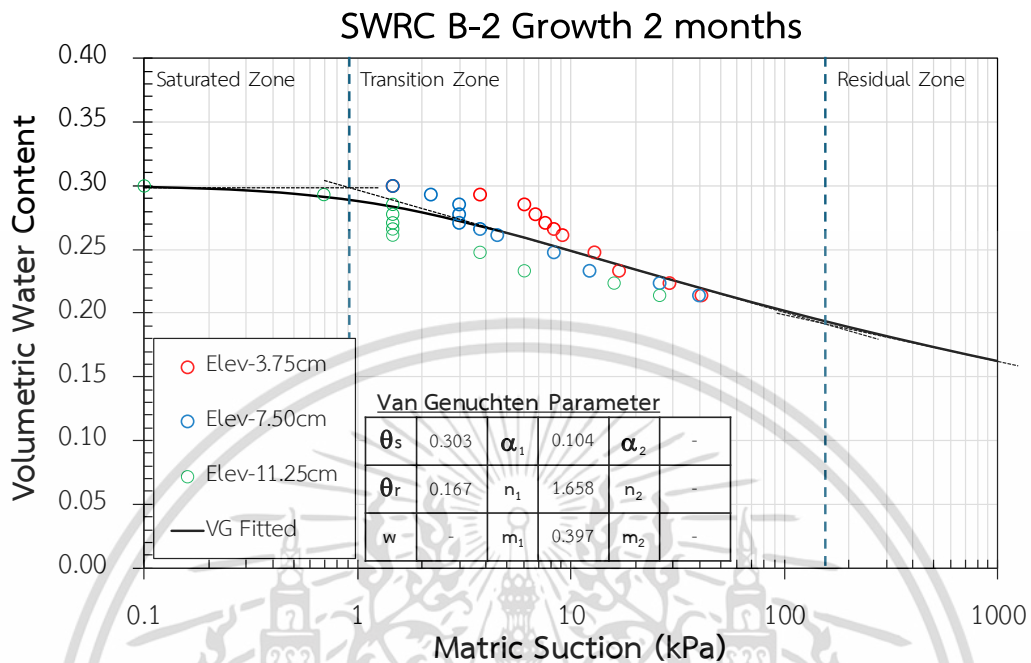
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



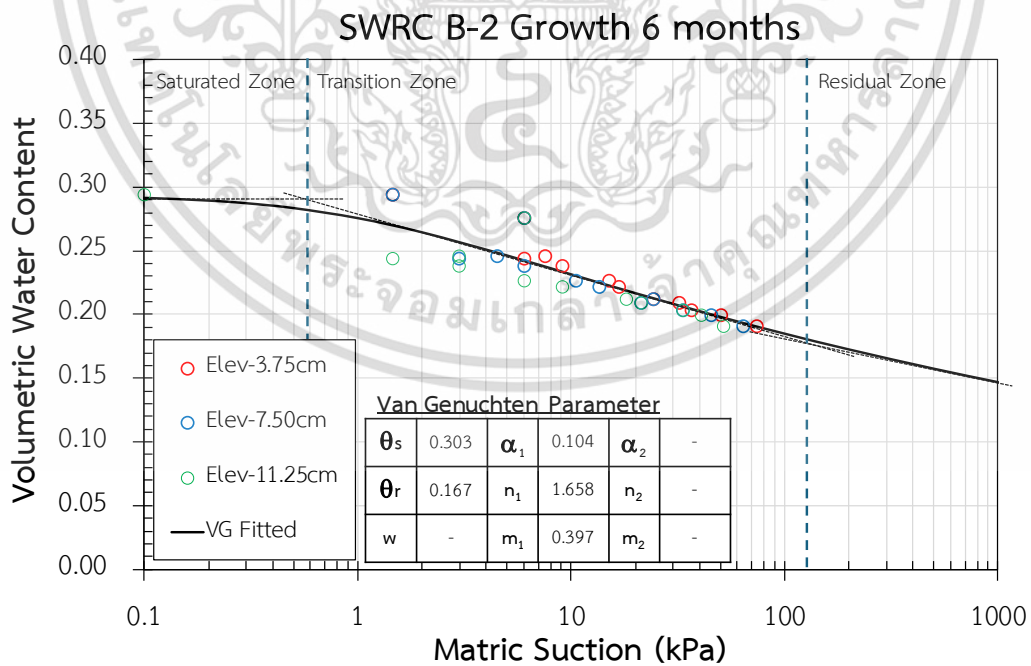
รูปที่ 5-17 เส้นคงค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-1
 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน
 (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3.2. เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน กระจบยกตัวอย่าง B-2



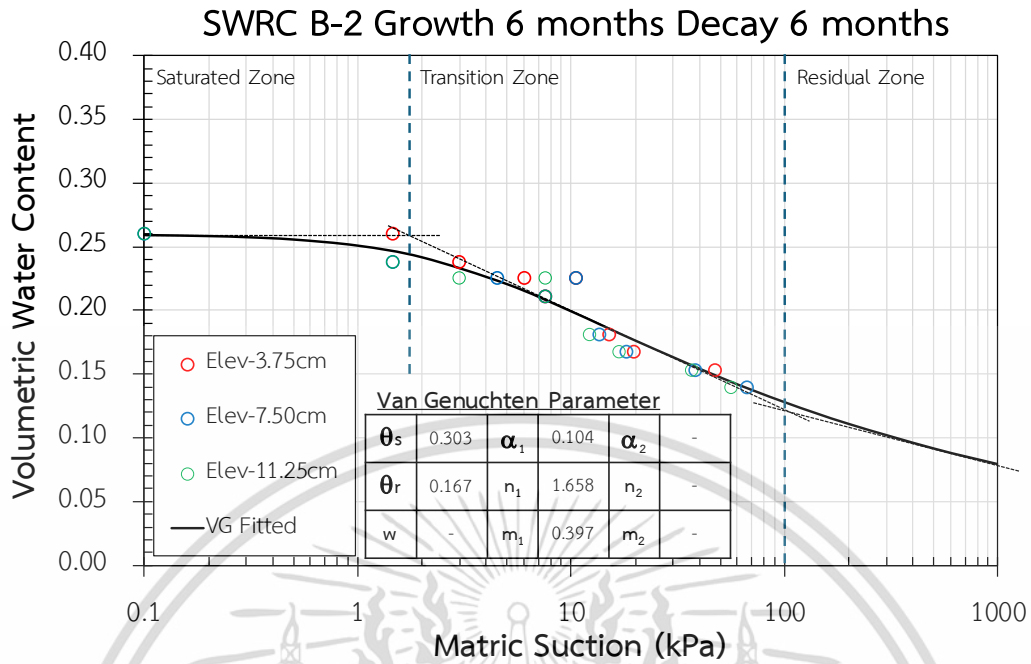
รูปที่ 5-18 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-2
ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)



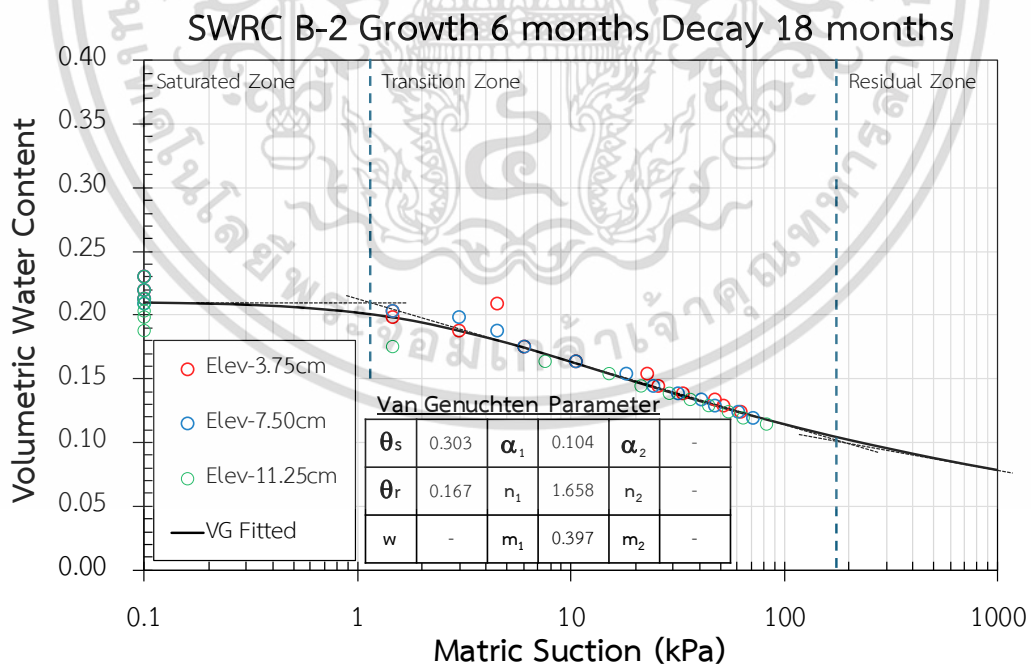
รูปที่ 5-19 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-2

ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



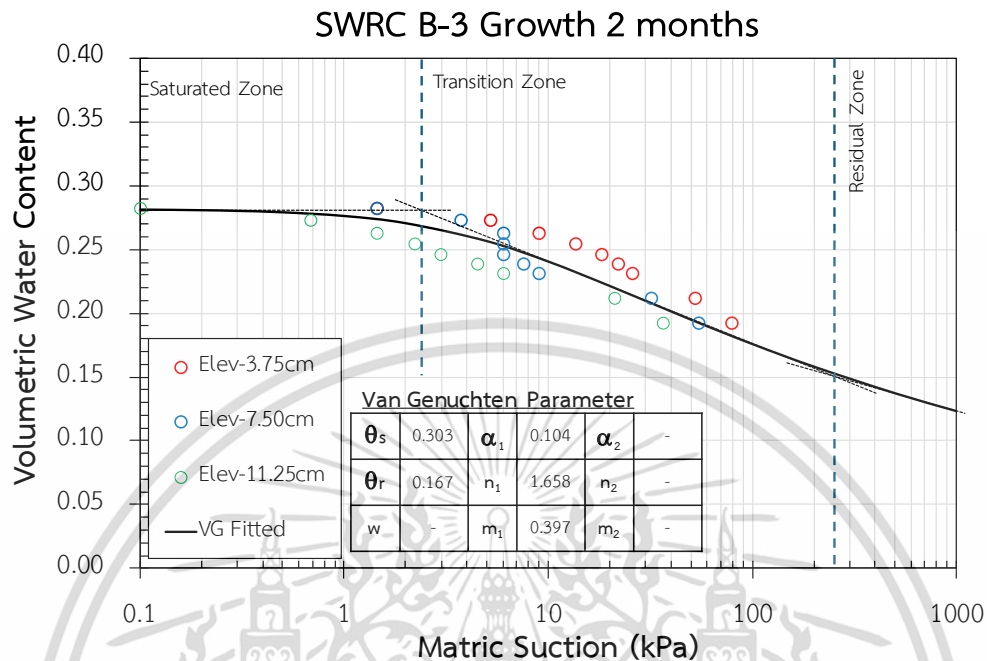
รูปที่ 5-20 เส้นคงค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)



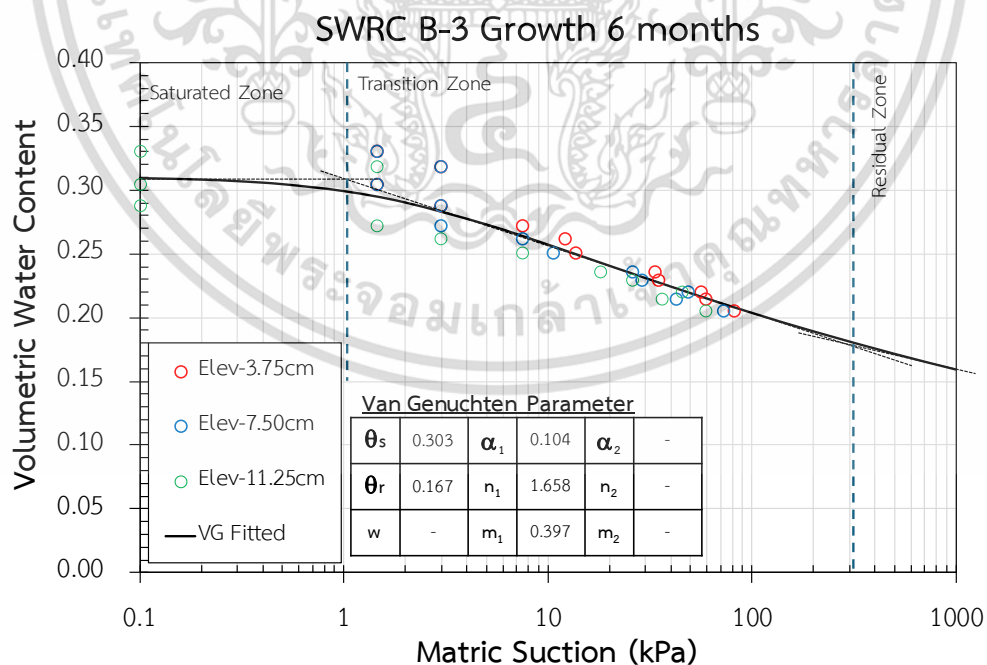
รูปที่ 5-21 เส้นคงค้างของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-2 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3.3. เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน กระจบกดตัวอย่าง B-3

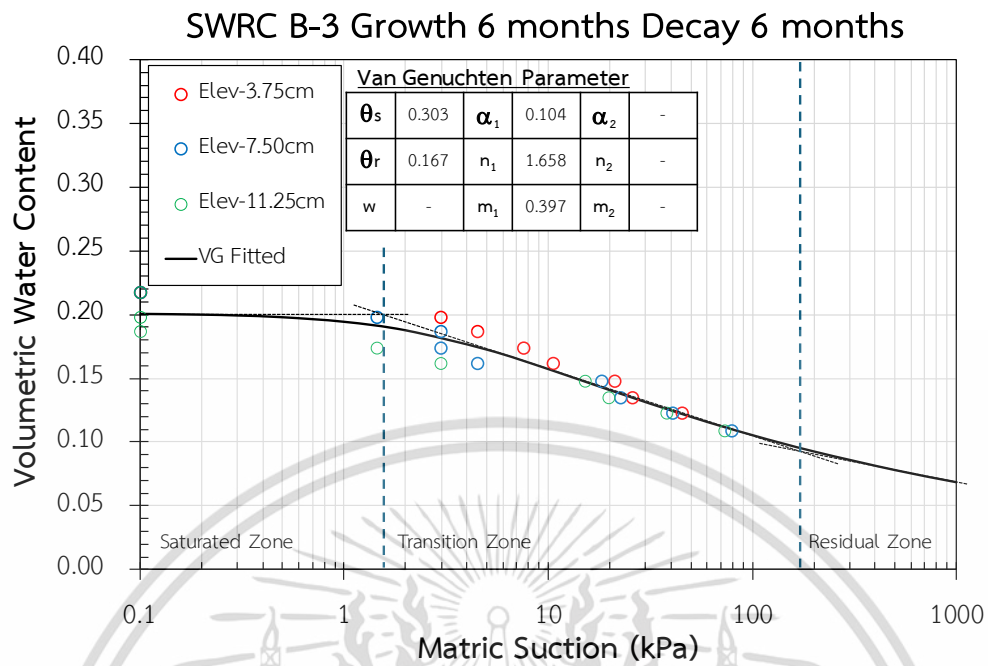


รูปที่ 5-22 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-3
ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 2 เดือน (Vetiver soil aged 2 months)

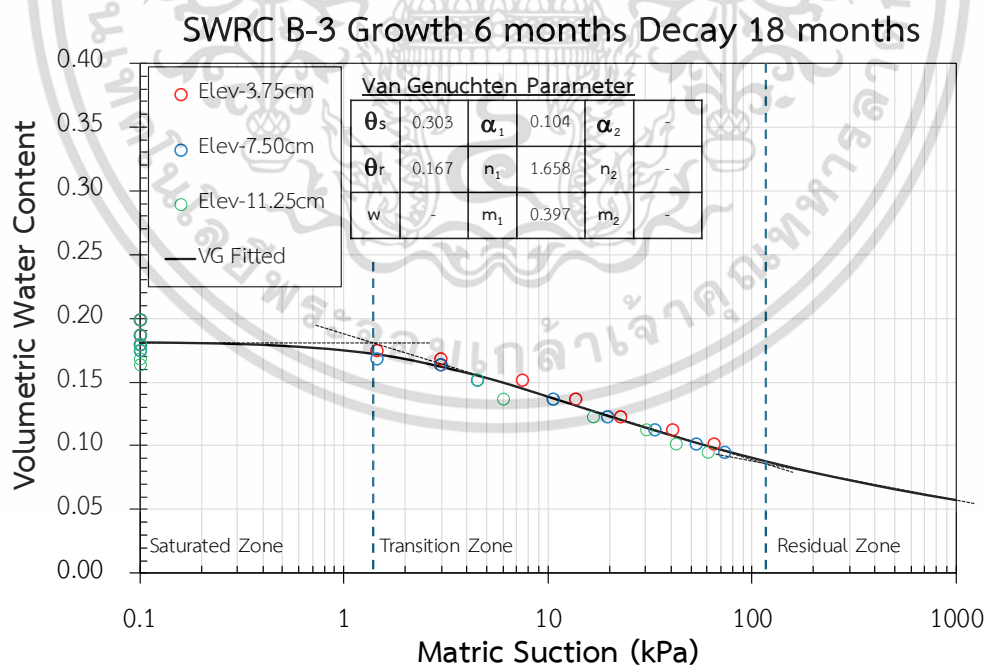


รูปที่ 5-23 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-3
ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน (Vetiver soil aged 6 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-24 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-3
 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 6 เดือน
 (Vetiver growth 6 months then decay 6 months)



รูปที่ 5-25 เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน ของดินตัวอย่าง B-3
 ที่มีรากของหญ้าแฝกช่วงเจริญเติบโต 6 เดือน และช่วงเสื่อมสลาย 18 เดือน
 (Vetiver growth 6 months then decay 18 months)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2. การเปลี่ยนแปลงของเส้นค้ำของน้ำในดินจากผลกระทบของการเติบโตและเสื่อมสลายของราก

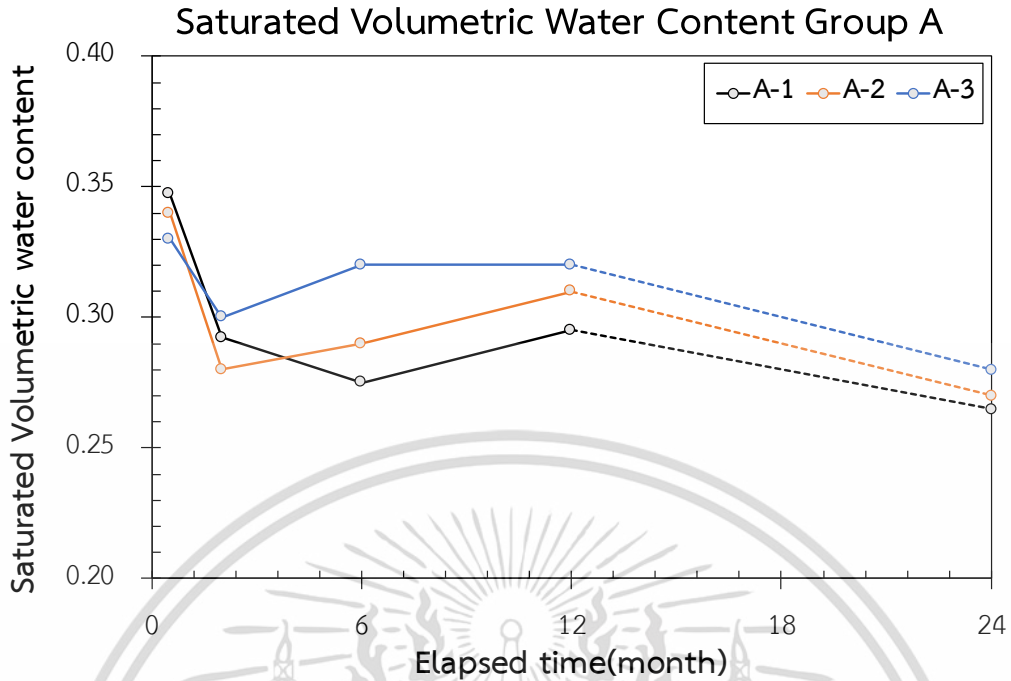
5.2.1. กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน)

