การเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำใน

อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร

นายจิรายุ แก่นจันทร์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

SALT SOLUTION MOVEMENT IN UNSATURATED ZONE IN AMPHOE WANON NIWAT, CHANGWAT SAKON NAKHON

MR. JIRAYU KANDJAN

A REPORT IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF THE BACHELOR SCIENCE

DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE

CHULALONGKORN UNIVERSITY 2014

วันที่ส่ง

_____/_____/_____

วันที่อนุมัติ

_____/_____/_____

ลงชื่อ_____

(_____)

หัวข้องานวิจัย:	การเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในอำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร
นิสิตผู้ทำการวิจัย:	นายจิรายุ แก่นจันทร์
ภาควิชา:	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชตพันธรัตน์
ปีการศึกษา:	2557

บทคัดย่อ

ปัญหาดินเค็มนั้น เกิดจากหลายปัจจัยโดยกระบวนการหนึ่งที่ทำให้เกิด คือการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งพบได้มากในพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และภาคการเกษตร จึงได้ทำการศึกษากระบวนการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แท่งดิน โดยการทดลองนี้จะควบคุมค่าความเค็มของสารละลายเกลือเท่ากับ 180 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างดินในบริเวณตำบลนาคำ อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร โดยเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง และทำการบรรจุตัวอย่างดินลงในแท่งดินขนาดความยาว 4 ขนาดด้วยกัน คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตร ตั้งไว้ในอ่างสารละลายเกลือ แล้วทำการทดลองเป็นระยะเวลา 1, 3, 7, 14, 28, 56 และ 77 วัน

ผลการศึกษาพบว่า ค่าความชื้นและค่าความเค็มมีค่าลดลงตามระยะทางและจำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง โดยเกิดจากแรงดึงน้ำในดินมีค่าลดลง ค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินที่ใช้ในการทดลอง มีค่าในช่วง 0.003 - 0.503 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความเค็มที่ได้จากการทดลอง มีค่าในช่วง 0.486 - 185.25 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่าความเร็วการไหลของสารละลายเกลือในแท่งดินนั้น มีค่ามากที่สุดในบริเวณปลายท่อที่จุ่มในอ่างสารละลายเกลือของแท่งดินที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด โดยมีค่า 25.158 เซนติเมตรต่อวัน โดยความเร็วการไหลจะมีค่าลดลงตามระยะทางและจำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง โดยมีปัจจัยมาจากค่าความชื้นในดินที่ทำให้ช่องว่างในดินมีปริมาณของน้ำสูงขึ้น ทำให้สารละลายเคลื่อนที่ไปได้น้อยลง

คำสำคัญ: สารละลายเกลือ, เขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ, ดินเค็ม, แรงแคพิลลารี, ระดับน้ำใต้ดิน

Project title: SALT SOLUTION MOVEMENT IN UNSATURATED ZONE IN AMPHOE WANON NIWAT, CHANGWAT SAKON NAKHON

Researcher: Jirayu Kandjan

Department: Geology

Advisor: Assist. Prof. Dr. Srilert Chotpantarat

Academic Year: 2014

ABSTRACT

The salinity problem in soils is due to several causes. One of the causes is that salt solution move upward in unsaturated zone, which is found in Northeast of Thailand. It causes negative impacts onto environment and agricultures. This research is the study of salt solution movement in unsaturated columns with various lengths. The experiment has been used soil columns and salt solution with concentration of 180 mS/cm. Soil sample was collectedfrom Amphoe Wanon Niwat, Changwat Sakon Nakhon. Soil sample, classified by sieve and pipette analysis, is silt loam. Soil sample was packed into soil column with the length of 4 different lengths of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 meters. Water content and soil salinity were periodically measured at 1, 3, 7, 14, 28, 56 and 77 days.

Moisture content and electrical conductivity were decreased with the distance when soil water tension is reduced. The volumetric water content of soil in this experiment varied from 0.003 to 0.503 $^{cm^3}/_{cm^3}$ and the electrical conductivity varied from 0.486 to 185.25 mS/cm. The maximum velocity was 25.16 cm/day in the shortest soil column (50 cm.) and velocity of salt solution flows in soil columns decrease as increasing distance of salty movement.

KEY WORDS: Salt Solution, Unsaturated Zone, Saline Soil, Capillary Force, Water Table

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณและค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาปฐพีวิทยาคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร สำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยเสียสละเวลาช่วยเหลือและแนะนำความรู้ในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมไปถึงทักษะกระบวนการความคิดและแนวทางในการทำงานในอนาคต ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายขอขอบพระคุณนาย จาตุรนต์ กอนกุล นางสาวนฤมล แหยมเกตุ นายรักเกียรติ วิกิณิยะธนี ที่คอยช่วยเหลือ ตลอดจนพี่บุคลากรในห้องปฏิบัติการตะกอน และเพื่อนในภาควิชาธรณีวิทยาคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ฌ-ญ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฎ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ฎ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1-7
1.3 นิยามศัพท์	8
1.4 วัตถุประสงค์	8
1.5 สมมติฐาน	8
1.6 ขอบเขตของการวิจัย	8-9
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 พื้นที่ศึกษา (STUDY AREA)	
2.1 ลักษณะทั่วไปของจังหวัดสกลนคร	10
2.2 ลักษณะทางกายภาพ	11-12
2.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา	12-13
2.4 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา	13-14
2.5 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา	15-18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย (METHODOLOGY)	
3.1 รวบรวมเอกสารข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
3.2 การคัดเลือกและเก็บตัวอย่างดิน	19-21
3.3 การวิเคราะห์ดิน	21-23
3.4 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง	23-34

หน้า

บทที่ 4 ผลการศึกษา (RESULT)

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน 35-37

4.2 ผลการศึกษาจากการทดลองเชิงกายภาพ 38-48

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ (CONCLUSION AND SUGGESTION)

5.1 สรุปผลการศึกษา 49-50

5.2 ข้อเสนอแนะ 50

เอกสารอ้างอิง (REFERENCES) 51-52

ภาคผนวก

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1.	แสดงรายละเอียดของพื้นที่ศึกษาและรายละเอียดของชุดดิน	17
ตารางที่ 3.1.	แสดงความแตกต่างของการจำแนกขนาดของเม็ดดินในแต่ละระบบ	22
ตารางที่ 3.2.	แสดงความยาวท่อของแท่งดินและจำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง	25
ตารางที่ 3.3.	แสดงการแปลงค่าของค่า $EC_{1:5}$ เป็นค่า EC_e ของดินแต่ละชนิด (Taylor, 1993)	30
ตารางที่ 4.1.	แสดงค่าความหนาแน่นรวม	35
ตารางที่ 4.2.	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ในการศึกษา	36
ตารางที่ 4.3.	แสดงส่วนประกอบของ Sand: Silt: Clay ของดิน S25	37
ตารางที่ 4.4.	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ในการศึกษา	38
ตารางที่ 4.5.	แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้น ค่า EC และ %NaCl ของดินที่ใช้ในการศึกษา	38
ตารางที่ 4.6.	แสดงค่าความชื้นเริ่มต้นของดินที่ใช้ในการศึกษา	40
ตารางที่ 4.7.	แสดงถึงระดับน้ำที่วัดจากปลายท่อด้านล่างในแท่งดินที่ความสูงต่าง ๆ	41

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1.	แสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา	15
รูปที่ 2.2.	แสดงแผนที่ท่องเที่ยวจังหวัดสกลนคร	16
รูปที่ 2.3.	แสดงแผนที่เขตการใช้ที่ดินของจังหวัดสกลนคร	17
รูปที่ 2.4.	แสดงแผนที่ชุดดิน (Soil map) ในบริเวณอำเภอวานรนิวาส	18
รูปที่ 3.1.	แสดงการเก็บแบบรักษาโครงสร้าง	19
รูปที่ 3.2.	แสดงการเก็บแบบไม่รักษาโครงสร้าง	20
รูปที่ 3.3.	แสดงการเก็บแบบรักษาโครงสร้าง	20
รูปที่ 3.4.	แสดงการเก็บแบบไม่รักษาโครงสร้าง	20
รูปที่ 3.5.	แสดงการเก็บแบบรักษาโครงสร้าง	20
รูปที่ 3.6.	แสดงการเก็บแบบไม่รักษาโครงสร้าง	20
รูปที่ 3.7.	แสดงการวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรง	21
รูปที่ 3.8.	แสดงการวิเคราะห์โดยการตกตะกอน	21
รูปที่ 3.9.	สามเหลี่ยมจำแนกดินของ USDA	23
รูปที่ 3.10.	เครื่องชั่งดิจิตอล	24
รูปที่ 3.11.	เครื่องวัดค่า EC	24
รูปที่ 3.12.	เครื่องวัดความชื้น	24
รูปที่ 3.13.	ฝาปิดแท่งดิน ฟองน้ำและไม้บรรทัด	24
รูปที่ 3.14.	แสดงการเตรียมดินที่ใช้ในการทดลอง	26
รูปที่ 3.15.	แสดงการเก็บตัวอย่างดินโดยเปิดฝาปิดท่อออก	26
รูปที่ 3.16.	แสดงคราบเกลือที่ปรากฏให้เห็นที่ฝาปิดท่อ	27
รูปที่ 3.17.	แสดงการเปิดฝาท่อโดยใช้ค้อนตอกเพื่อให้ฝาปิดออก	27
รูปที่ 3.18.	แสดงการเปิดฝาท่อออกจากแท่งดิน	27
รูปที่ 3.19.	แสดงให้เห็นระดับน้ำที่สารละลายเคลื่อนที่ไปได้ในแท่งดิน	28
รูปที่ 3.20.	แสดงการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นช่วงละ 5 เซนติเมตร	28

รูปที่ 3.21.	แสดงการเก็บตัวอย่างดินช่วงละ 5 เซนติเมตร	28
รูปที่ 3.22.	แสดงการวัดค่า EC ในอ่างเก็บสารละลายเกลือ	31
รูปที่ 3.23.	แสดงกระดาษฟอยล์ที่ใช้บรรจุตัวอย่างดิน	31
รูปที่ 3.24.	แสดงการวัดค่า EC ของตัวอย่าง	32
รูปที่ 3.25.	แสดงถึงแบบจำลองของแท่งดินและวิธีการคำนวณผลจากการทดลอง	34
รูปที่ 4.1.	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่า EC กับค่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือ	39
รูปที่ 4.2.	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่า %NaCl กับค่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือ	39
รูปที่ 4.3.	แสดงค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 0.5 เมตร	42
รูปที่ 4.4.	แสดงค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 1.0 เมตร	42
รูปที่ 4.5.	แสดงค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 1.5 เมตร	43
รูปที่ 4.6.	แสดงค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 2.0 เมตร	43
รูปที่ 4.7.	แสดงค่า EC ของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 0.5 เมตร	44
รูปที่ 4.8.	แสดงค่า EC ของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 1.0 เมตร	44
รูปที่ 4.9.	แสดงค่า EC ของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 1.5 เมตร	45
รูปที่ 4.10.	แสดงค่า EC ของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 2.0 เมตร	45
รูปที่ 4.11.	แสดงค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในแท่งดิน ที่ความสูง 0.5 เมตร	46
รูปที่ 4.12.	แสดงค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในแท่งดิน ที่ความสูง 1.0 เมตร	47
รูปที่ 4.13.	แสดงค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในแท่งดิน ที่ความสูง 1.5 เมตร	47
รูปที่ 4.14.	แสดงค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในแท่งดิน ที่ความสูง 2.0 เมตร	48

สารบัญสมการ

		หน้า
สมการ 1.1.	สมการต่อเนื่อง	2
สมการ 1.2.	สมการในการหาค่าแรงดึงแคพิลลารี	2
สมการ 1.3.	สมการในการหาค่าผลรวมของศักย์รวมของน้ำในดิน	3
สมการ 3.1.	สมการในการหาค่าความชื้นโดยน้ำหนัก	29
สมการ 3.2.	สมการในการหาค่าความชื้นโดยปริมาตร	29
สมการ 3.3.	สมการสมดุลน้ำ	32
สมการ 3.4.	สมการสมดุลน้ำ	32
สมการ 3.5.	สมการหาค่าอัตราการไหลเข้าแต่ละชั้น	32
สมการ 3.6.	สมการหาค่าอัตราการไหลออกแต่ละชั้น	33
สมการ 3.7.	สมการหาค่าอัตราการไหลจำเพาะ	33
สมการ 3.8.	สมการหาค่าความเร็วการไหลจริง	33
สมการ 3.9.	สมการหาค่าความเร็วการไหลเฉลี่ย	33