5.2.1.1. ปริมาณความชื้นอิ่มตัว (Saturated Volumetric Water Content) และอัตราส่วนช่องว่างในดิน (Void ratio)

จากผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ของกระบอกทดสอบกลุ่ม A แสดงในรูป 5-26 และหาค่าอัตราส่วนช่องว่างของดิน แสดงในตารางที่ 5-1 จะเห็นว่า ค่ามีแนวโน้มลดลงในช่วง 0-2 เดือน ซึ่งเกิดจากการซอมไซของรากเข้าไปในช่องว่างของดิน ส่งผลให้ดินกักเก็บน้ำได้น้อยลง และค่าอัตราส่วนช่องว่างของดินลดลง และต่อมารากมีการเจริญเติบโต ด้วยความที่รากของพืชมีความสามารถในการอุ้มน้ำในดิน และมีคุณสมบัติแบบ hydrophilic ส่งผลให้ปริมาณน้ำในดินสูงเพิ่มมากขึ้นตามอายุของหญ้าแฝก และค่าอัตราส่วนช่องว่างของดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินแบบ double porosity จากการเพิ่มขึ้นของ micropore และ macropore ที่เกิดจากการซอมไซของรากแก้วและรากฝอยของหญ้าแฝกจนถึงช่วงเจริญเติบโตอายุ 12 เดือน หลังจากนั้นได้มีการทำให้รากเสื่อมสลายเป็นเวลา 12 เดือน จะเห็นว่าค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีแนวโน้มลดลง จากความสามารถของการอุ้มน้ำในดินที่เกิดจากรากหญ้าแฝกหายไป และอัตราส่วนช่องว่างในดินมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินที่บดอัด 80% standard proctor ที่ไม่ได้มีความหนาแน่นมาก และรากที่เสื่อมสลายหดตัวจนเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ ส่งผลให้เกิดการพังทลายของช่องว่าง ที่แสดงดังรูปด้านข้างกระบอกทดสอบ รูปที่ 4-6 (d)

ตารางที่ 5-1 ตารางค่าอัตราส่วนช่องว่างในดิน (Void ratio) ของดินที่มีรากหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A

Sample A	Bare Soil	Growth phase			Decay phase
		2 months	6 months	12 months	12 months
Sample A-1	0.61	0.51	0.52	0.53	0.49
Sample A-2	0.61	0.49	0.5	0.54	0.47
Sample A-3	0.61	0.47	0.48	0.47	0.49



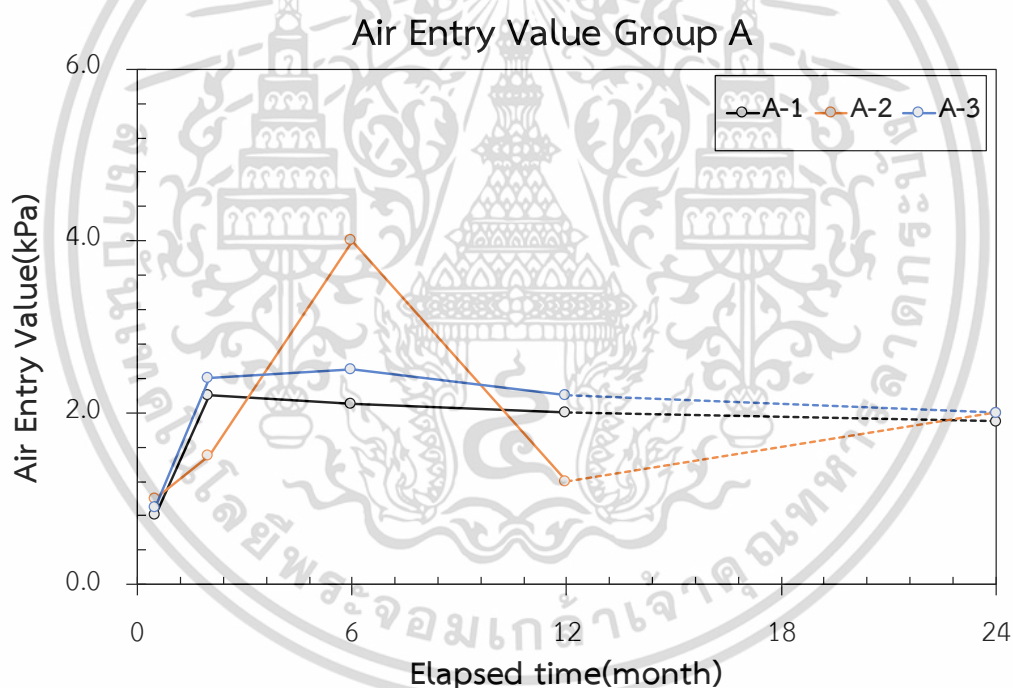
Remark : Saturated Volumetric water content of Bare = 0.35

รูปที่ 5-26 ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ดินอิมตัวด้วยน้ำ
ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.2. Air Entry Value (AEV)

จากผลการวิเคราะห์เส้นค่าคงค้างของน้ำในดิน ได้ค่า Air entry value (AEV) ซึ่งคือค่าแรงดูดที่ดินหลุดออกจากสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือก็คือจุดที่ฟองอากาศเริ่มเข้าไปในช่องว่างของดิน จากรูปที่ 5-27 พบว่าค่า AEV จะเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 6 เดือน และค่อยๆลดลงไป ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดรูพรุน (Pore size) เมื่อค่า Air entry value สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า มีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) เพิ่มมากขึ้น จากการซอกไซของราก ในช่วงอายุ 6-12 เดือน และช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน ค่า AEV คงที่และลดลงเล็กน้อย ในกระบอก A-1 และ A-3 จะหมายความว่า มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) เกิดขึ้น ที่มีผลมาจากวัฏจักรการเติบโตและเสื่อมสลายของราก (root decay) แต่ในกระบอก A-2 ค่ากลับลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงการเจริญเติบโต 6-12 เดือน และเพิ่มขึ้นในช่วงการเสื่อมสลายไปได้ 12 เดือน



รูปที่ 5-27 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า AEV ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A

5.2.1.3. ค่าพารามิเตอร์ Van Genuchten (VG model)

เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน เป็นกราฟเส้นโค้ง โดยจะมีพารามิเตอร์ 3 ตัว เป็นตัวควบคุมกราฟ คือ Alpha (α), n และ m โดยที่ $m = 1 - (1/n)$ จึงจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแค่ α และ n ซึ่งค่า α ที่สูงหมายถึงเนื้อดินที่ละเอียดกว่าซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็ก ในขณะที่ค่า α ที่ต่ำ หมายถึงเนื้อดินที่หยาบกว่าที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ และ n เป็นตัวควบคุมความชันของเส้นโค้ง โดยที่หากมีค่ามาก หมายถึงเส้นโค้งมีความชันมาก ซึ่งก็หมายถึงมีอัตราการระบายน้ำออกจากช่องว่างของดินสูง ระบายน้ำออกจะดินได้เร็ว แสดงค่าพารามิเตอร์ของ Van Genuchten ของกระบอกทดสอบ กลุ่ม A ในตารางที่ 5-2 ถึง 5-4 ตามลำดับ

ในกระบอกทดสอบ A-1 แสดงให้เห็นว่า การเกิดขึ้นของรากของหญ้าแฝก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของรูพรุนแบบ Bimodal แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า α ในรูปที่ 5-28 ในช่วง 0-2 เดือนแรก มีค่าลดลง หมายความว่า เนื้อดินมีรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) เพิ่มมากขึ้น จากการงอกของรากแก้ว (tap root) ในแนวตั้ง และต่อมามีค่า α มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเติบโตของรากฝอย (fibrous root) ที่ทำให้เนื้อดินมีรูพรุนขนาดเล็กเพิ่มขึ้น (micropore) จนถึงอายุ 12 เดือน และหลังจากนั้นเข้าสู่ช่วงเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก 12 เดือน ค่า α มีแนวโน้มคงที่ หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในกระบอก A-1 และ A-3 ซึ่งหมายถึงมีการเกิดขึ้นของรูพรุนขนาดเล็ก (micropore) เพิ่มมากขึ้น แต่ในกระบอก A-2 มีแนวโน้มลดลง เนื้อดินมีรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) เพิ่มมากขึ้น

และจากรูปที่ 5-29 ค่า n มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-6 เดือน ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (เส้นโค้งมีความชันมากขึ้น) เกิดจากช่องว่างระหว่างรากและเม็ดดิน (Root channel) และในช่วงอายุ 6-12 เดือน ค่า n มีแนวโน้มลดลง ซึ่งหมายถึงดินมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นลดลง (เส้นโค้งมีความชันลดลง) เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของรากอาจจะทำให้ความต่างรูพรุนน้อยลง หลังจากนั้นในช่วงการเสื่อมสลายได้ 12 เดือน ค่า n มีแนวโน้มคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งหมายถึงดินไม่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น (เส้นโค้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชัน)

ตารางที่ 5-2 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดิน ของดินที่มีรากหญ้า
แฝก (Sample A-1)

Sample A-1	Bare Soil	Growth phase			Decay phase
		2 months	6 months	12 months	12 months
VG model	Unimodal	Bimodal	Bimodal	Bimodal	Bimodal
w	-	0.842	0.479	0.646	0.665
α_1	0.104	0.204	0.200	0.225	0.245
n1	1.658	1.163	1.450	1.297	1.279
m1	0.397	0.140	0.310	0.229	0.218
α_2	-	0.003	0.004	0.003	0.003
n2	-	5.000	3.300	8.000	5.444
m2	-	0.800	0.697	0.875	0.816
Saturated VWC	0.30	0.29	0.28	0.30	0.27
Residual VWC	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00

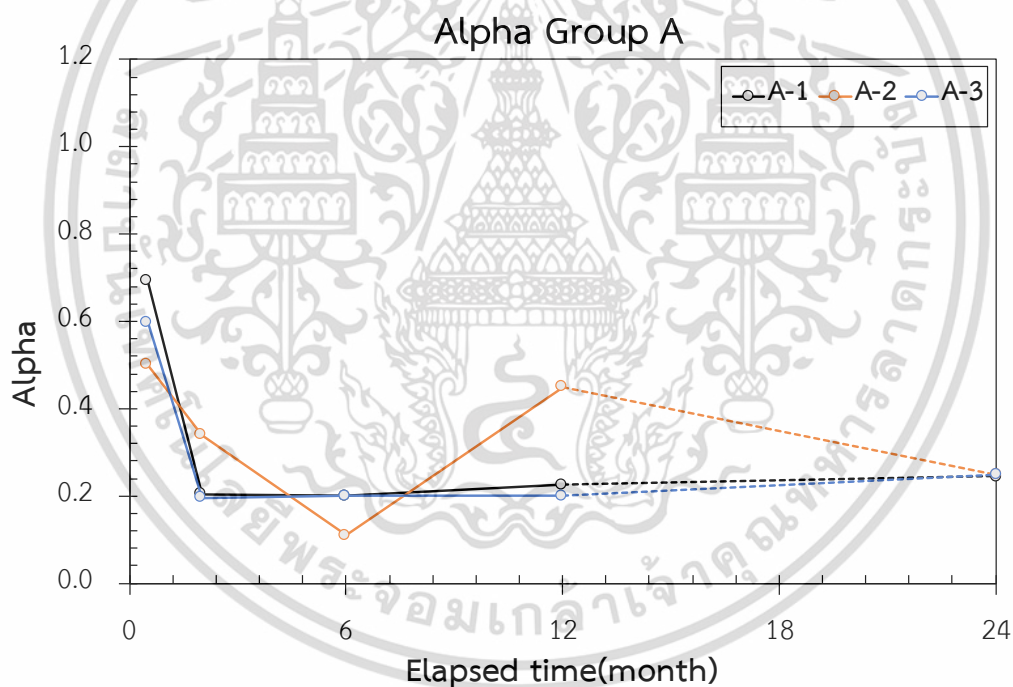
ตารางที่ 5-3 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดิน ของดินที่มีรากหญ้า
แฝก (Sample A-2)

Sample A-2	Bare Soil	Growth phase			Decay phase
		2 months	6 months	12 months	12 months
VG model	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal
α	0.104	0.340	0.110	0.450	0.250
n	1.658	1.130	1.240	1.154	1.175
m	0.397	0.115	0.194	0.133	0.149
Saturated VWC	0.30	0.28	0.29	0.31	0.25
Residual VWC	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

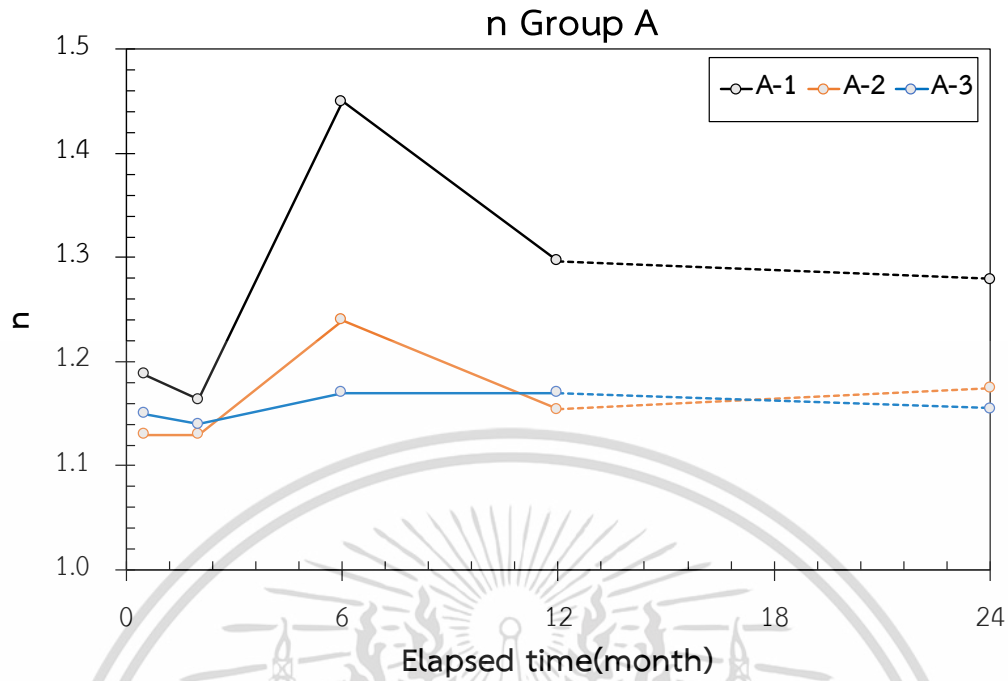
ตารางที่ 5-4 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดิน ของดินที่มีรากหญ้าแฝก (Sample A-3)

Sample A-3	Bare Soil	Growth phase			Decay phase
		2 months	6 months	12 months	12 months
VG model	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal
α	0.104	0.200	0.200	0.200	0.250
n	1.658	1.160	1.170	1.170	1.155
m	0.397	0.138	0.145	0.145	0.134
Saturated VWC	0.30	0.30	0.32	0.31	0.27
Residual VWC	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00



รูปที่ 5-28 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า Alpha ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-29 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า n ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

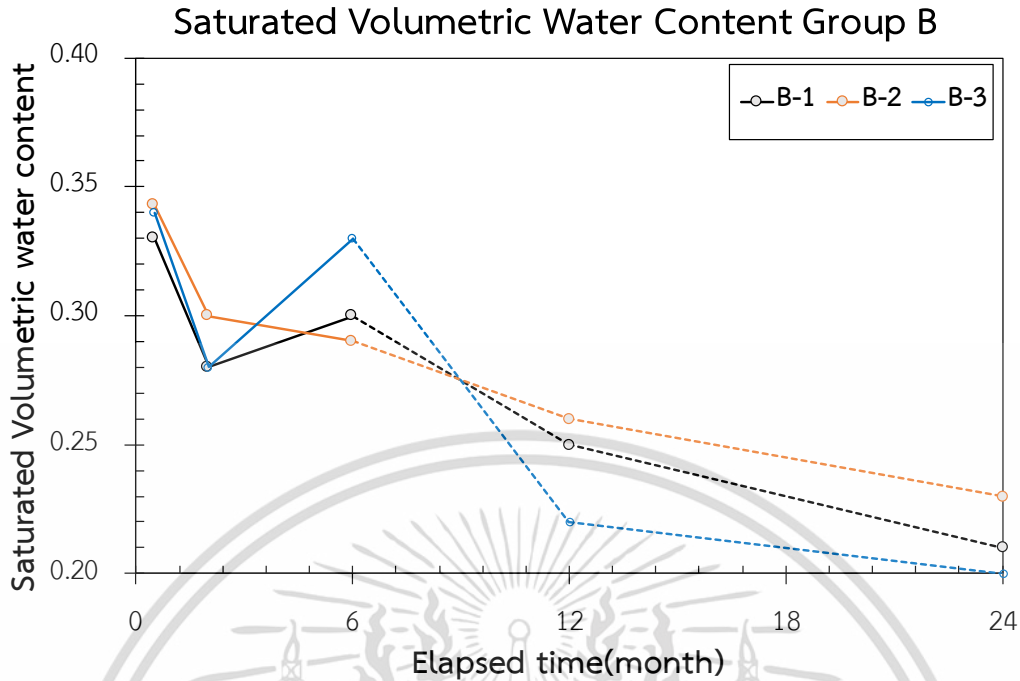
5.2.2. กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน)

5.2.2.1. ปริมาณความชื้นอิ่มตัว (Saturated Volumetric Water Content) และอัตราส่วนช่องว่างในดิน (Void ratio)

จากผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ของกระบอกทดสอบกลุ่ม B แสดงในรูป 5-30 และหาค่าอัตราส่วนช่องว่างของดิน แสดงในตารางที่ 5-5 จะเห็นว่า ค่ามีแนวโน้มลดลงในช่วง 0-2 เดือน ซึ่งเกิดจากการซบซู่ของรากเข้าไปในช่องว่างของดิน ส่งผลให้ดินกักเก็บน้ำได้น้อยลง และต่อมาช่วง 2-6 เดือน ในช่วงของการเจริญเติบโต ด้วยความที่รากของพืชมีความสามารถในการอุ้มน้ำในดิน และมีคุณสมบัติแบบ hydrophilic จึงส่งผลให้ปริมาณน้ำในดินสูงเพิ่มมากขึ้นตามอายุของหญ้าแฝก และค่าอัตราส่วนช่องว่างของดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย หลังจากนั้นได้มีการทำให้รากเสื่อมสลาย และทำการทดสอบหลังจากนั้นที่ 6 เดือน และ 18 เดือน จะเห็นว่าค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีแนวโน้มลดลง จากความสามารถของการอุ้มน้ำในดินที่เกิดจากรากหญ้าแฝกหายไป และอัตราส่วนช่องว่างในดินมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินที่บดอัดไม่ได้มีความหนาแน่นมาก และรากที่เสื่อมสลายหลุดจวนเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ ส่งผลให้เกิดการพังทลายของช่องว่าง ตามลักษณะของดินที่แสดงในรูปด้านข้าง กระบอกทดสอบ รูปที่ 4-10 (d)