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ดินเค็ม คือดินที่มีปริมาณเกลือสูง หรือมีปริมาณโซเดียมอยู่สูง ซึ่งทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี โดยปัญหาดินเค็มเกิดเพิ่มขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของโลก เช่นในพื้นที่ที่มีอากาศแบบแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง แต่ก็พบในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นบ้าง ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากความไม่สมดุลย์ของสภาพแวดล้อมทำให้มีการสะสมเกลือในบริเวณผิวดินในปริมาณมากกว่าเกลือที่ถูกชะล้างออกไปจากดิน ซึ่งกระบวนการสะสมเกลือที่ผิวดินได้สร้างความเสียหายต่อพืชที่ปลูก สิ่งปลูกสร้างหรือที่อยู่อาศัยหรือแหล่งน้ำ เป็นต้น สารละลายเกลือที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ส่วนใหญ่มาจากชั้นเกลือหินที่รองรับอยู่ชั้นล่าง ชั้นเกลือหินเป็นชั้นประกอบหนึ่งของหมวดหินมหาสารคาม ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 34.18 ของพื้นที่ มีความเข้มข้นผันแปรไปตามพื้นที่และฤดูกาล การแพร่กระจายดินเค็มเกิดหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การบุกรุกพื้นที่ป่าหรือสิ่งปกคลุมดิน เพื่อเปิดหน้าดินโล่ง โดยเฉพาะพื้นที่ราบต่ำหรือที่ลุ่ม การสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ดินเค็มหรือมีน้ำใต้ดินเค็ม การชลประทานที่ขาดการวางแผนในเรื่องผลกระทบของดินเค็มซึ่งมักก่อให้เกิดปัญหาต่อพื้นที่ซึ่งใช้ประโยชน์จากระบบชลประทาน การใช้ที่ดินผิดประเภท และชั้นเกลือหินอยู่ในระดับตื้นใกล้ผิวดิน เป็นต้น

โดยกระบวนการของการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในบริเวณจังหวัดสกลนครนั้น ก่อให้เกิดปัญหาดินเค็ม ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตรและภาคสิ่งแวดล้อม และยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เช่น ปริมาณของน้ำฝน อัตราการระเหย ลักษณะของเนื้อดิน ดังนั้นการศึกษาของสารละลายเกลือในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในแท่งดิน ที่ทำในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ จะมีส่วนช่วยทำให้เข้าใจกลไกของการเคลื่อนที่สารละลายเกลือในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำได้ดียิ่งขึ้น

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ทฤษฎีการไหลในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

1.2.1.1 สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation)

เป็นสมการที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลเข้า และอัตราการไหลออก ผ่านปริมาตรควบคุมโดยใช้หลักสมดุลน้ำ โดยปริมาตรควบคุมนั้นมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

(Homogeneous) ดังสมการที่ 1.1.

$$q_{in} - q_{out} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$ สมการที่ 1.1.

เมื่อ, q_{in} อัตตราการไหลเข้า, q_{out} อัตราการไหลออก, ΔV คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปริมาตรควบคุม, Δt คือ การเปลี่ยนแปลงเวลา

1.2.1.2 **แรงดึงแคพิลลารี** (Capillary force)

เป็นแรงดึงน้ำซึ่งเกิดเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำ ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างความเชื่อมแน่น (cohesion) ของน้ำและการประสาน (adhesion) ระหว่างน้ำกับผิวของอนุภาคดินตรงผิวของน้ำ (air - water interface) ปรากฏการณ์นี้อาจเห็นได้ทั่วไป คือ เมื่อจุ่มหลอดเล็ก ๆ ที่ผนังด้านในเปียกน้ำลงไปในน้ำผิวเรียบ จะมีน้ำบางส่วนดึงดูดขึ้นไปขังอยู่ในหลอด และถ้าสังเกตจะเห็นว่าผิวของน้ำ ในหลอดจะเว้าลงไปในน้ำ และความโค้งของผิวน้ำจะเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดของหลอดเล็กลง และในขณะเดียวกันความสูงของน้ำที่ขังอยู่ในหลอดจะเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีของหลอดเล็กลง ด้วยการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์แสดงให้เราทราบว่า มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างความสูงของน้ำในหลอด แคพิลลารีกับรัศมีของหลอด หรือความโค้งของผิวน้ำในหลอด ปรากฏการณ์นี้สามารถใช้ได้กับดิน โดยที่ดินมีรูพรุน ซึ่งเป็นช่องแทรกตัวอยู่ทั่วไปทั้งในเม็ดดินและระหว่างเม็ดดิน ถึงแม้ช่องในดินจะมีรูปร่างและความต่อเนื่องที่แตกต่างจากหลอดแคพิลลารีตี้มาก แต่เราสามารถดัดแปลงปรากฏการณ์แคพิลลารี มาประยุกต์ใช้กับดินได้ โดยวิธีการคำนวณดังสมการที่ 1.2.

$$\mathrm{h} = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho_w g r}$$ สมการที่ 1.2.

เมื่อ h คือ ความสูงของน้ำในหลอดเหนือผิวน้ำภาชนะ, γ คือ แรงดึงน้ำ(Water retention)ของหลอด, θ คือ มุมสัมผัสระหว่างน้ำกับผนังหลอด, g คือ แรงดึงดูดของโลก, r คือ รัศมีของหลอด, ρ_w คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ

1.2.1.3 **การดึงน้ำในดิน** (Soil water retention)

เกิดจาก 1.แรงดูดซับ(adsorptive force) คือแรงดูดยึดที่ผิวอนุภาคดินกระทำต่อโมเลกุลน้ำ 2.แรงดึงแคพิลลารี (capillary force) คือแรงดึงน้ำในช่องขนาดเล็ก เกิดจากความตึงผิวของน้ำร่วมกับความสามารถของโมเลกุลน้ำซึ่งเกาะติดผิวสัมผัส และ 3.แรงดึงออสโมติก (osmotic force) คือการดูดซับน้ำของไอออนและโมเลกุลในสารละลาย

1.2.1.4 **แรงที่กระทำต่อน้ำในดิน** (force acting on soil water)

เกิดจากผลรวมของศักย์รวมของน้ำในดิน(total soil water potential, Ψ_s) ดังสมการที่ 1.3.

$$\Psi_s = \Psi_p+\Psi_m+\Psi\pi+\Psi_z \qquad \text{สมการที่ 1.3.}$$

1. แรงดันเนื่องจากคอลัมน้ำนิ่ง (static water column) เป็นแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของน้ำที่อยู่ด้านบน ทำให้เกิดศักย์ความดัน (pressure potential, Ψ_p)

2. แรงดึงวัสดุพื้น (matric fore) เป็นแรงเนื่องจากการดูดยึดระหว่างอนุภาคดินกับน้ำ ทำให้เกิดศักย์วัสดุพื้น (matric potential, Ψ_m)

3. แรงดึงออสโมติก (osmotic force) เป็นแรงเนื่องจากการดูดซับน้ำของไอออนและโมเลกุลในสารละลาย ทำให้เกิดศักย์ออสโมติก (osmotic potential, Ψ_π)

4. แรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational force) เป็นแรงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ทำให้เกิดศักย์โน้มถ่วง (gravitational potential, Ψ_z)

1.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาตรักษ์ และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาขอบเขตและวิวัฒนาการของเกลือหินใต้ผิวดินในหมวดหินมหาสารคามในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิเคราะห์และแปลความจากข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ อาศัยคลื่นสั่นสะเทือนที่มีความคล้ายกับคลื่นที่ใช้ในการสำรวจปิโตรเลียม โดยผลการศึกษาพบว่า

1. แหล่งเกลือหินในบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ครอบคลุมพื้นที่ 49,544 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณร้อยละ 28 ของพื้นที่ทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2. พื้นที่แหล่งเกลือหินใต้ผิวดินครอบคลุม 16 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแต่ละจังหวัดมีพื้นที่มากน้อยแตกต่างกันออกไป ซึ่งจังหวัดที่มีเกลือหินมากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ หนองคาย ร้อยละ 86 มหาสารคาม ร้อยละ 85 นครพนม ร้อยละ 79 ร้อยเอ็ด ร้อยละ 66 สกลนคร ร้อยละ 58 ยโสธร ร้อยละ 53 และส่วนจังหวัดที่ไม่มีแหล่งเกลือหินใต้ผิวดินเลย ได้แก่ หนองบัวลำภู มุกดาหาร และเลย

3. การศึกษาหารูปร่างของโดมเกลือแบบ 3 มิติ ควรใช้วิธีการวัดคลื่นสั่นสะเทือนแบบหักเหหรือแบบสะท้อน และการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ โดยอาจจะใช้ร่วมกัน ซึ่งการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะทำได้รวดเร็วกว่า

4. การตกสะสมตัวของแหล่งหินเกลือในหมวดหินมหาสารคามนั้นจะอยู่ในช่วง 91 - 113 ล้านปี โดยฐานล่างของหมวดหินมหาสารคามวางตัวไม่ต่อเนื่องกับหมวดหินในกลุ่มหินโคราช และผิวบนของหมวดหินมหาสารคามสัมผัสแบบต่อเนื่องกับหมวดหินภูทอก วางตัวแบบไม่ต่อเนื่องกับหมวดหินอายุเทอร์เทียรี ในกรณีที่มีหินเทอร์เทียรีตกสะสมและตะกอนดินอายุปัจจุบัน จากผลที่ได้พอจะสรุปวิวัฒนาการของหมวดหินมหาสารคาม โดยเริ่มจากการชนกันของแผนโลกสองแผนเมื่อประมาณ 113 ล้านปี แรงอัดจากการชนทำให้เกิดการยกตัวสูงขึ้นของเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์ซึ่งเคยเป็นบริเวณขอบแผนโลกเดิมมาก่อน ผลจากน้ำหนักกดของเทือกเขาทำให้เกิดเป็นแอ่งโก่งขึ้นมา ต่อมามีการรุกของน้ำทะเลเข้ามายังแอ่งที่โกงขึ้นและเกิดการตกสะสมของเกลือหิน โทแทช และหินดินเหนียว ของหมวดหินมหาสารคามภายในแอ่ง การรุกของน้ำทะเลเกิดต่อเนื่องประมาณ 3 ช่วง จากนั้นสภาพแวดล้อม

เปลี่ยนไป แอ่งที่เคยมีน้ำทะเลตื้นเขิน ถูกปิดด้วยตะกอนที่พัดพามากับลมเป็นส่วนใหญ่ ตะกอนมีการเชื่อมประสานเป็นหินแข็งปัดทับชั้นเกลือหิน ต่อมาเมื่อเกิดการชนกันของแผนโลกอินเดีย-ออสเตรเลียและแผ่นโลกยูเรเชีย เกลือหินและหินที่ปิดทับถูกแรงกระทำ และเกิดการคดโค้งใน ทำให้ในส่วนที่เป็นพื้นทีของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แยกแอ่งเดิมออกเป็น 2 แอ่งย่อย คือ แอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร คั่นโดยเทือกเขาภูพาน ชั้นเกลือหินเมื่อถูกแรงกระทำจึงมีการคดโค้ง และปูดเป็นรูปโดม เกลือหินบริเวณเทือกเขาภูพานจะเคลื่อนไหลมาสู่ใจกลางแอ่งและเกลือที่อยู่ในที่สูงจะถูกละลายออกไป ปัจจุบันจึงไม่พบเกลือในพื้นที่ที่เป็นเทือกเขา พบแต่หินที่อยู่ฐานล่างของหมวดหินมหาสารคาม การปูดของเกลือหิน ทำให้เกลือหินใต้ผิวดินในบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครมีความลึกที่ไม่แน่นอน ไม่สามารถใช้การศึกษาโดยการเทียบสัมพันธ์ ดังเช่นหมวดหินอื่น ๆ ได้ และจากผลการศึกษาพบว่าแผนที่ทางธรณีวิทยามาตราส่วนที่ใช้ในปัจจุบัน (1:1,000,000) นั้นที่ขอบเขตของหมวดหินมหาสารคามมีความคาดเคลื่อนค่อนข้างมาก ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวางแผนจัดการเกี่ยวกับทรัพยากรเกลือและการแก้ปัญหาการแพร่กระจายของดินเค็ม-น้ำเค็ม

สาตรักษ์ และคณะ (2549) การนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อแก้ปัญหาภัยแล้งในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มักประสบปัญหาจากการที่ใต้ผิวดินมีเกลือหินรูปโดมกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้เกิดการละลายของเกลือหิน ก่อให้เกิดปัญหาของดินเค็มดังนั้นการวิจัยนี้ได้นำเอาการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะมาประยุกต์เพื่อสำรวจหาขอบเขตหรือช่วงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ให้น้ำบาดาลเค็มในชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer) และที่บ่งบอกโพรงใต้ผิวดินที่มีน้ำเค็มขัง โดยทำการประยุกต์วิธีการสำรวจวัดค่าความแตกต่างทางค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบหยั่งลึก (1 มิติ) พบว่า

1. ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงน้อยสุด-มากสุดของ ชั้นดิน-ชั้นหินอุ้มน้ำแบบไร้แรงดันที่มีน้ำเค็มแทรกในเนื้อดิน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงคาบเกี่ยวกัน ดินเหนียวปนทราย มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 0.25 – 3.10 โอห์ม-เมตร ทรายปนดินเหนียว มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 1.30 - 7.80 โอห์ม-เมตร หินดินเหนียวผุไม่มีน้ำเค็มแทรกของหมวดหินมหาสารคาม มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 3.40 – 137.70 โอห์ม-เมตร และหินดิน

เหนียวผุที่มีน้ำเค็มแทรก มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 0.70 – 10.30 โอห์ม-เมตร ดังนั้น การประยุกต์วิธีสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบ 1 มิติ เพื่อหาน้ำบาดาลจืด หากพบว่าชั้นที่คาดว่าให้น้ำเป็นดินเหนียวปนทรายมีค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะจริงที่ต่ำกว่า 3.10 โอห์ม-เมตร มีโอกาสที่จะพบน้ำบาดาลเค็มสูง หากชั้นให้น้ำเป็นทรายปนดินเหนียวและพบว่ามีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 7.80 โอห์ม-เมตร มีโอกาสพบน้ำเค็มสูง และหากชั้นให้น้ำเป็นหินดินเหนียวผุและพบว่ามีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 10.30 โอห์ม-เมตร โอกาสพบน้ำเค็มสูง

2. ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของน้ำเค็มที่สูบขึ้นมาเพื่อทำนาเกลือ พบว่าน้ำเกลือ 100 กรัม มีเกลืออยู่ประมาณ 28 กรัม มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงประมาณ 0.03 โอห์ม-เมตร ดังนั้นการประยุกต์วิธีสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเพื่อตรวจสอบโพรงในพื้นที่ที่มีเกลือหินรองรับ ถ้าหากพบว่ามีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงใต้ผิวดินช่วงนั้นน้อยกว่า 0.25 โอห์ม-เมตร โอกาสที่ใต้ผิวดินจะมีโพรงหรือช่องว่างขนาดใหญ่และมีน้ำเค็มขังอยู่จึงมีความเป็นไปได้สูง

Kanzari และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำและเกลือใน Bouhajla Central Tunisia) ซึ่งพิจารณาจากปัจจัยด้านปริมาณฝนเป็นหลัก โดยพื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งนั้นมีปัจจัยเสี่ยงต่อปัญหาดินเค็มและสารละลายเกลือเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล เหตุการณ์ฝนตกนั้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกลือบริเวณชั้นดินด้านบนซึมผ่านลงไปในชั้นที่ลึกขึ้นซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงของปัญหาดังกล่าว ซึ่งการศึกษาดังกล่าวอ้างอิงรูปแบบ Hydrus-1d Model calibration โดยพิจารณาบน flood irrigation experiment เป็นเวลา 10 วัน ที่ความลึก 4 เมตร โดยแบบจำลองนี้ใช้เวลาทั้งสิ้น 577 วัน โดยผลการศึกษานี้พบว่า

1. ผลของปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝน โดยถ้ามากกว่า 50 mm/day จะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือ โดยจะมีการซึมสู่ชั้นที่ลึกกว่า

2. เข้าใจถึงพัฒนาการในระยะยาวในรอบ 20 ปี ของสารละลายเกลือ (saline profile he long-term evolution of the saline profile in 20 years) โดยเป็นวัฏจักรตามธรรมชาติของเกลือที่จะมีการซึมของเกลือในชั้นดินชั้นบน (Top soils) ที่จะมีซึมออกไปในบริเวณรอบ ๆ ประมาณ 2 เมตร และในชั้น

ที่ลึกมากขึ้นอาจจะมีการซึมออกไปในบริเวณรอบ ๆ ประมาณ 4 เมตร ซึ่งมันจะเพิ่มความปนเปื้อนของสารละลายเกลือในชั้นน้ำบาดาลได้

Shouse และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองของแหล่งน้ำบาดาลระดับตื้นที่มีสารละลายเกลือละลายอยู่ที่ส่งผลต่อพื้นดินและพื้นที่ทางการเกษตร โดยทำการศึกษาในบริเวณ the western united state และ California โดยได้ทำการทดลอง โดยออกแบบและสร้างคอลัมน์ดิน แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ short column และ tall column และควบคุมให้มีความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่แตกต่างกัน ใช้เวลาทดลองนาน 4 ปี ตั้งแต่ปี 2002 - 2005 โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปน้ำที่มีสารละลายเกลือจะมีความเข้มข้นมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปในความลึกเดียวกัน

ปลัดศรีช่วย และ มงคลสวัสดิ์ (2549) ได้ทำการศึกษาการประเมินสถานภาพพื้นผิวเพื่อแสดงศักยภาพความเป็นเกลือของดินในที่ราบสูงโคราชด้วยข้อมูลจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินสภาพพื้นผิวที่มีศักยภาพความเป็นเกลือของดิน ด้วยดัชนีความสว่าง (Brightness Index) ของภาพถ่ายจากดาวเทียมและพัฒนาแบบจำลองบูรณาการเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่ในที่ราบสูงโคราชซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 150,000 ตารางกิโลเมตร สำหรับการพัฒนาสถานภาพพื้นผิวดินที่มีศักยภาพความเค็มของดินนั้น ได้ใช้ดัชนีความสว่างของภาพจากข้อมูลดาวเทียม SPOT ได้แก่

1. Brightness Index (BI)

2. Normalized Difference Salinity Index (NDSI)

3. Principle Components Analysis (PCA)

หาความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มของดินกับดัชนีเหล่านี้ด้วยกาวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Linear regression)และการวิเคราะห์ สหสัมพันธ์เชิงเส้น (Correlation) พบว่าดัชนีความสว่างแบบ Normalized Difference Salinity Index (NDSI) ให้ความสัมพันธ์สูงสุด แบบจำลองบูรณาการเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้น ได้ใช้ชั้นข้อมูลค่าความสว่างของภาพที่มีความสัมพันธ์กับดินเค็มสูงสุดวิเคราะห์แบบซ้อนทับร่วมกับ ชั้นข้อมูลธรณีวิทยา ภูมิสัณฐาน คุณภาพและปริมาณน้ำ

ใต้ดิน สิ่งปกคลุมดิน และพื้นที่ที่ได้รับน้ำชลประทาน ด้วยแบบจำลองที่วิเคราะห์จากเงื่อนไขตามกลไกของแหล่งการเกิดดินเค็มเป็น เค็มมาก เค็มปานกลาง เค็มน้อยและไม่เค็ม พบว่าพื้นที่ศักยภาพดินเค็มในพื้นที่ราบสูงโคราชเป็นร้อยละ 5.09 9.92 6.73 และ 74.62 ตามลำดับ ผลที่ได้รับแสดงเป็นแผนที่ศักยภาพความเค็ม โดยมีการตรวจสอบภาคสนาม และหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มของดินกับแผนที่ที่ได้รับ ผลการวิจัย นอกจากจะแสดงสารสนเทศเชิงพื้นที่แล้วยังให้ข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดินให้สอดคล้องกับปัญหา

1.3 นิยามศัพท์

1.3.1 ดินเค็ม หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในสารละลายดินมากเกินไปจนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลิตผลของพืช เนื่องจากทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ และมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษในพืชมากเกินไปนอกจากนี้ยังทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืชด้วย

1.3.2 เขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ หมายถึง ชั้นของดินที่มีน้ำและอากาศอยู่ร่วมกัน

1.3.3 แรงแคพิลลารี หมายถึง แรงดึงน้ำในช่องขนาดเล็ก เกิดจากความตึงผิวของน้ำร่วมกับความสามารถของโมเลกุลน้ำซึ่งเกาะติดผิวสัมผัส

1.3.4 ระดับน้ำใต้ดิน หมายถึง ระดับของน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้น ซึ่งระดับน้ำใต้ดินจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาล

1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 เพื่อสร้างแบบจำลองทางกายภาพ ที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำขึ้นสู่ผิวดิน

1.4.2 เพื่อประเมินพฤติกรรมการไหลของสารละลายเกลือ

1.5 **สมมติฐาน**

สมบัติของดินในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำมีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือ

1.6 **ขอบเขตของการวิจัย**

1.6.1 ใช้ตัวอย่างดินจากพื้นที่ศึกษาที่มีปัญหาดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเลือกตัวอย่างดินที่พบมากที่สุด ในอำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร คือ ดินจากชุดดินที่ 25

1.6.2 ใช้สารละลายเกลือความเค็มคงที่

1.7 **ผลที่คาดว่าจะได้รับ**

1.6.1 ทำให้เข้าใจถึงหลักการของการเคลื่อนของสารละลายเกลือที่เคลื่อนที่ในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำขึ้นสู่ผิวดินมากขึ้น

1.6.2 อธิบายคุณสมบัติทางกายภาพและทางชลศาสตร์ของดินได้

บทที่ 2

พื้นที่ศึกษา

2.1 ลักษณะทั่วไปของจังหวัดสกลนคร

2.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

จังหวัดสกลนครตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นที่ราบสูง ล้อมรอบด้วยภูเขาและป่าไม้ เส้นรุ้งที่ 160 องศา 45 ลิปดาถึง 180 องศา 15 ลิปดาเหนือ และเส้นแวงที่ 103 องศา 15 ลิปดาถึง 104 องศา 30 ลิปดาตะวันออก มีขนาดพื้นที่ประมาณ 9,605.76 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณ 6,003,602 ไร่ ตั้งอยู่เหนือระดับน้ำทะเล 172 เมตร ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 647 กิโลเมตรทางรถยนต์ ห่างจากสะพานมิตรภาพไทย - ลาวแห่งที่ 2 จังหวัดมุกดาหารประมาณ 120 กิโลเมตร และสะพานมิตรภาพไทย - ลาวแห่งที่ 3 จังหวัดนครพนม ประมาณ 90 กิโลเมตร ซึ่งเป็นเขตแดนระหว่างประเทศไทยกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จังหวัดสกลนครมีอาณาเขตติดต่อกับเขตจังหวัด ดังต่อไปนี้

ทิศเหนือ จรดอำเภอเฝ้าไร่ อำเภอโซ่พิสัย จังหวัดหนองคาย
อำเภอพรเจริญ อำเภอเซกา จังหวัดบึงกาฬ
อำเภอนาทม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม

ทิศตะวันออก จรดอำเภอนาหว้า อำโพนสวรรค์ อำเภอเมืองนครพนม
อำเภอปลาปาก อำเภอวังยาง อำเภอนาแก จังหวัดนครพนม

ทิศใต้ จรดอำเภอดงหลวง จังหวัดมุกดาหาร
อำเภอนาคู อำเภอเขาวง อำเภอสมเด็จ อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์
อำเภอวังสามหมอ อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี

ทิศตะวันตก จรดอำเภอไชยวาน อำเภอหนองหาร อำเภอทุ่งฝน อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

2.2 ลักษณะทางกายภาพ

2.2.1 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดสกลนคร ทางด้านทิศใต้เป็นเทือกเขาสูงจากนั้นจะค่อย ๆ เอียงลาดลง มาทางทิศเหนือและทิศตะวันออก พื้นที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 172 เมตร ขนาดพื้นที่ของจังหวัดสกลนครเป็นลำดับ 19 ของประเทศ และลำดับ 8 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลักษณะภูมิประเทศแต่ละบริเวณดังนี้

2.2.1.1 **พื้นที่ตอนใต้** สภาพพื้นที่เป็นที่ราบสูงบนเทือกเขาภูพานและที่ราบระหว่างหุบเขา มีสภาพพื้นที่แบบลูกคลื่นลอนลาดอยู่บริเวณอำเภอกุดบาก มีลำธารและลำห้วยอันเกิดจากเทือกเขาหลายแห่ง มีป่าไม้และทุ่งหญ้าเหมาะสำหรับการเลี้ยงสัตว์

2.2.1.2 **พื้นที่ตอนตะวันออก** มีสภาพพื้นที่แบบลูกคลื่นลอนลาดรวมถึงบริเวณที่ติดกับอำเภอนาแก จังหวัดนครพนม

2.2.1.3 **พื้นที่ตะวันตก** สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสลับกับพื้นที่แบบลูกคลื่นลอนลาดเหมาะสำหรับการทำไร่บริเวณที่ติดกับอุดรธานี

2.2.1.4 **พื้นที่ตอนกลาง** สภาพพื้นที่เป็นที่ราบต่ำเหมาะแก่การทำนา โดยเฉพาะท้องที่อำเภอเมืองที่มีหนองหารทำให้มีน้ำตลอดปี มีอาณาเขตกว้างประมาณ 7 กิโลเมตร ยาวประมาณ 18 กิโลเมตร ระดับน้ำลึกประมาณ 3 - 6 เมตร หนองหารเป็นที่รองรับน้ำจากแม่น้ำต่างๆ หลายสาย

2.2.1.5 **พื้นที่ตอนเหนือ** สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีสภาพเป็นป่าปนไร่ ป่าส่วนใหญ่เป็นพวกป่าแดงโปร่งมีไม้เต็ง ไม้รัง พลวง เหนือที่ตั้งอำเภออากาศอำนวยและริมน้ำสงครามบางส่วนเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วม ซึ่งใช้ทำนาได้บางส่วนเท่านั้น ส่วนใหญ่จะทิ้งไว้รกร้างว่างเปล่า มีพวกไม้พุ่มเตี้ยและหญ้าขึ้นปกคลุมทั่วไป

2.2.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ภูมิอากาศของจังหวัดสกลนคร จัดอยู่ในประเภทอากาศแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดูหรือแบบทุ่งหญ้าเมืองร้อน ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีอากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกชุกตลอดฤดู แต่ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หรือฤดูหนาวจะมีอากาศแห้งแล้งเกือบตลอดฤดู ท้องฟ้าโปร่งเป็นส่วนมาก ช่วงต่อระหว่างฤดูมรสุมทั้งสองตรงกับฤดูร้อน เป็นระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์กำลังเคลื่อนผ่านเส้นศูนย์สูตรขึ้นไปยังซีกโลกเหนือ พื้นดินจะสะสมความร้อนไว้ ทำให้อากาศร้อน ฟ้าหลัวแห้งและมีพายุฝนฟ้าคะนองเป็นครั้งคราว

2.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา

พื้นที่ศึกษานั้นตั้งอยู่ใน บริเวณที่ราบสูงโคราช (The Khorat Plateau) โดยมีลักษณะทางด้านธรณีวิทยาคือ เป็นที่ราบสูงโคราชหมายถึงบริเวณที่ราบสูงของภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด มีเนื้อที่ประมาณ 150,000 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณหนึ่งในสามของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบเรียบ มีความสูงประมาณ 130-250 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

เทือกเขาเพชรบูรณ์และดงพญาเย็นเป็นขอบที่ราบสูงโคราชทางทิศตะวันตก โดยเริ่มจากจุดเหนือสุดที่ผามอง ยาวต่อลงมาทางทิศใต้ตามแนวของภูยาอู่ ภูพานคำ ภูแลนคาและภูพังเหยจนถึงเขื่อนลำตะคอง ซึ่งบริเวณนี้พื้นที่มีความลาดเทไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ขอบที่ราบสูงโคราชทางด้านทิศใต้ ประกอบด้วยทิวเขาสันกำแพงและพนมดงรัก ซึ่งเป็นขอบเขาสูงชันและเอียงเทไปหาแอ่งทางทิศเหนือ ส่วนขอบแอ่งทางด้านทิศเหนือและตะวันออกเป็นแนวเทือกเขาในประเทศลาว

ที่ราบสูงโคราชถูกแบ่งออกด้วยเทือกเขาภูพานที่เกิดจากโครงสร้างชั้นหินโค้งรูปประทุนลูกฟูก (anticlinorium) ที่มีแกนวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้ส่วนทางด้านเหนือ เกิดแอ่งย่อยอุดร-สกลนคร และทางด้านใต้ เกิดแอ่งย่อยโคราช-อุบล แอ่งทั้งสองมีพื้นที่เอียงเทไปยังทิศตะวันออกและมีพื้นที่ราบเรียบ ซึ่งประกอบด้วยที่ราบน้ำท่วมถึง และที่ราบน้ำท่วมไม่ถึง (non-floodplain) อยู่กลางแอ่ง นอกจากนี้ในบริเวณกลางแอ่ง มีการแทรกดันของเกลือหินกระจายอยู่ทั่วไป

ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดพื้นที่ดินเค็มและน้ำเค็มในบริเวณที่ราบสูงโคราช ลักษณะภูมิประเทศและภูมิสัณฐานของแอ่งย่อยทั้งสองมีลักษณะดังนี้

2.3.1 แอ่งอุดร-สกลนคร

สกลนคร มีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่บริเวณจังหวัดหนองคาย อุดรธานี สกลนคร นครพนม มุกดาหาร และบางส่วนของประเทศลาว พื้นที่แอ่งเฉพาะในประเทศไทยมีประมาณ 17,000 ตารางกิโลเมตร แม่น้ำในบริเวณนี้มีขนาดเล็กและสายสั้นๆ เกิดจากเทือกเขาภูพาน ได้แก่ แม่น้ำสงคราม แม่น้ำพุง ซึ่งไหลลงสู่แม่น้ำโขงทางทิศตะวันออก เป็นต้น นอกจากนี้บริเวณที่มีการทรุดตัวของแผ่นดินจนทำให้เกิดพื้นที่ลุ่ม มีน้ำขังตลอดปีและกลายเป็นหนองบึงกระจายอยู่ทั่วไป ที่สำคัญได้แก่ หนองหาน อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี หนองญาติ จังหวัดนครพนม และหนองหาน จังหวัดสกลนคร เป็นต้น

2.3.2 แอ่งโคราช-อุบล มีพื้นที่ประมาณ 33,000 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่บริเวณจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ ขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ด บุรีรัมย์ กาฬสินธุ์ ยโสธร สุรินทร์ ศรีสะเกษ อุบลราชธานี และอำนาจเจริญ แม่น้ำในบริเวณนี้ส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาที่เป็นขอบแอ่งทางทิศเหนือและทิศตะวันตก ที่สำคัญ ได้แก่ แม่น้ำมูล มีต้นกำเนิดจากเขาวงและเขาสมิงของเทือกเขาสันกำแพง บริเวณอำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา แม่น้ำชี มีต้นกำเนิดจากสันปันน้ำของเทือกเขาเพชรบูรณ์ ในเขตจังหวัดชัยภูมิ แม่น้ำทั้งสองสายไหลผ่านที่ราบตอนกลางของแอ่งและบรรจบรวมกันเป็นแม่น้ำขนาดใหญ่ก่อนจะไหลลงสู่แม่น้ำโขงทางทิศตะวันออก บริเวณอำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี เป็นต้น

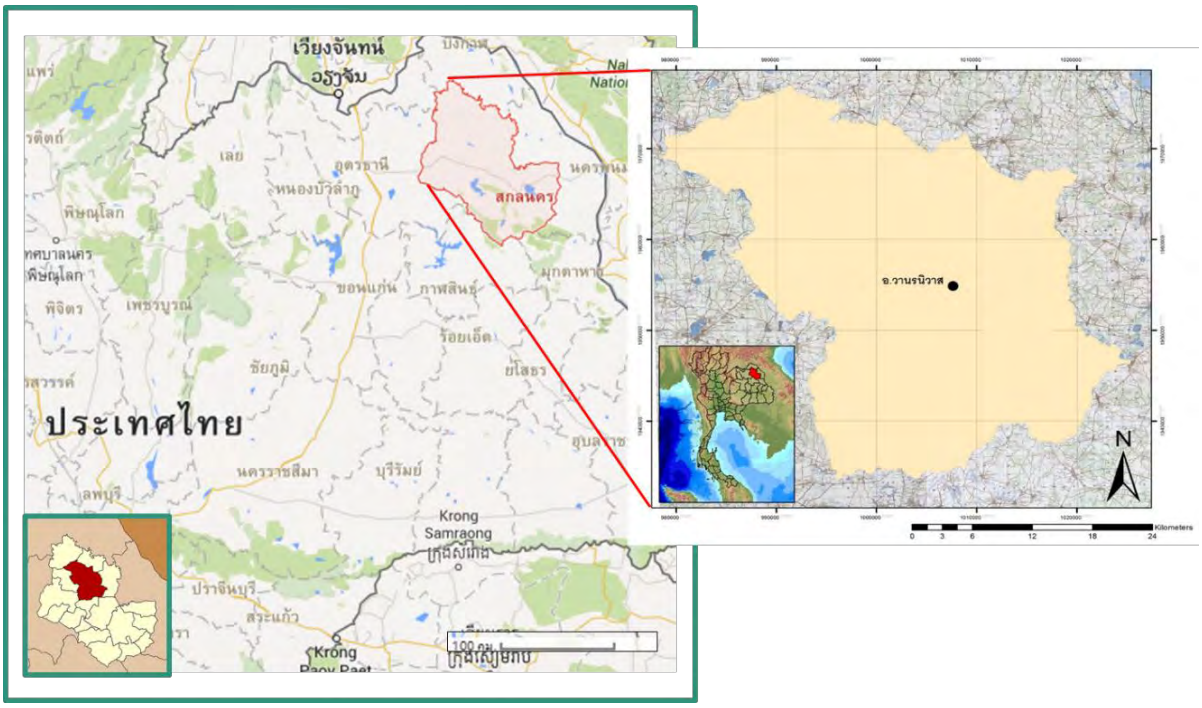
2.4 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 130 – 1,300 เมตร โดยสามารถแบ่งลักษณะภูมิประเทศได้เป็น 2 พื้นที่หลักได้แก่ แอ่งสกลนคร (แอ่งอีสานตอนบน) อ่างโคราช (แอ่งอีสานตอนล่าง) โดยมีเทือกเขาภูพานเป็นแนวแบ่งเขตน้ำบาดาล โดยกลุ่มหินนั้นเป็นตัวบ่งบอกถึงศักยภาพของแหล่งน้ำบาดาล โดยพื้นที่ที่ราบสูงโคราชกว่าร้อยละ 90 รองรับด้วยหินแข็งจำพวก clastic sedimentary rocks ดังนั้นแหล่งน้ำบาดาลที่สำคัญที่สุดของที่ราบสูงโคราช ได้แก่ น้ำ

บาดาลจากชั้นหินอุ้มน้ำภูทอก ชั้นหินอุ้มน้ำโคราชตอนบน โคราชตอนกลาง และโคราชตอนล่าง สำหรับแหล่งน้ำในตะกอนหินร่วน ซึ่งเกิดตามแนวลำน้ำใหญ่เป็นตะกอนหินร่วนประเภทต่าง ๆ นั้นอาจครองพื้นที่เพียงประมาณร้อยละ 7 ของพื้นที่ของที่ราบสูงโคราช โดยมีพื้นที่สำคัญ ๆ คือ พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำโขง ตั้งแต่อำเภอศรีเชียงใหม่-หนองคาย-บึงกาฬช่วงหนึ่ง พื้นที่จากตัวจังหวัดนครพนมจนถึงจังหวัดมุกดาหารอีกช่วงหนึ่ง พื้นที่ดังกล่าวเป็นแนวยาวแคบ ๆ ขนานลำแม่โขงโดยมีความกว้างจากแม่น้ำ เพียงประมาณ 5-10 กิโลเมตร เท่านั้น นอกจากนี้ เป็นพื้นที่ราบลุ่มแคบ ๆ ตามแนว น้ำชี–น้ำมูล และแม่น้ำสงคราม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แหล่งกรวดทรายที่มีลักษณะเป็น terrace deposits ด้านทิศใต้ลำน้ำมูล นับตั้งแต่พื้นที่เหนือมหาวิทยาเทคโนโลยีสุรนารี ผ่านไปทางอำเภอจักราช อำเภอชุมพวง อำเภอคูเมือง ต่อไปจนถึงอำเภอท่าตูมของจังหวัดสุรินทร์ วางตัวเป็นแนวยาวไม่ต่อเนื่อง ในแนวทิศตะวันออก–ตะวันตก ความยาวมากกว่า 100 กิโลเมตร ความกว้างโดยเฉลี่ย 10 กิโลเมตร เป็นแนวเนินกรวด ทรายที่หนามากกว่า 200 เมตร ในพื้นที่บางแห่ง ของอำเภอคูเมือง และพบว่ามีชั้นน้ำบาดาล 3 ชั้นโดยแต่ละชั้นถูกคั่นด้วยชั้นดินเหนียว ชั้นน้ำบาดาลทุกชั้นให้น้ำบาดาลพุ (flowing wells) ในบริเวณพื้นที่ที่เหมาะสม บางแห่งมีแรงดันน้ำ (flowing head) สูงจากผิวดินถึง 3 เมตร และมีอัตราการไหลพุขึ้นเองตามธรรมชาติ (free flow rate) โดยเฉลี่ย 2.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงต่อบ่อ แหล่งน้ำบาดาลในหินร่วนประเภทตะพักน้ำยุคเก่า อันได้แก่ หมวดหินคูเมือง ตามขอบแอ่งด้านเหนือของแอ่งโคราช ตั้งแต่ตัวเมืองขอนแก่นจนถึงบริเวณเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ และหมวดหินภูเขาทองตั้งแต่อำเภอเมือง-อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา แหล่งน้ำบาดาลในหินร่วนของที่ราบสูงโคราชอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ น้ำบาดาลที่สะสมตัวในเนินทราย (sand dune aquifers) ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักเป็นแหล่งน้ำบาดาลระดับตื้น กระจัดกระจายอยู่ในพื้นที่ราบของภาคอีสาน

2.5 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษานั้นอยู่ในตำบลนาคำ อำเภอานรนิวาสโดยเป็นส่วนหนึ่งของจังหวัดสกลนคร ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