ตารางที่ 5-5 ตารางค่าอัตราส่วนช่องว่างในดิน (Void ratio) ของดินที่มีรากหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B

Sample B	Bare Soil	Growth phase		Decay phase	
		2 months	6 months	6 months	18 months
Sample B-1	0.61	0.48	0.51	0.44	0.36
Sample B-2	0.61	0.52	0.51	0.45	0.40
Sample B-3	0.61	0.49	0.57	0.38	0.34



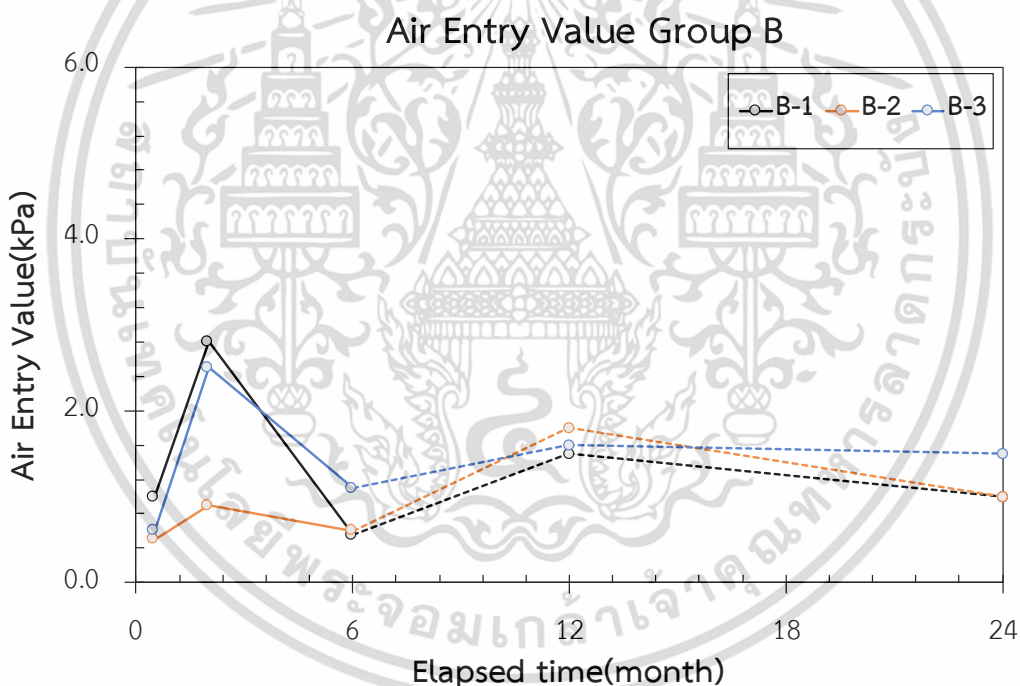
Remark : Saturated Volumetric water content of Bare = 0.35

รูปที่ 5-30 ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตร ที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2. Air Entry Value (AEV)

จากผลการวิเคราะห์เส้นค่าคงค้างของน้ำในดิน ได้ค่า Air entry value (AEV) ซึ่งคือค่าแรงดูดที่ดินหลุดออกจากสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือก็คือจุดที่ฟองอากาศเริ่มเข้าไปในช่องว่างของดิน จากรูปที่ 5-31 พบว่าค่า AEV จะเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 2 เดือน ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดรูพรุน (Pore size) เมื่อค่า Air entry value สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า มีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) เพิ่มมากขึ้น จากการชอนไชของราก และค่อยๆลดลงไป ในช่วงอายุ 2-6 เดือน ซึ่งการลดลงของค่า AEV หมายถึงดินมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดจากรากของพืชอัดแน่นช่องว่างของดิน และช่วงการเสื่อมสลายของรากที่ 6 เดือน ค่า AEV เพิ่มขึ้น จะหมายความว่า ดินมีความหนาแน่นลดลง ที่มีผลมาจากวัฏจักรการเติบโตและเสื่อมสลายของราก (root decay) ในช่วงการเสื่อมสลายไปได้ 18 เดือน ค่ามีแนวโน้มลดลงตามแนวโน้มของอัตราส่วนช่องว่างในดินที่ลดลง



รูปที่ 5-31 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า AEV ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B

5.2.2.3. ค่าพารามิเตอร์ Van Genuchten (VG model)

เส้นโค้งค้ำของน้ำในดิน เป็นกราฟเส้นโค้ง โดยจะมีพารามิเตอร์ 3 ตัว เป็นตัวควบคุมกราฟ คือ Alpha (α), n และ m โดยที่ $m = 1 - (1/n)$ จึงจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแค่ α และ n ซึ่งค่า α ที่สูงหมายถึงเนื้อดินที่ละเอียดกว่าซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็ก ในขณะที่ค่า α ที่ต่ำ หมายถึงเนื้อดินที่หยาบกว่าที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ และ n เป็นตัวควบคุมความชันของเส้นโค้ง โดยที่หากมีค่ามาก หมายถึงเส้นโค้งมีความชันมาก ซึ่งก็หมายถึงมีอัตราการระบายน้ำออกจากช่องว่างของดินสูง ระบายน้ำออกจะดินได้เร็ว แสดงค่าพารามิเตอร์ของ Van Genuchten ของกระบอกทดสอบ กลุ่ม B ในตารางที่ 5-6 ถึง 5-8 ตามลำดับ

ในกระบอกทดสอบ A-1 แสดงให้เห็นว่า การเกิดขึ้นของรากของหญ้าแฝก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของรูพรุนแบบ Bimodal แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า α ในรูปที่ 5-32 ในช่วง 0-2 เดือนแรก มีค่าลดลง หมายความว่า เนื้อดินมีรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) เพิ่มมากขึ้นจากการงอกขึ้นของรากแก้ว (tap root) ในแนวตั้ง และต่อมาก่า α มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเติบโตของรากฝอย (fibrous root) ที่ทำให้เนื้อดินมีรูพรุนขนาดเล็กเพิ่มขึ้น (micropore) จนถึงอายุ 6 เดือน และหลังจากนั้นเข้าสู่ช่วงเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก 6 เดือน ค่า α มีแนวโน้มลดลง เนื้อดินมีรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) เพิ่มมากขึ้น และสุดท้ายช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน ค่า α มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงการเกิดขึ้นของรูพรุนขนาดเล็ก (micropore) เพิ่มมากขึ้น

และจากรูปที่ 5-33 ค่า n มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ในช่วง 0-2 เดือน ซึ่งหมายถึงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเพิ่มขึ้น (เส้นโค้งมีความชันมากขึ้น) เกิดจากช่องว่างระหว่างรากและเม็ดดิน (Root channel) และในช่วงอายุ 2-6 เดือน ค่า n มีแนวโน้มลดลง ซึ่งหมายถึงดินมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นลดลง (เส้นโค้งมีความชันลดลง) เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของรากอาจจะทำให้ความต่างรูพรุนน้อยลง หลังจากนั้นในช่วงการเสื่อมสลายได้ 6 เดือน ค่า n มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมซึ่งหมายถึงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเพิ่มขึ้น (เส้นโค้งมีความชันมากขึ้น) และช่วงสุดท้ายที่การเสื่อมสลาย 18 เดือน ค่า n มีแนวโน้มลดลง ซึ่งหมายถึงดินมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นลดลง (เส้นโค้งมีความชันลดลง)

ตารางที่ 5-6 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดิน ของดินที่มีรากหญ้า
แฝก (Sample B-1)

Sample B-1	Bare Soil	Growth phase			Decay phase
		2 months	6 months	12 months	12 months
VG model	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal
α	0.104	0.170	1.000	0.300	0.450
n	1.658	1.21	1.100	1.265	1.180
m	0.397	0.170	0.091	0.209	0.153
Saturated VWC	0.30	0.28	0.29	0.25	0.19
Residual VWC	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00

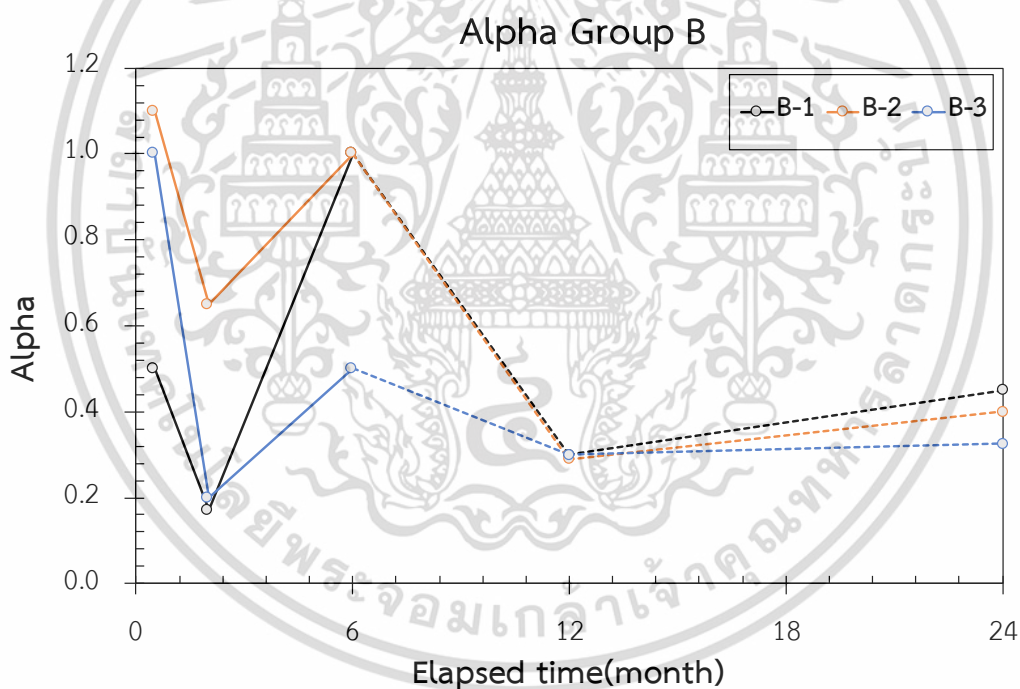
ตารางที่ 5-7 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดิน ของดินที่มีรากหญ้า
แฝก (Sample B-2)

Sample B-2	Bare Soil	Growth phase			Decay phase
		2 months	6 months	12 months	12 months
VG model	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal
α	0.104	0.650	1.000	0.290	0.400
n	1.658	1.100	1.100	1.210	1.165
m	0.397	0.087	0.091	0.174	0.142
Saturated VWC	0.30	0.30	0.29	0.26	0.21
Residual VWC	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

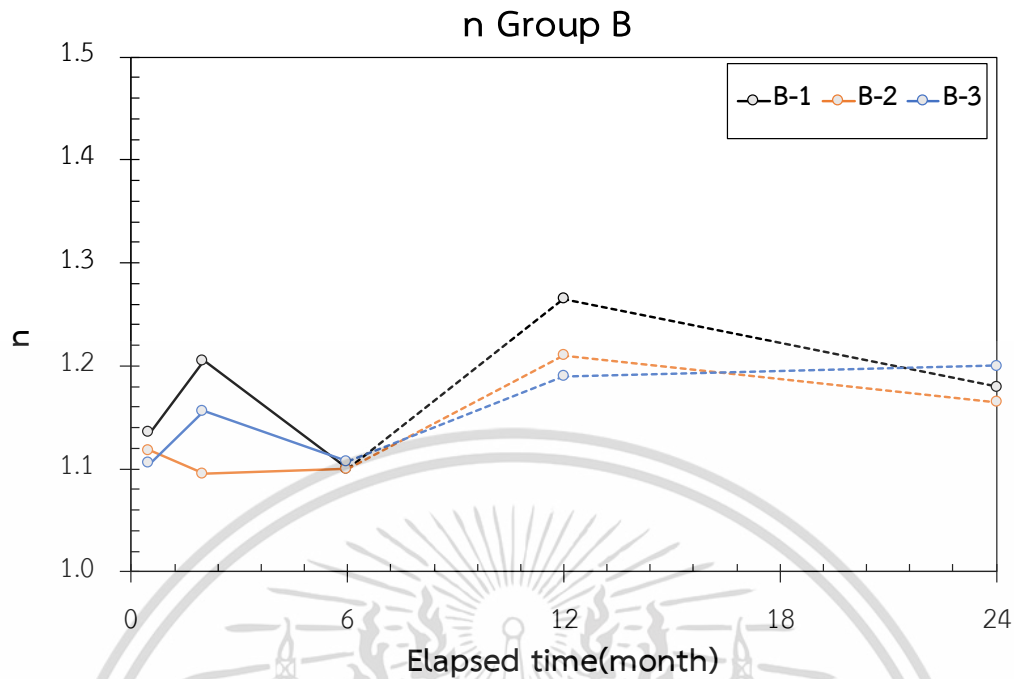
ตารางที่ 5-8 ตารางพารามิเตอร์ Van Genuchten สำหรับเส้นการคงค้างของน้ำในดิน ของดินที่มีรากหญ้า
แฝก (Sample B-3)

Sample B-3	Bare Soil	Growth phase			Decay phase
		2 months	6 months	12 months	12 months
VG model	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal	Unimodal
α	0.104	0.200	0.500	0.300	0.325
n	1.658	1.16	1.107	1.190	1.200
m	0.397	0.135	0.097	0.160	0.167
Saturated VWC	0.30	0.28	0.31	0.20	0.18
Residual VWC	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00



รูปที่ 5-32 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า Alpha ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



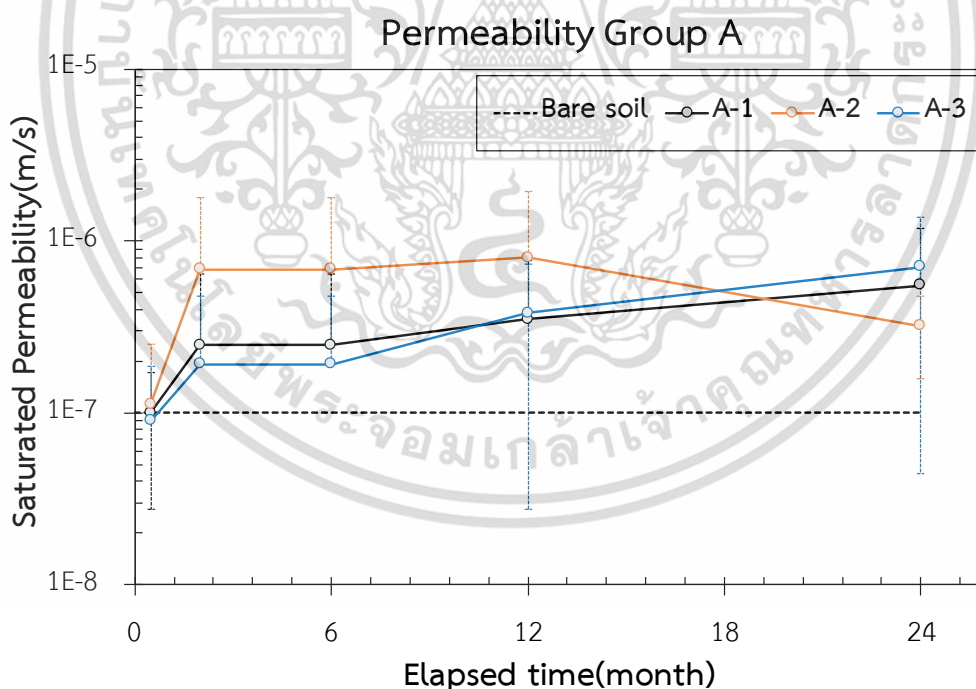
รูปที่ 5-33 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า n ของดินหญ้าแฝก กลุ่มตัวอย่าง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3. การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability) จากผลกระทบของการเติบโตและเสื่อมสลายของราก

5.3.1. กลุ่มตัวอย่าง A (ช่วงการเติบโต 12 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 12 เดือน)

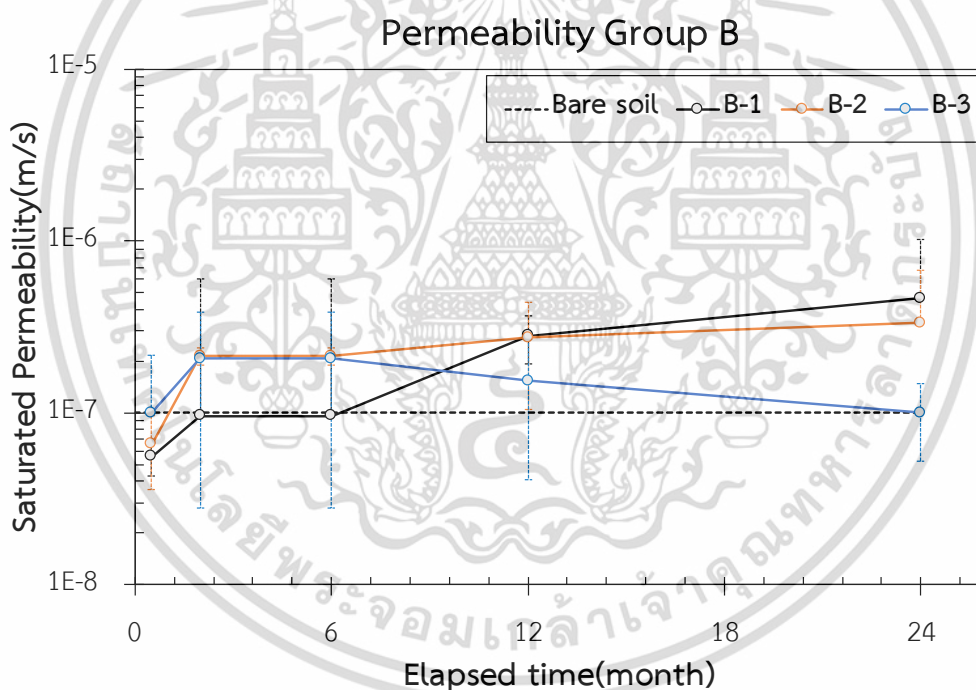
จากการทดสอบอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในกระบอกทดสอบ กลุ่ม A แสดงตามรูปที่ 5-34 จะเห็นว่า อัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นสูงในช่วงอายุ 0-2 เดือน และจะสังเกตได้ว่า อัตราการไหลมีค่าคงที่ในช่วง 2-6 เดือน หลังจากเดือนที่ 6 จะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงขึ้นจนถึง 12 เดือน และหลังจากช่วงการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝกได้ 12 เดือน จะเห็นได้ว่า ในกระบอกทดสอบ A-1 และ A-3 อัตราการไหลของน้ำในดินมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจนจากการเกิดช่องว่างระหว่างเม็ดดินกับรากหญ้าแฝก แต่ในกระบอกทดสอบ A-2 ค่าอัตราการไหลมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินที่บดอัด 80% standard proctor ที่ไม่ได้มีความหนาแน่นมาก และรากทำให้ดินมีความพรุนสูงขึ้นจนความหนาแน่นของดินน้อยลง ส่งผลให้เกิดการพังทลายของช่องว่างที่เกิดขึ้นจากรากหญ้าแฝก ที่แสดงดังรูปด้านข้างกระบอกทดสอบ รูปที่ 4-6 (d)