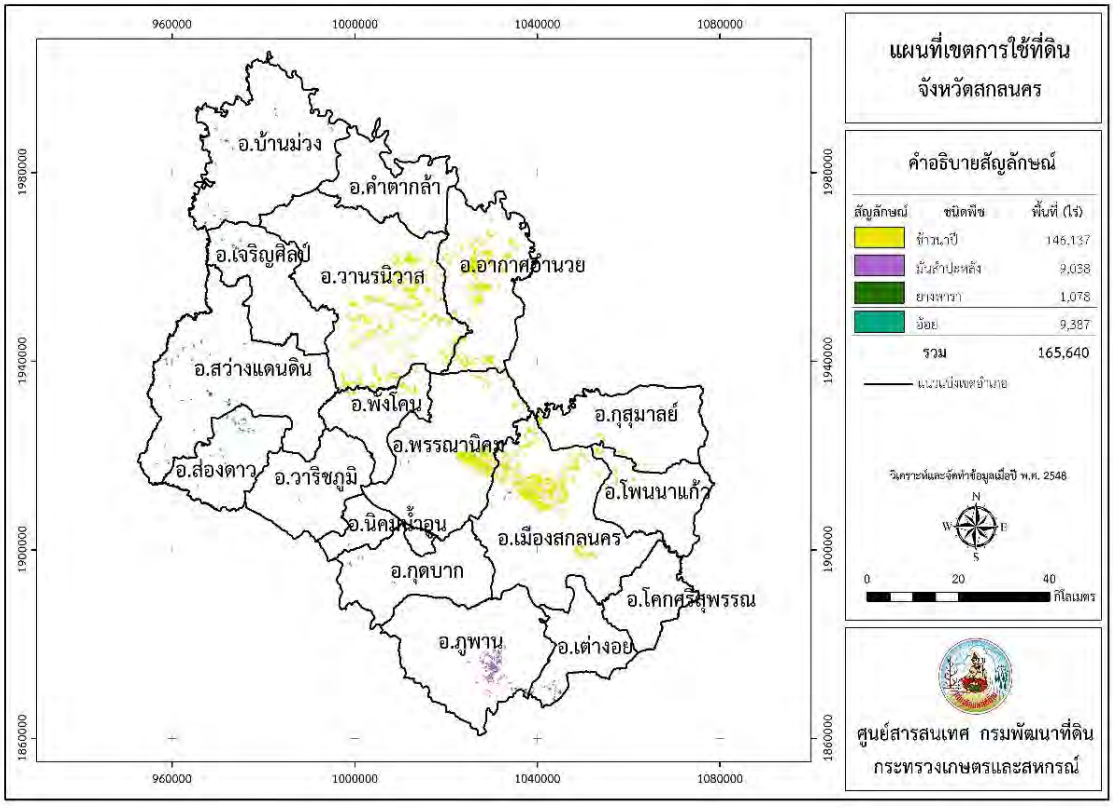


รูปที่ 2.1. แสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

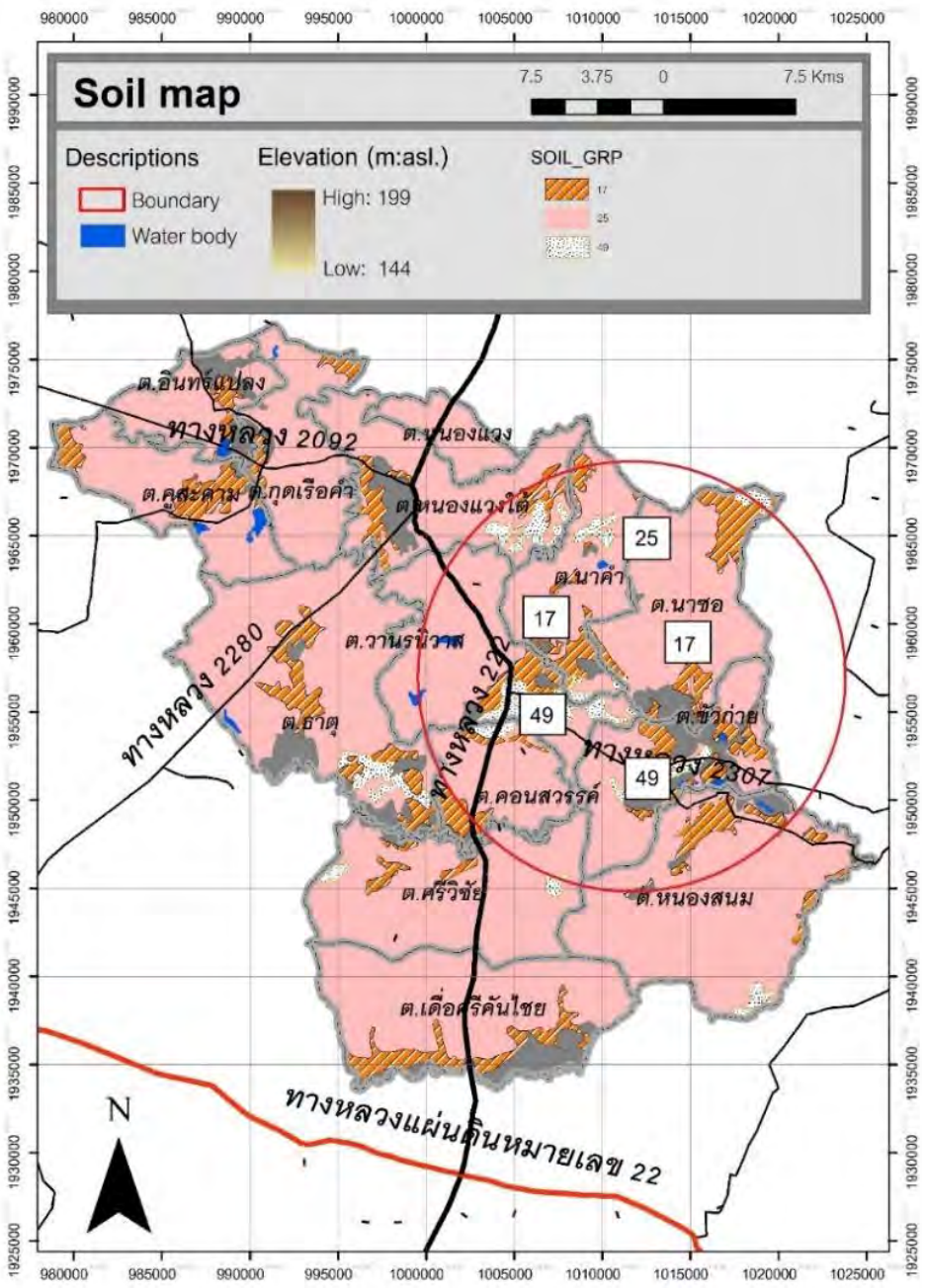
รูปที่ 2.2. แสดงแผนที่ท่องเที่ยวจังหวัดสกลนคร (http://www.novabizz.com)

พื้นที่ศึกษา	UTM ตะวันออก	UTM เหนือ	Elevation	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด
s25	372451	1957073	174	นาคำ	วานรนิวาส	สกลนคร
ลักษณะของชุดดิน	กลุ่มดินตื้น ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นด่างเล็กน้อย การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ					
Mean permeability (mm/ hr.)	น้อยกว่า 8.4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง					
Constant infill rate (mm/ hr.)	ประมาณในช่วง 0 - 1.3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง					

ตารางที่ 2.1. แสดงรายละเอียดของพื้นที่ศึกษาและรายละเอียดของชุดดิน



รูปที่ 2.3. แสดงแผนที่เขตการใช้ที่ดินของจังหวัดสกลนคร (http://r05.ldd.go.th)



รูปที่ 2.4. แสดงแผนที่ชุดดิน (Soil map) ในบริเวณอำเภอวานรนิวาส

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 รวบรวมเอกสารข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เคยมีผู้ท้าการศึกษามาแล้ว เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ, ธรณีประวัติและธรณีสัณฐานของอำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร, ปัญหาดินเค็มและวิธีการแก้ปัญหา

3.1.2. ศึกษาการออกแบบแบบจำลองและวิธีการทำการทดลอง

3.2 การคัดเลือกและเก็บตัวอย่างดิน

ดินที่ใช้ในการศึกษานี้นำมาจากพื้นที่โดยนำมาจากอำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร การพิจารณาเลือกพื้นที่ขั้นแรกจากการทำแผนที่ชุดดินโดยนำข้อมูลชุดดินของกรมพัฒนา แล้วเลือกชุดดินที่มีมากที่สุดในอำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร แล้วจึงไปทำการเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ศึกษานั้น จะมีวิธีการเก็บ 2 แบบด้วยกัน คือ

3.2.1. เก็บแบบรักษาโครงสร้าง (undisturbed) ดังรูปที่ 3.1.

3.2.2. เก็บแบบไม่รักษาโครงสร้าง (disturbed) ดังรูปที่ 3.2.

รูปที่ 3.1. แสดงการเก็บแบบรักษาโครงสร้าง (http://www.pfaerrich.de)

รูปที่ 3.2. แสดงการเก็บแบบไม่รักษาโครงสร้าง (http://lb2.cdn.spion-media.eu)

รูปที่ 3.3. แสดงการเก็บแบบรักษาโครงสร้าง

รูปที่ 3.4. แสดงการเก็บแบบไม่รักษาโครงสร้าง

รูปที่ 3.5. แสดงการเก็บแบบรักษาโครงสร้าง

รูปที่ 3.6. แสดงการเก็บแบบไม่รักษาโครงสร้าง

โดยตัวอย่างดินที่เก็บแบบรักษาโครงสร้าง จะนำมาใช้ในการหาค่าความหนาแน่นรวม ซึ่งค่านี้นั้นอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน โดยการเก็บตัวอย่างแบบรักษาโครงสร้างนี้ จะใช้กระบอกเหล็กกล้าไร้สนิมในการเก็บตัวอย่าง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.00 ซม. สูง 5.01 ซม. จะมีปริมาตรของดินประมาณ 100 ซม. ส่วนการเก็บตัวอย่างแบบไม่รักษาโครงสร้าง นั้นจะทำการกวาดพื้นผิวดินออกประมาณ 5.00 ซม. เนื่องจากบริเวณพื้นผิวดินอาจจะมีการปนเปื้อนจากการกระทำของสัตว์และมนุษย์ แล้วจึงขุดเอาตัวอย่างดินถึงความลึกประมาณ 50 ซม. โดยมีปริมาตรประมาณ 0.50 ม. จะใช้ในกรณี ที่การทดลองเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่โครงสร้างของดินนั้นไม่ส่งผลกระทบ ยกตัวอย่าง เช่น การทดลองการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นต้น

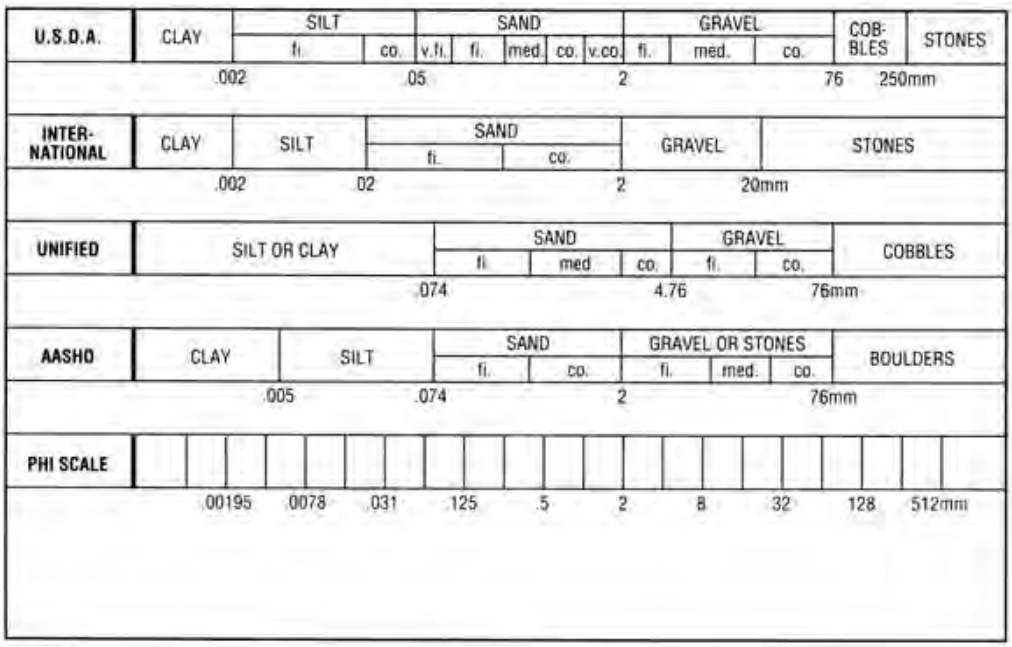
3.3 การวิเคราะห์ดิน

การกระจายของเม็ดดินและการจำแนกเนื้อดิน ได้ทำการวิเคราะห์ดินดังนี้ คือ

3.3.1 การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดิน เราสามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1. วิเคราะห์โดยใช้ตะแกรง (sieve analysis) ดังรูปที่ 3.7. เหมาะสำหรับดินเม็ดหยาบ โดยสามารถคัดแยกอนุภาคที่มีขนาด 0.05 ถึง 2 มม. และวิเคราะห์โดยการตกตะกอน (sediment analysis) ดังรูปที่ 3.8. เหมาะสำหรับดินเม็ดละเอียด โดยสามารถคัดแยกอนุภาคที่มีขนาด 0.002 ถึง 0.05 มม.เป็นตะกอนชนิด silt และอนุภาคที่เล็กกว่า 0.002 มม. เป็นตะกอนชนิด clay ซึ่งการศึกษาครั้งนี้นั้นได้ทำการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี ร่วมกัน ในการวิเคราะห์

รูปที่ 3.7. แสดงการวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรง (http://www.test-llc.com)

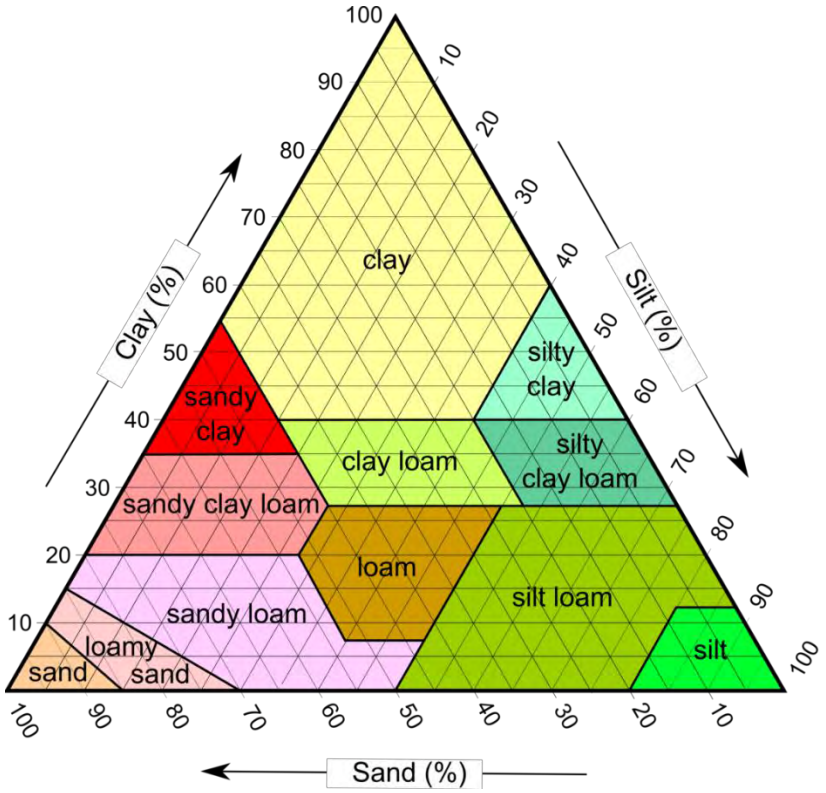
รูปที่ 3.8. แสดงการวิเคราะห์โดยการตกตะกอน



Relationships among particle size classes of 5 different systems.

ตารางที่ 3.1. แสดงความแตกต่างของการจำแนกขนาดของเม็ดดินในแต่ละระบบ (http://www.nrcs.usda.gov)

3.3.2 **การระบุเนื้อดิน** (texture) โดยการคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของอนุภาค sand, silt และ clay ของดินแล้วตรวจสอบ texture ของดินได้โดยใช้สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อดิน (Triangular texture soil classification chart) ตามระบบการจำแนกของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Agriculture, USDA) ซึ่งได้แบ่งดิ นไว้ ทั้งหมด 12 เนื้อดินได้แก่ Sand, Loamy sand, Sandy loam, Loam, Silt, Silty loam, Sandy clay loam, Clay loam, Silty clay loam, Sandy clay, Silty clay และ Clay ดังรูปที่ 3.9.



รูปที่ 3.9. สามเหลี่ยมจำแนกดินของ USDA (USDA, 1954) (http://upload.wikimedia.org)

3.4 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ท่อพีวีซี
2. กระดาษฟอยล์
3. ถุงซิปล็อค
4. ฟองน้ำ
5. กรรไกร
6. กระดาษ
7. มีดคัตเตอร์
8. ปากกาแบบเขียนติดถาวร
9. ตัวล็อคท่อพีวีซี
10. ไขควร

11. น๊อต
12. ผ้าขาวบาง
13. หนังยาง
14. ที่กรอก
15. เครื่องวัดค่า EC รุ่น HI 3512 ของ HANNA Instruments
16. เครื่องวัดความชื้น รุ่น ProCheck ของ DECAGON SERVICES
17. เครื่องชั่งดิจิตอล

รูปที่ 3.10. เครื่องชั่งดิจิตอล

รูปที่ 3.11. เครื่องวัดค่า EC

รูปที่ 3.12. เครื่องวัดความชื้น

รูปที่ 3.13. ฝาปิดแท่งดิน ฟองน้ำและไม้บรรทัด

3.4.2 การเตรียมสารละลายเกลือ

การเตรียมสารละลายเกลือ เพื่อจำลองให้เป็นแหล่งกำเนิดความเค็มที่ใต้ดิน ทำโดยการผสมเกลือแกงบริสุทธิ์ (NaCl) กับน้ำแล้วคนให้เข้ากัน แล้วจึงตรวจสอบความเค็มสารละลายเกลือให้ได้ค่า ประมาณ 180 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ซึ่งเป็นความเข้มข้นของสารละลายเกลือในระดับที่เครื่องวัดความเค็มสามารถวัดค่าได้ ถ้าสารละลายมีความเค็มมากกว่า 180 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะทำการเติมน้ำและกวนให้สารละลายมี ความเข้มข้นสม่ำเสมอ แล้วใช้เครื่องวัดความเค็มจุ่มลงเพื่อตรวจสอบความเค็มจนกระทั่งได้ค่าความเค็มตามที่ต้องการ

3.4.3 การจำลองการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือ

การจำลองการเคลื่อนที่ของสารละเกลือนั้นจะเคลื่อนที่ขึ้นด้วยแรงคาพิลลารี โดยตัวอย่างดินที่ใส่ในแท่งดินนั้นจะถูกอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80ºC แล้วนำมาบดเพื่อให้ดินเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ แล้วนำไปบรรจุลงในท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.3 เซนติเมตร โดยท่อพีวีซีจะทำการผ่าบริเวณด้านข้างของท่อทั้งสองด้านแล้วใช้เทปกาวปิดช่องว่างนั้นโดยรอบ ใช้ผ้าขาวบางปิดที่ปากของท่อพีวีซีด้านหนึ่ง จากนั้นนำฝาปิดใส่ฟองน้ำที่ตัดให้มีขนาดเดียวกับฝาท่อใส่ลงไป แล้วจึงใช้ที่ปิดฝาท่อพีวีซีปิดด้านหนึ่งของท่อที่ได้ปิดด้วยผ้าขาวบางเอาไว้ ส่วนอีกด้านเปิดเอาไว้ จากนั้นบรรจุดินลงในท่อตามระดับความสูงที่กำหนด ต่อมานำแท่งดินไปยึดกับตัวฐานที่สร้างขึ้นโดยยึดด้วยแหวนรัดท่อ 2 ถึง 3 แหวน โดยตั้งในอ่างน้ำเค็มที่มีค่า 180 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ให้ปลายด้านล่างของแท่งดินจุ่มลงไปในอ่างน้ำเค็ม และปรับค่าความเค็มให้มีค่าคงที่อยู่เสมออย่างน้อย 1 ครั้งต่อวัน โดยให้แท่งดินมีเวลาให้น้ำเค็มเคลื่อนที่ตามตารางด้านล่าง

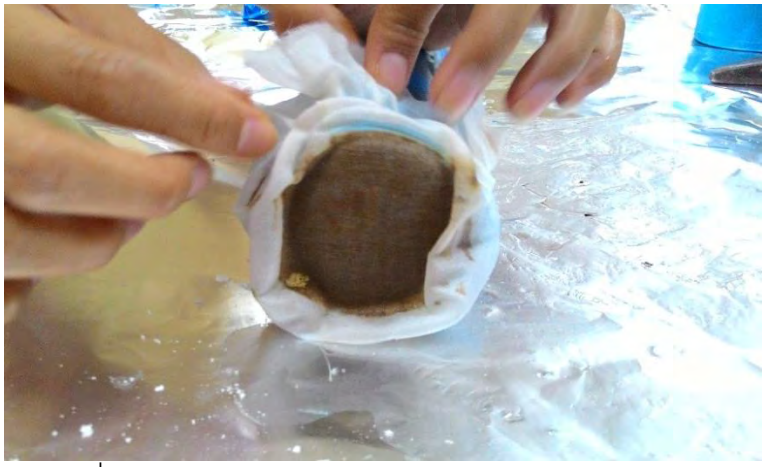
ความยาวท่อ (เมตร)	จำนวนตัวอย่าง	เวลาที่ให้น้ำเค็มเคลื่อนที่ (วัน)
0.5	5	1 3 7 14 28
1.0	3	7 14 28
1.5	2	14 56
2.0	2	56 77

ตารางที่ 3.2. แสดงความยาวท่อของแท่งดินและจำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง

3.4.4 การเก็บตัวอย่างดินจากแท่งดิน

นำแท่งดินออกมาจากอ่างน้ำเค็มวางบนโต๊ะที่ทำการทดลอง โดยจะเปิดฝาที่ปิดด้านล่างของแท่งดินออกและดึงเทปกาวที่ปิดตรงรอยต่อของท่อที่ทำการผ่าเอาไว้ แล้วทำการผ่าท่อพีวีซีออก จากนั้นทำการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นชั้น ชั้นละ 5 เซนติเมตรแล้วจึงนำไปหาวัดเพื่อตรวจสอบค่าค่าความชื้นและความเค็มของดิน

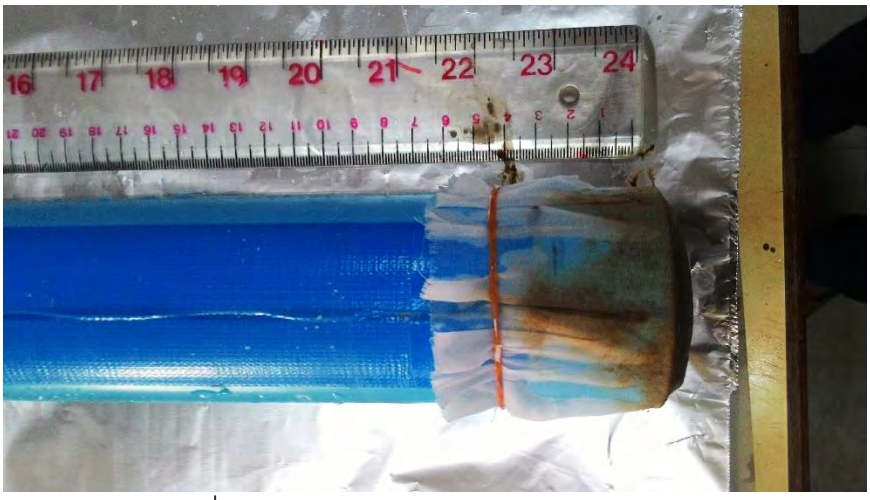
รูปที่ 3.14. แสดงการเตรียมดินที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.15. แสดงการเก็บตัวอย่างดินโดยเปิดฝาปิดท่อออก

รูปที่ 3.16. แสดงคราบเกลือที่ปรากฏให้เห็นที่ฝาปิดท่อ

รูปที่ 3.17. แสดงการเปิดฝาท่อโดยใช้ค้อนตอกเพื่อให้ฝาปิดออก



รูปที่ 3.18. แสดงการเปิดฝาท่อออกจากแท่งดิน

รูปที่ 3.19. แสดงให้เห็นระดับน้ำที่สารละลายเคลื่อนที่ไปได้ในแท่งดิน

รูปที่ 3.20. แสดงการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นช่วงละ 5 เซนติเมตร

รูปที่ 3.21. แสดงการเก็บตัวอย่างดินช่วงละ 5 เซนติเมตร

3.4.5 การวัดค่าความชื้นและความเค็มของดิน

การวัดค่าความชื้นและความเค็มของดินนั้นจะทำการแบ่งดินในแต่ละชั้น ออกเป็น 2 ส่วน เพื่อจะนำไปหาค่าเฉลี่ย

3.4.5.1 การวัดค่าความชื้น

ความชื้นของดิน คือ ปริมาณของน้ำที่อยู่ภายในดิน โดยความชื้นนั้นแบ่งออกเป็น 1. ความชื้นโดยน้ำหนัก(Soil water content by weight) 2. ความชื้นโดยปริมาตร(Soil water content by volume)

3.4.5.1.1 การหาค่าความชื้นโดยน้ำหนัก

การหาความชื้นกระทำโดยการเก็บตัวอย่างดิน จากระดับที่ต้องการหาค่าความชื้นชั้นละ 2 ตัวอย่างจากแท่งดิน โดยแต่ละชั้นมีระยะ 5 เซนติเมตร เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ย นำตัวอย่างดินมาชั่งหาน้ำหนักดินเปียก จากนั้นจะนำดินเข้าตู้อบเพื่อระเหยน้ำออกไปที่อุณหภูมิ 80°c จนกระทั่งน้ำหนักของดินมีค่าคงที่ แล้วนำออกมาชั่งหาน้ำหนักดินแห้ง โดยความชื้นของโดยน้ำหนักของดิน สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$w = \frac{M_{ws} - M_s}{M_s} = \frac{M_w}{M_s} \qquad \text{สมการที่ 3.1.}$$

เมื่อ w คือ ความชื้นโดยน้ำหนัก , M_{ws} คือ มวลของดินเมื่อดินเปียก , M_w คือ มวลของน้ำที่มีอยู่ในดิน และ M_s คือ มวลของดินแห้ง

3.4.5.1.2 การหาค่าความชื้นโดยปริมาตร

ความชื้นโดยปริมาตร(θ) หมายถึงปริมาตรน้ำที่มีอยู่ในดินต่อปริมาตรทั้งหมดของดิน โดยตัวอย่างดินที่นำมาหาค่าความชื้นโดยปริมาตรนั้น เป็นตัวอย่างดินชุดเดียวกันกับตัวอย่างดินที่ใช้หาค่าความชื้นโดยน้ำหนัก ในการหาความชื้นโดยปริมาตรสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\theta = \frac{\rho_b}{\rho_w} = \frac{M_w}{V_t} \qquad \text{สมการที่ 3.2.}$$

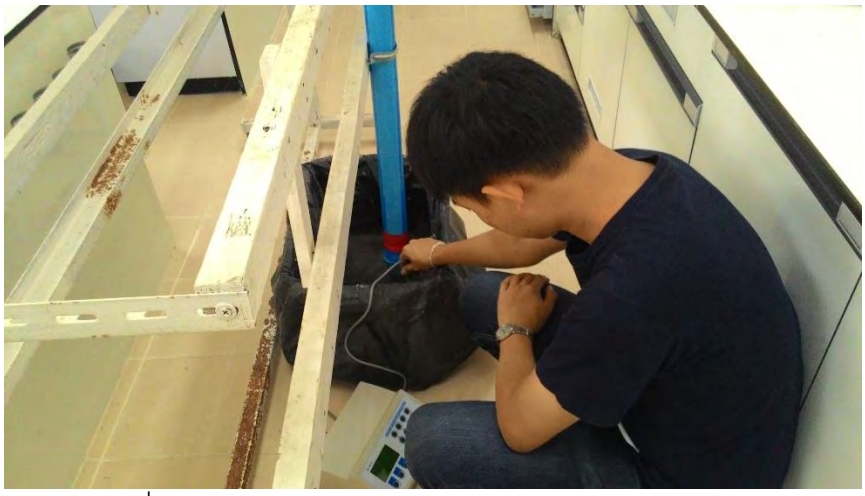
เมื่อ θ คือ ความชื้นโดยปริมาตร , ρ_b คือ ความหนาแน่นของดินรวม , ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1 $\frac{g}{cm^3}$)

3.4.5.2 **การวัดค่าความเค็ม**

การวัดและการคำนวณค่าความเค็มในดินความเค็มในดินสามารถบอกด้วยการนำค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายดินอิ่มตัว(saturated extract, EC_e) ในการศึกษานี้ ใช้วิธี $EC_{1:5}$ โดยนำตัวอย่างดินที่อบที่อุณหภูมิ 80°C จนกระทั่งน้ำหนักของดินมีค่าคงที่โดยนำมาผสมกับน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1: 5 โดยน้ำหนัก คนให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ซึ่งในการทดลองจะใช้ดิน 5 กรัม ต่อน้ำ 25 กรัม และวัดค่าความนำไฟฟ้า จะได้ค่า $EC_{1:5}$ ซึ่งสามารถแปลงเป็นค่า EC_e ได้โดยคูณด้วยค่าแฟคเตอร์ ดังตารางที่ 3.3.