รูปที่ 5-34 แสดงผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ
ในดินหญ้าแฝกที่อายุต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่าง A

5.3.2. กลุ่มตัวอย่าง B (ช่วงการเติบโต 6 เดือน ช่วงการเสื่อมสลาย 18 เดือน)

จากการทดสอบอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในกระบอกทดสอบ กลุ่ม B แสดงตามรูปที่ 5-35 จะเห็นว่า อัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นสูงในช่วงอายุ 0-2 เดือน และจะสังเกตได้ว่า อัตราการไหลมีค่าคงที่ในช่วง 2-6 เดือน เช่นเดียวกับ กระบอกทดสอบกลุ่ม A หลังจากช่วงการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝกได้ 6 เดือน ในกระบอกทดสอบ B-1 และ B-2 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของน้ำในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น จากการเกิดหัวของรากหญ้าแฝกจนเกิดช่องว่างในดิน แต่ในกระบอกทดสอบ B-3 ค่าอัตราการไหลมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินที่บดอัด 80% standard proctor ที่ไม่ได้มีความหนาแน่นมาก และรากทำให้ดินมีความพรุนสูงขึ้นจนความหนาแน่นของดินน้อยลง ส่งผลให้เกิดการพังทลายของช่องว่างที่เกิดขึ้นจากรากหญ้าแฝก ที่แสดงดังรูปด้านข้างกระบอกทดสอบ รูปที่ 4-10 (d)



รูปที่ 5-35 แสดงผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ
ในดินหญ้าแฝกที่อายุต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่าง B

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การจากศึกษานี้ได้ทำการปลูกหญ้าแฝกลงในดินลูกรัง ศึกษาผลกระทบจากการเจริญเติบโต และการเสื่อมสลายของรากหญ้าแฝก ต่อผลกระทบด้านชลศาสตร์ของดิน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่ม A มีช่วงการเจริญเติบโตถึง 12 เดือน และทำให้เสื่อมสลายเป็นเวลา 12 เดือน และกลุ่ม B มีช่วงการเจริญเติบโตถึง 6 เดือน และทำให้เสื่อมสลายเป็นเวลา 6 เดือน และ 18 เดือน ในการศึกษาจะทำการเร่งราก โดยการตัดใบเมื่ออายุหญ้าแฝกที่ 6 เดือน และทำให้รากเสื่อมสลายโดยการตัดใบลึกลงไปถึงโคนหญ้า คลุมตัวอย่างทดสอบให้ไม่ได้รับแสง แล่งงดน้ำ

6.1.สรุปผลการวิจัย

6.1.1. ลักษณะของหญ้าแฝก (Vetiver characteristics)

จากการสังเกตลักษณะของใบหญ้าแฝก ใบของหญ้าแฝกจะมีความยาวถึง 120 ซม. และมีวัฏจักรการเสื่อมสลายและแตกหน่อ งอกใหม่ของใบมากถึง 10-15 ใบ ตลอดช่วงการเจริญเติบโต ต่อมาเมื่อสังเกตลักษณะของรากจะเห็นว่าในช่วงของการเจริญเติบโตรากแก้วจะเจริญเติบโตเจาะดินไปในแนวดิ่ง และจะมีรากฝอยที่แตกออกจากรากแก้วเจริญเติบโตไปในแนวด้านข้างแทรกตามช่องว่างของดิน และมีความหนาแน่นมากในบริเวณใกล้ผิวดิน และเมื่อเข้าสู่ช่วงการเสื่อมสลาย จะเห็นได้ว่ารากแก้วมีการหดตัวจนเกิดช่องว่างเพิ่มขึ้นระหว่างรากพืชกับดินอย่างชัดเจน และรากฝอยได้ย่อยสลายหายไป เกิดช่องว่างเพิ่มมากขึ้น จนทำให้โครงสร้างดินบางส่วนเกิดการพังทลายปิดช่องว่างของดิน และเมื่อทำการหาปริมาณรากต่อพื้นที่ (side root area ratio) สรุปได้ว่าปริมาณรากต่อพื้นที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ และค่าลดลงเมื่อมีการเสื่อมสลาย

6.1.2. การเปลี่ยนแปลงของค่า Matric Suction และ Volumetric Water Content ในแต่ละช่วงเวลา

การเปลี่ยนแปลงของค่า Matric Suction ในแต่ละช่วงเวลา ในกระบวนการ Dry Process จะสังเกตได้ว่าในดินลูกรังเดิม การเปลี่ยนแปลงของเซนเซอร์แต่ละตัว เกิดขึ้นตามลำดับความลึกของดิน เนื่องจากการระเหยของน้ำในดินจากทางผิวดินด้านบน แต่เมื่อมีการเกิดขึ้นของรากหญ้าแฝก จะส่งผลให้ความแตกต่างของค่า Matric suction ในแต่ละความลึกแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับดินลูกรังเดิม และแตกต่างกันน้อยลงตามอายุของการเจริญเติบโตของพืช จากความหนาแน่นของราก และเมื่อรากมีการเสื่อมสลาย ความแตกต่างของค่า Matric suction ในแต่ละความลึก ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากผลการตรวจวัดช่วงการเจริญเติบโตที่อายุนั้นๆ ก่อนที่จะทำการฆ่าหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตรแต่ละช่วงเวลา ในกลุ่ม A หญ้าแฝกเจริญเติบโตถึง 12 เดือน และเสื่อมสลาย 12 เดือน จะเห็นได้ว่า ช่วง 0-2 เดือนแรก อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลา จะเพิ่มขึ้น จากความต้องการน้ำของพืชในการเจริญเติบโต ต่อมาอัตราการการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะลดลง และมีค่าคงที่ เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยอุ้มน้ำในดิน และรักษาน้ำไว้ในมวลดิน สุดท้าย เมื่อเข้าสู่ช่วงการเสื่อมสลายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นลดลง จากการหายไปของรากหญ้า

6.1.3. เส้นคงค้างของน้ำในดิน (Soil water retention curve)

จากการพิจารณาการเกิดขึ้นของรากหญ้าแฝกในดิน สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างรูพรุนของดิน แบบ Bimodal ที่แบ่งเป็น micropore และ macropore จากรากแก้ว และรากฝอย ซึ่งพิจารณาได้จากเส้นคงค้างของน้ำในดินที่มีพฤติกรรมการระบายน้ำ(ความชื้นของเส้นโค้ง) 2 รูปแบบ ในดินเดียวกัน

ในกระบอกทดสอบกลุ่ม A

- ในช่วงการเติบโต 2 เดือนแรก ค่าปริมาณความชื้นในดิน, ค่าอัตราส่วนช่องว่าง และค่า alpha (VG parameter) มีแนวโน้มลดลง ในทางกลับกัน ค่า AEV และ ค่า n (VG parameter) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่า รากเริ่มมีการงอกเข้าไปในแทนที่ช่องว่างของดิน ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในดินลดลง (Saturated volumetric water content) มีเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของรูพรุนทั้งขนาดเล็ก (micropore) และขนาดใหญ่ (macropore) เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability) อัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก
- ในช่วงการเติบโต 2-6 เดือน ค่าปริมาณความชื้นในดิน, ค่าอัตราส่วนช่องว่าง, ค่า AEV และค่า n (VG parameter) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันค่า alpha (VG parameter) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดขึ้นจากรากอุ้มน้ำในดิน และมีคุณสมบัติแบบ hydrophilic ส่งผลให้ปริมาณน้ำในดินสูงเพิ่มมากขึ้นตามอายุของหญ้าแฝก เกิดมีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) เพิ่มมากขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (เส้นโค้งมีความชันมากขึ้น) จากการงอกและดูน้ำของรากฝอยที่แตกออกจากรากแก้ว
- ในช่วงการเติบโต 6-12 เดือน ค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, ค่าอัตราส่วนช่องว่างของดิน อัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability) และค่า alpha (VG parameter) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน ค่า AEV และค่า n (VG parameter) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากการเติบโตของรากฝอยที่ทำให้เนื้อดินมีรูพรุนขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้น และเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ Macropore ที่มีผลมาจากวัฏจักรการเติบโตและเสื่อมสลายของราก (root shrinkage)

- ในช่วงการเสื่อมสลายเป็นระยะเวลา 12 เดือน อัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability), ค่า n (VG parameter) และค่า α (VG parameter) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, ค่าอัตราส่วนช่องว่างของดิน และค่า AEV มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากการที่รากแก้วที่วางตัวในแนวตั้งเกิดการเสื่อมสลายและหดตัว เปรียบเสมือนทางไหลของน้ำ ทำให้อัตราการไหลของน้ำ และอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นเพิ่มขึ้น จากการเกิดช่องทางไหลแบบพิเศษ (preferential flow) แต่จะมีโครงสร้างดินบางส่วนที่เกิดการพังทลายลงจากการเสื่อมสลายของรากทำให้อัตราส่วนช่องว่างลดลง และปริมาณน้ำในเม็ดดินลดลง แสดงให้เห็นในรูปด้านข้างของกระบอกทดสอบในช่วงการเสื่อมสลาย