Soil Texture Group	Multiplication Factors	**หมายเหตุ**
Sand	17.0	ดินเนื้อหยาบ (ใช้ 16)
Sandy loam	14.0	ดินเนื้อปานกลาง (ใช้ 14)
Loam	10.0	ดินเนื้อละเอียด (ใช้ 10)
Silt loam to clay loam	9.0	ดินเนื้อละเอียด (ใช้ 9)
Light clay	8.5	
Light medium clay	8.0	
Medium clay	7.0	
Heavy clay	6.0	

ตารางที่ 3.3. แสดงการแปลงค่าของค่า $EC_{1:5}$ เป็นค่า EC_e ของดินแต่ละชนิด (Taylor, 1993)



รูปที่ 3.22. แสดงการวัดค่า EC ในอ่างเก็บสารละลายเกลือ

รูปที่ 3.23. แสดงกระดาษฟอยล์ที่ใช้บรรจุตัวอย่างดิน

รูปที่ 3.24. แสดงการวัดค่า EC ของตัวอย่างดิน

3.4.6 การคำนวณค่า จากการทดลอง

จากการทดลองการเคลื่อนที่ขึ้นของสารละลายเกลือในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในแท่งดิน เราจะทราบปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแท่งดิน และความชื้น เมื่อเวลาที่ระยะทางต่าง ๆ เหนือระดับน้ำที่เรากำหนดขึ้น ทำให้เราสามารถทราบค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระยะต่าง ๆ ณ เวลาที่เปลี่ยนไป โดยสามารถคำนวณค่าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำสารละลายในดินที่ไม่อิ่มตัวได้ โดยใช้หลักการสมดุลน้ำ (water balance equation) หมายความว่า อัตราการไหลเข้าลบด้วยอัตราการไหลออกย่อมเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่เก็บกัก

$$Q_{in} - Q_{out} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$ สมการที่ 3.3.

$$Q_{in,n} - Q_{out,n} = \frac{(\theta_{n,t} - \theta_{n,0})A\Delta X}{\Delta t}$$ สมการที่ 3.4.

$$q_{in} = \frac{Q_{in}}{A}$$ สมการที่ 3.5.

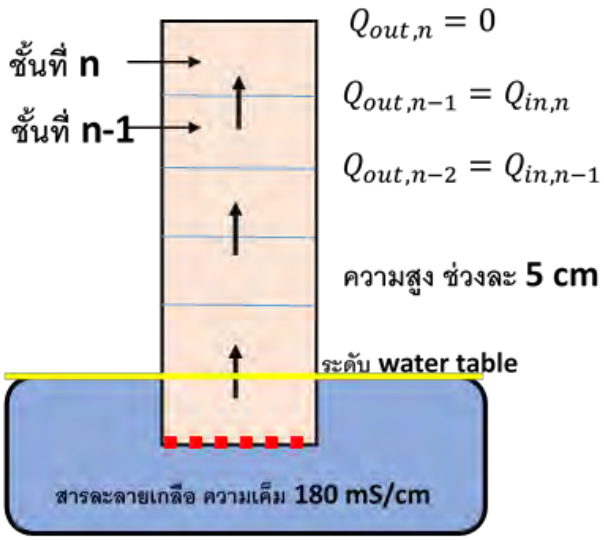
$$q_{out} = \frac{Q_{out}}{A}$$ สมการที่ 3.6.

$$\bar{q}_n = \frac{q_{in,n} + q_{out,n}}{2}$$ สมการที่ 3.7.

$$v_{in} = \frac{q_{in,n}}{\theta_v}$$ สมการที่ 3.8.

$$v_{avg,n} = \frac{v_{in,n} + v_{in,n-1}}{2}$$ สมการที่ 3.9.

เมื่อ Q_{in} คือ อัตราการไหลเข้า (Inflow), Q_{out} คือ อัตราการไหลออก (Outflow), ΔS คือ ปริมาณเก็บกักที่น้ำเปลี่ยนแปลง, Δt คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลง หรือ ช่วงเวลาที่ทดลองเป็นหน่วยวัน เช่น 1วัน 3 วัน 7 วัน 14 วัน, $\theta_{n,t}$ ความชื้นที่เวลา t, $\theta_{n,0}$ ความชื้นเริ่มต้น, $\bar{q}_n$ อัตราการไหลจำเพาะ , q_{in} อัตราการไหลเข้าแต่ละชั้น, q_{out} อัตราการไหลออกแต่ละชั้น, v_{in} ความเร็วการไหลจริง, $v_{avg,n}$ ความเร็วการไหลเฉลี่ย



รูปที่ 3.25. แสดงถึงแบบจำลองของแท่งดินและวิธีการคำนวณผลจากการทดลอง

ชั้นที่ n : กำหนดให้ที่ปลายท่อด้านบนสุดชั้นที่ n นั้นมีค่าอัตราการไหลออก มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่มีการไหลออกเกิดขึ้นในบริเวณนั้น และอัตราการไหลเข้าของชั้นที่ n จะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลออกของชั้นที่ n - 1 และปริมาณเก็บกักน้ำที่เปลี่ยนแปลงของชั้นที่ n จะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลเข้าในชั้นที่ n

ชั้นที่ n – 1 : กำหนดให้ที่ปลายท่อด้านบนสุดชั้นที่ n - 1 นั้นมีค่าอัตราการไหลออก มีค่าเท่ากับอัตราการไหลเข้าของชั้นที่ n หมายความว่าการไหลออกที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น จะไหลเข้าไปในชั้นที่ n ซึ่งอยู่บริเวณด้านบนของชั้นที่ n - 1 และอัตราการไหลเข้าของชั้นที่ n – 1 จะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลออกของชั้นที่ n – 2 ตามลำดับ และปริมาณเก็บกักน้ำที่เปลี่ยนแปลงของชั้นที่ n – 1 จะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลเข้าในชั้นที่ n บวกกับอัตราการไหลข้าวของชั้นที่ n -1

ชั้นที่ n -2 **และในชั้นต่อ ๆ ไป** : ค่าของอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกมีลักษณะการคิดแบบเดียวกับชั้นที่ n -1 แต่ปริมาณกักเก็บน้ำที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นค่าผลบวกของอัตราการไหลเข้าชั้นที่อยู่ด้านบนสุดถึงชั้นที่ทำการคำนวณ

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ในพื้นที่ ตำบลนาคำ อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร มีลักษณะเนื้อดิน คือ ดินที่มีเนื้อละเอียด

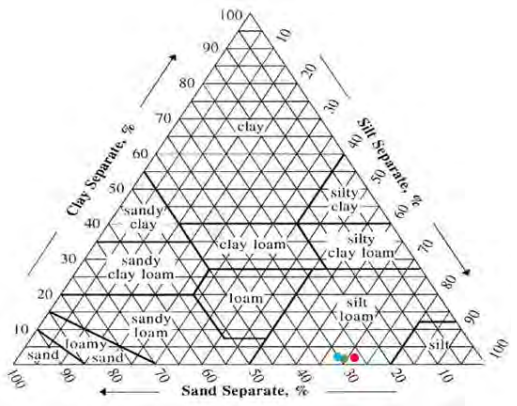
ดินในพื้นที่ตำบลนาคำ อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร ตัวอย่างดินในพื้นที่ (S25) เป็นดินในบริเวณที่ลาดมีการเพาะปลูก โดยเก็บตัวอย่างดินที่ช่วงความลึก 5 – 105 ซม. มีร้อยละของ Sand: Silt: Clay เป็น 27.79% 0.63% 71.58% เป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam) และมีความหนาแน่นรวม 1.4813 g/cm^3 โดยแสดงค่าความหนาแน่นรวมดังตารางที่ 4.1. และแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 4.2.

ระดับความลึก	ค่าความหนาแน่นรวม (g/cm^3)
15	1.3176
25	1.5497
50	1.4711
75	1.6009
100	1.1289
Mix soil	1.4813

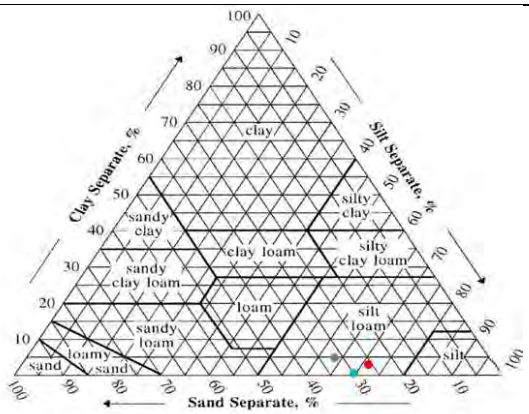
ตารางที่ 4.1. แสดงค่าความหนาแน่นรวม

Sample	อนุภาคดิน			เนื้อดิน	กลุ่มดิน	ความหนาแน่นรวม ($^{g}/_{cm^3}$)	ความลึกของตัวอย่างดิน (cm)
	%sand	%silt	%clay				
25_1	26.64	1.63	71.74	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.3176	25
25_2	29.01	1.39	69.60	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.3176	25
25_3	30.07	2.11	67.82	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.3176	25
50_1	25.63	2.90	71.47	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.5497	50
50_2	31.86	4.63	63.52	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.5497	50
50_3	29.91	0.50	69.59	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.5497	50
75_1	32.69	0.68	66.63	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.4711	75
75_2	31.66	0.63	67.71	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.4711	75
75_3	28.49	0.68	70.83	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.4711	75
100_1	26.56	0.80	72.64	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.6009	100
100_2	26.30	0.82	72.88	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.6009	100
100_3	28.03	0.82	71.15	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.6009	100
mix_1	27.43	0.64	71.94	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.1289	mix
mix_2	28.29	0.65	71.06	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.1289	mix
mix_3	27.64	0.61	71.75	Silt loam	เนื้อปานกลาง	1.1289	mix

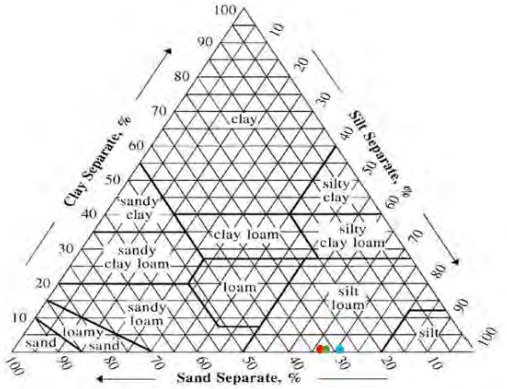
ตารางที่ 4.2. แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ในการศึกษา



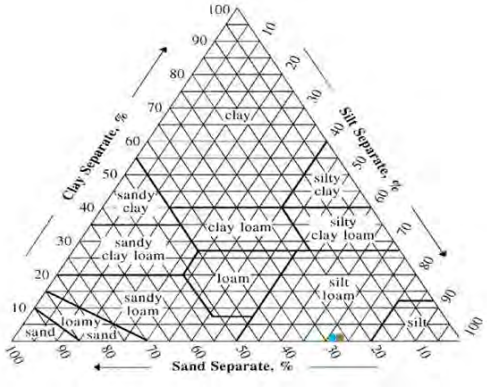
S25 ที่ความลึก 25 เซนติเมตร



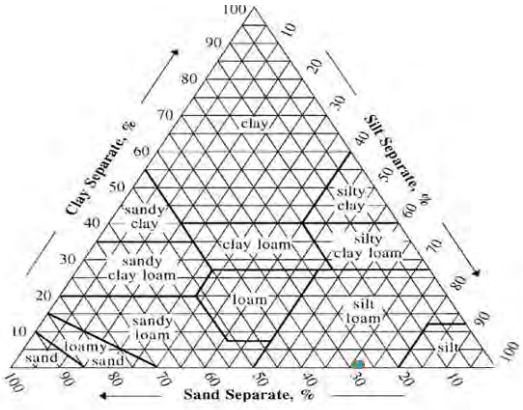
S25 ที่ความลึก 50 เซนติเมตร



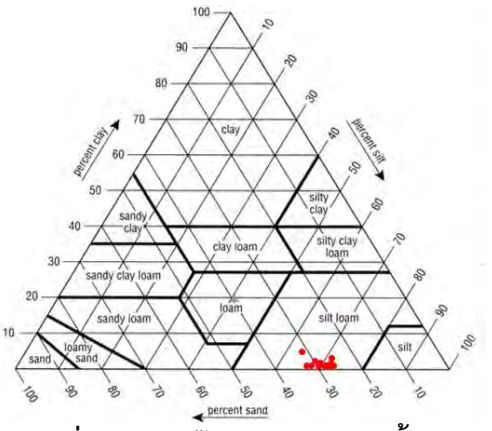
S25 ที่ความลึก 75 เซนติเมตร



S25 ที่ความลึก 100 เซนติเมตร



S25 ที่การผสมดินทุกความลึก



S25 ที่ทำการพล๊อตค่าตัวอย่างทั้งหมด

ตารางที่ 4.3. ส่วนประกอบของ Sand: Silt: Clay ของดิน S25

4.2 ผลการศึกษาจากการทดลองเชิงกายภาพ

4.2.1 ผลการทดลองการเตรียมสารละลายเกลือ

ให้ความเค็มมีค่าเท่ากับ 180 mS/cm โดยได้ทำการเตรียมความเข้มข้นของสารละลายเกลือในความเข้นข้มต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.4. และแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้น ค่า EC และ %NaCl ของดินที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 4.5.