ในกระบอกทดสอบกลุ่ม B

- ช่วงการเติบโต 2 เดือนแรก ค่าปริมาณความชื้นในดิน, ค่าอัตราส่วนช่องว่าง และค่า α (VG parameter) มีแนวโน้มลดลง ในทางกลับกันอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability), ค่า AEV และ ค่า n (VG parameter) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงว่า รากเริ่มมีการงอกเข้าไปในในแทนที่ช่องว่างของดิน ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในดินลดลง (Saturated volumetric water content) มีเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของรูพรุนทั้งขนาดเล็ก (micropore) และขนาดใหญ่ (macropore) และมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (เส้นโค้งมีความชันมากขึ้น) จากการงอกและดูดน้ำของรากฝอยที่แตกออกจากรากแก้ว
- ในช่วงการเติบโต 2-6 เดือน ค่าปริมาณความชื้นในดิน, ค่าอัตราส่วนช่องว่าง, อัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability) และค่า α (VG parameter) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันค่า AEV และค่า n (VG parameter) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดขึ้นจากรากอุ้มน้ำในดิน และมีคุณสมบัติแบบ hydrophilic ส่งผลให้ปริมาณน้ำในดินสูงเพิ่มมากขึ้นตามอายุของหญ้าแฝก เกิดมีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) เพิ่มมากขึ้น
- ในช่วงการเสื่อมสลายเป็นระยะเวลา 6 เดือน ค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และค่า α (VG parameter) มีแนวโน้มลดลง ในทางกลับกันอัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability), ค่า AEV และค่า n (VG parameter) มีแนวโน้ม

เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเริ่มเสื่อมสลายของรากแก้วและรากฝอย ทำให้รพุนขนาดเล็กลดลง และเกิดการเพิ่มขึ้นของ Macropore ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงจากเสื่อมสลายของราก

- ในช่วงการเสื่อมสลายเป็นระยะเวลา 18 เดือน อัตราการไหลของน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Permeability) และค่า α (VG parameter) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน ค่าปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตรที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, ค่าอัตราส่วนช่องว่างของดิน, ค่า AEV และค่า n (VG parameter) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากการที่รากแก้วที่วางตัวในแนวตั้งเกิดการเสื่อมสลายและหดตัว เปรียบเสมือนทางไหลของน้ำ ทำให้อัตราการไหลของน้ำ และอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นเพิ่มขึ้น จากการเกิดช่องทางไหลแบบพิเศษ (preferential flow) แต่จะมีโครงสร้างดินบางส่วนที่เกิดการพังทลายลงจากการเสื่อมสลายของรากทำให้อัตราส่วนช่องว่างลดลง และปริมาณน้ำในเม็ดดินลดลง แสดงให้เห็นในรูปด้านข้างของกระบอกทดสอบในช่วงการเสื่อมสลาย

6.2. ข้อเสนอแนะ

- 1) เนื่องจากรากของหญ้าแฝก เป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน จึงควรมีการทำตัวอย่างการทดสอบซ้ำ เพื่อหาแนวโน้มของผลการเปลี่ยนแปลง ทั้งในช่วงการเจริญเติบโต และการเสื่อมสลาย
- 2) ในการวิจัยนี้ ในกระบอกทดสอบ A-1 ที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดูดสูง (MPS-6) ที่ผิวดิน แสดงให้เห็นถึงเส้นคงค้างของน้ำในดิน รูปแบบ Bimodal ซึ่งเกิดขึ้นที่แรงดูดมากกว่า 100 kPa จึงควรมีการศึกษาพฤติกรรมของรากพืชที่แรงดูดสูง รวมไปถึงที่ความลึกต่าง เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีติดตั้งแค่ที่ผิวดิน
- 3) งานวิจัยนี้ทำการทดสอบในกระบอกอะคริลิกไซขนาดเล็ก แต่รากของหญ้าแฝกมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ถึง 3 เมตร และมีการแผ่ขยายออกด้านข้างได้มาก จึงควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ความลึกมากกว่านี้
- 4) สืบเนื่องจากข้อเสนอแนะด้านบน งานวิจัยนี้ได้ทำการใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นในดินทั้งกระบอก ควรมีการศึกษาเส้นคงค้างของน้ำในดินที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดูดและปริมาณความชื้นในดิน ณ ความลึกนั้นๆ
- 5) การทดสอบนี้ควรระวังเรื่องการเกิด Preferential flow ระหว่างช่องว่างกระบอกกับตัวดิน เนื่องจากดินมีการหดตัว เมื่อทำการทดสอบ Drying process เป็นระยะเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Ng, C., Leung, A. and Ni, J. (2019) *Plant–Soil Slope Interaction* (1st ed.). CRC Press.

อภินิติ โชติสังกาศ. 2556. ชีววิศวกรรมปฐพี เพื่อควบคุมการชะล้างพังทลายของลาดและดินถล่ม.

Kamchoom, V. and Leung, A.K.* (2018) Hydro-mechanical reinforcements of live poles to slope stability, *Soils and Foundations*. 58(6): pp.1423-1434

Apriyono, A., Yuliana and Kamchoom, V.* (2023). Serviceability of cut slope and embankment under seasonal climate variations. *Acta Geophysica*

Yuliana, Apriyono, A., Kamchoom, V.*, Leung, A.K. and Keawsawasvong, S. (2023). The impact of tree transpiration on the safety and serviceability of pavement under seasonal variations. *International Journal of Pavement Engineering*. 24(2)

Hemmati, S., Gatmin, B., Cui, Y.J., Vincent, M., 2012. Thermo-hydro-mechanical modelling of soil settlements induced by soil–vegetation–atmosphere interactions. *Eng. Geol.* pp.139–140

Biddle, P.G., 1983. Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees on clay soils. *Geotechnique* 33 (2), pp.107–126.

Blight, G.E., 2003. The vadose-zone soil–water balance and transpiration rates of vegetation. *Geotechnique* 53 (1), pp.55–64.

Wu, Z., Leung, A. K., Boldrin, D. and Ganesan, S. (2021) Variability in root biomechanics of *Chrysopogon zizanioides* for soil eco-engineering solutions. *Science of The Total Environment*, pp.776.

Scanlan, C. A., and Hinz, C. 2010. Insight into the processes and effects of root induced changes to soil hydraulic properties. In 19th world congress of soil science, soil solutions for a changing world, Brisbane, Australia (eds R. Gilkes and N. Prakongkep), pp. 41–44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Scholl, P., Leitner, D., Kammerer, G., Lioskandl, W., Kaul, H. P., and Bodner, G. 2014. Root induced changes of effective 1D hydraulic properties in a soil column. *Plant and Soil*, 381(1–2): pp.193–213.
- Rajamanthri, K., Jotisankasa, A., & Aramrak, S. (2021). Effects of *Chrysopogon zizanioides* root biomass and plant age on hydro-mechanical behavior of root-permeated soils. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 7(2)
- Hau, B.C., Corlett, R.T., 2003. Factors affecting the early survival and growth of native tree seedlings planted on a degraded hillside grassland in Hong Kong, China. *Restor. Ecol.* 11 (4), pp.483–488.
- Leung, A. K., Garg, A., and Ng, C. W. W. 2015. Effects of plant roots on soil–water retention and induced suction in vegetated soil. *Engineering Geology*, 193: pp.183–197.
- Taleisnik, E., Peyrano, G., Cordoba, A., Arias, C., 1999. Water retention capacity in root segments differing in the degree of exodermis development. *Ann. Bot.* 83 (1), pp.19–27.
- Romero, E., Gens, A., Lloret, A., 1999. Water permeability, water retention and microstructure of unsaturated compacted boom clay. *Eng. Geol.* 54 (1–2), pp.117–127.
- Fredlund, D.G., Rahardjo, H., 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*, first ed. John Wiley & Sons, New York.
- Zhai, Q., Rahardjo, H., Satyanaga, A., 2018. A pore-size distribution function-based method for estimation of hydraulic properties of sandy soils. *Eng. Geo.* 246, pp.288–292.
- Satyanaga, A., Rahardjo, H., Leong, E.C., Wang, J.Y., 2013. Water characteristic curve of soil with bimodal grain-size distribution. *Comp. Geotech.* 48, pp.51–61.
- Li, X., Li, J.H., Zhang, L.M., 2014. Predicting bimodal soil-water characteristic curves and permeability. *Comp. Geotech.* 57, pp.85–96.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kamchoom, V., Boldrin, D., Leung, A.K.*, Sookkrajang, C. and Likitlersuang, S. (2022) Biomechanical properties of the growing and decaying roots of *Cynodon dactylon*. *Plant and Soil*. 471, pp.193–210.
- Nghia Phan, T., Leung, A. K., Kamchoom, V., and Likitlersuang, S.* (2022). Reinforcement losses in soil stabilisation due to decomposing roots of *Chrysopogon zizanioides* and *Chrysopogon nemoralis*. *Land Degradation & Development*.
- Phan, N.T., Likitlersuang, S.*, Kamchoom, V. and Leung, A.K. (2021) Root biomechanical properties of *Chrysopogon zizanioides* and *Chrysopogon nemoralis* for soil reinforcement and slope stabilization. *Land Degradation and Development*. 32(16); pp.4624-4636.
- Gray, D.H. 2002. Optimizing Soil Compaction and Other Strategies: Balancing engineering requirements and plant-growth needs in slope protection and erosion control work. *Erosion Control, Official Journal of the international erosion control association*, September-October 2002.
- Li X, Zhang Z, Guo F, Duan J, Sun J. Shoot-Root Interplay Mediates Defoliation-Induced Plant Legacy Effect. *Front Plant Sci*. 2021 Aug 5
- Jotisankasa A (2010) Manual for user of KU tensiometer. Geotechnical Innovation Laboratory. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
- METER Group (2023) TEROS 21 Manual (Gen 1). Meter group, Pullman
- Wang Z, Mo Y, Qian S, Gu Y. Negative phototropism of rice root and its influencing factors. *Sci China C Life Sci*. 2002 Oct;45(5):485-96
- Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44 (5), pp.892–898.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Seki, K., Toride, N., van Genuchten, M.Th., 2022. Closed-form hydraulic conductivity equations for multimodal unsaturated soil hydraulic properties. *Vadose Zone Journal*, 21, 1

Eissenstat DM, Wells CE, Yanai RD, Whitbeck JL (2000) Building roots in a changing environment: implications for root longevity. *New Phytol* 147: pp.33–42

Block RMA, Rees KCJ, Knight JD (2006) A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. *Agrofor Syst* 67: pp.73–84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้