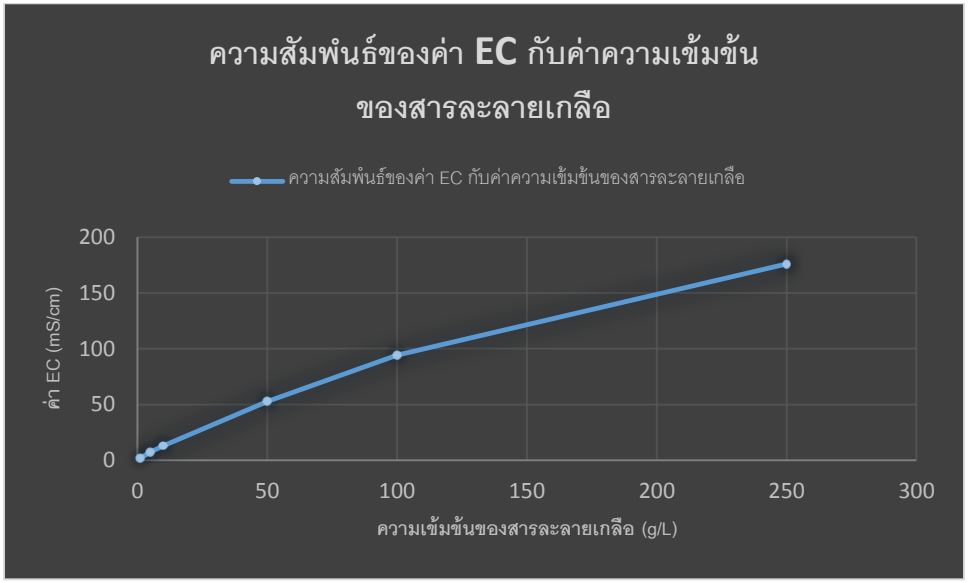
ความเข้มข้น (g/L)	ปริมาตร (ml)	ความเข้นข้นที่เจือจาง
1	50	5 ml of 10 g/L
5	50	25 ml of 10 g/L
10	100	10 ml of 100 g/L
50	50	25 ml of 100 g/L
100	100	เตรียมความเข้มข้นนี้เพื่อใช้เจือจาง
250	4	

ตารางที่ 4.4. แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ในการศึกษา

ความเข้มข้น (g/L)	EC (mS/cm)	NaCl (%)
1	1.717	3.500
5	7.188	14.800
10	13.137	26.967
50	52.737	108.433
100	94.327	193.933
250	175.933	362.267

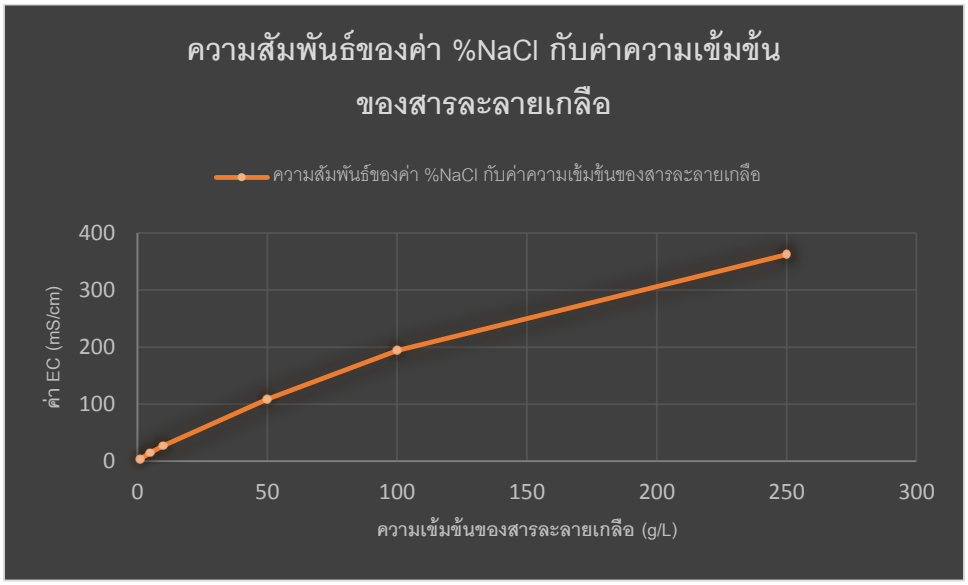
ตารางที่ 4.5. แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้น ค่า EC และ %NaCl ของดินที่ใช้ในการศึกษา

4.2.1.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายเกลือ กับค่า EC ที่ได้จากการเตรียมสารละลายเกลือ



รูปที่ 4.1. แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่า EC กับค่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือ

4.2.1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของารละลายเกลือกับ ค่า EC ที่ได้จากการเตรียมสารละลายเกลือ



รูปที่ 4.2. แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่า %NaCl กับค่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือ

4.2.2 ผลการทดลองจากการจำลองการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือ

ในการทดลองครั้งนี้ การทดสอบอยู่ในสภาวะที่ความชื้นเริ่มต้นค่อนข้างต่ำ โดยใช้ดินที่ได้จากสนามตากและอบให้แห้ง ก่อนที่จะนำมาใส่ในแท่งดิน ซึ่งความชื้นนี้ได้จากการวัดก่อนที่จะใส่ลงในแท่งดิน โดยดินของพื้นที่ศึกษา S25 มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 0.0716 $^{cm^3}/_{cm^3}$ และความเค็มเริ่มต้นประมาณ 0.0757 mS/cm ทั้งชุดการทดลองใช้ความเค็มเริ่มต้นของสารละลายเกลือเท่ากันคือ 180 mS/cm ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของแต่ละแท่งดินของดินจากพื้นที่ศึกษามีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.6.

ตัวอย่าง	**ความชื้นเริ่มต้น**(EC) $(^{cm^3}/_{cm^3})$
น้ำกลั่น	0.0017
ดินที่ความลึก 25 เซนติเมตร	0.0374
ดินที่ความลึก 50 เซนติเมตร	0.0597
ดินที่ความลึก 75 เซนติเมตร	0.0715
ดินที่ความลึก 100 เซนติเมตร	0.0594
Mix soil	0.0757

ตารางที่ 4.6. แสดงค่าความชื้นเริ่มต้นของดินที่ใช้ในการศึกษา

จากการทดลองวัดความชื้นและความเค็มที่ทุกๆระยะ 5 เซนติเมตร จากระดับน้ำของสารละลายที่ควบคุมในอ่างที่เวลา 1 วัน 3 วัน 7 วัน 14 วัน 28 วัน 56 วัน และ 77 วัน ในดินในพื้นที่ตำบลนาคำ อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร ข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก

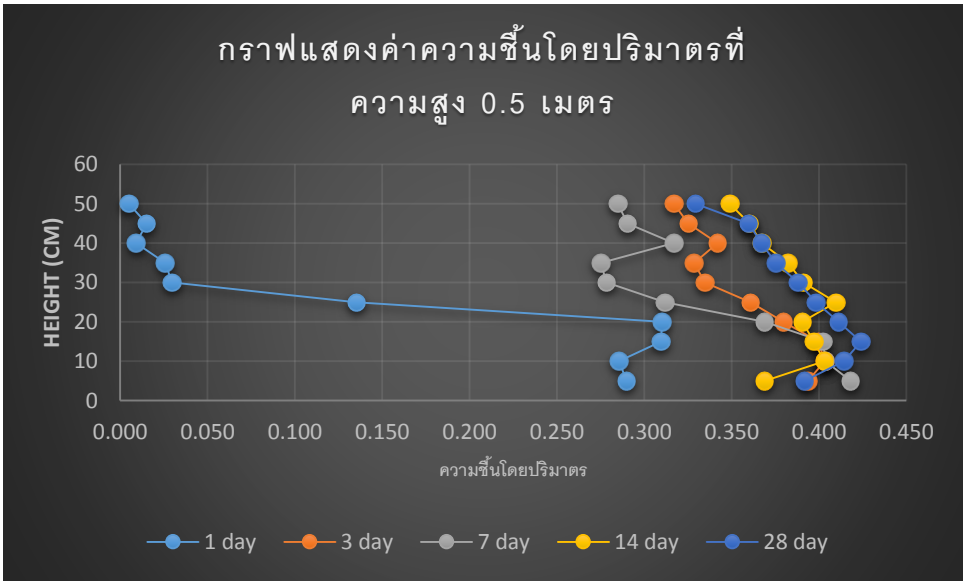
ค่าความสูงของระดับน้ำที่ปรากฏในแท่งดินนั้น มีความแตกต่างกันในแต่ละแท่งดิน ดังตารางที่ 4.7.

ความสูงของแท่งดิน (เซนติเมตร)	จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง (วัน)	ความสูงของระดับน้ำเมื่อวัดจากปลายท่อด้านล่าง (เซนติเมตร)
50	1	20.50
50	3	37.80
50	7	50.00
50	14	50.00
50	28	50.00
100	7	56.30
100	14	71.00
100	28	88.50
150	14	75.00
150	56	103.00
200	56	105.50
200	77	117.50

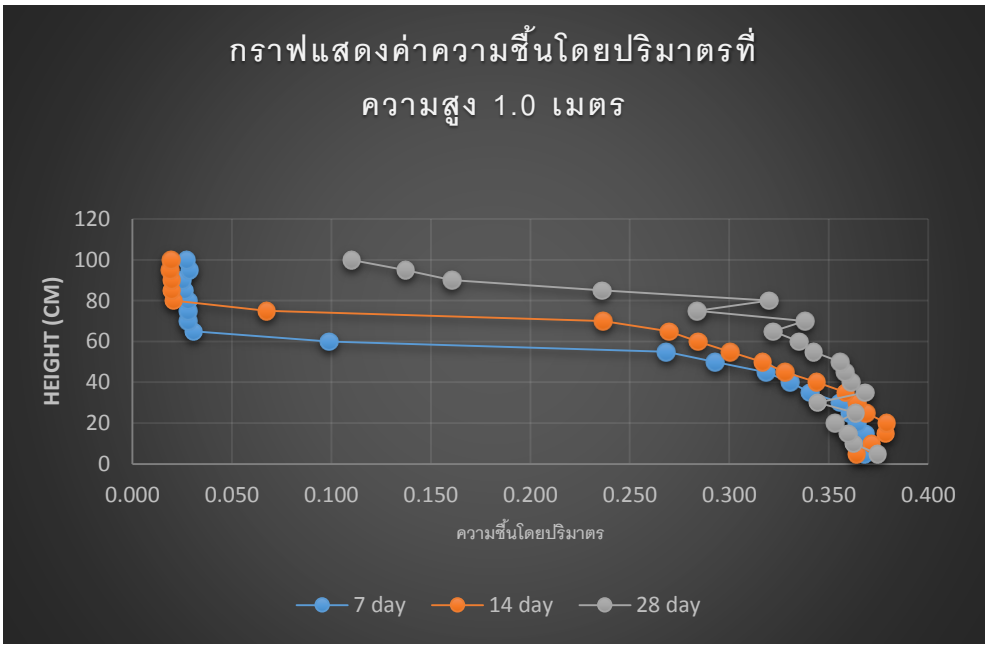
ตารางที่ 4.7. แสดงถึงระดับน้ำที่วัดจากปลายท่อด้านล่างในแท่งดินที่ความสูงต่าง ๆ

ค่าความชื้นและความเค็มที่ระยะทางและเวลาต่าง ๆ ของตัวอย่างดิน S25 นั้นสามารถแสดงเป็นกราฟด้านล่างตามลำดับ โดยกราฟแสดงค่าของความชื้นโดยปริมาตรจะแสดงในรูปที่ 4.3. – 4.6. และกราฟแสดงค่าของ EC จะแสดงในรูปที่ 4.7. – 4.10.

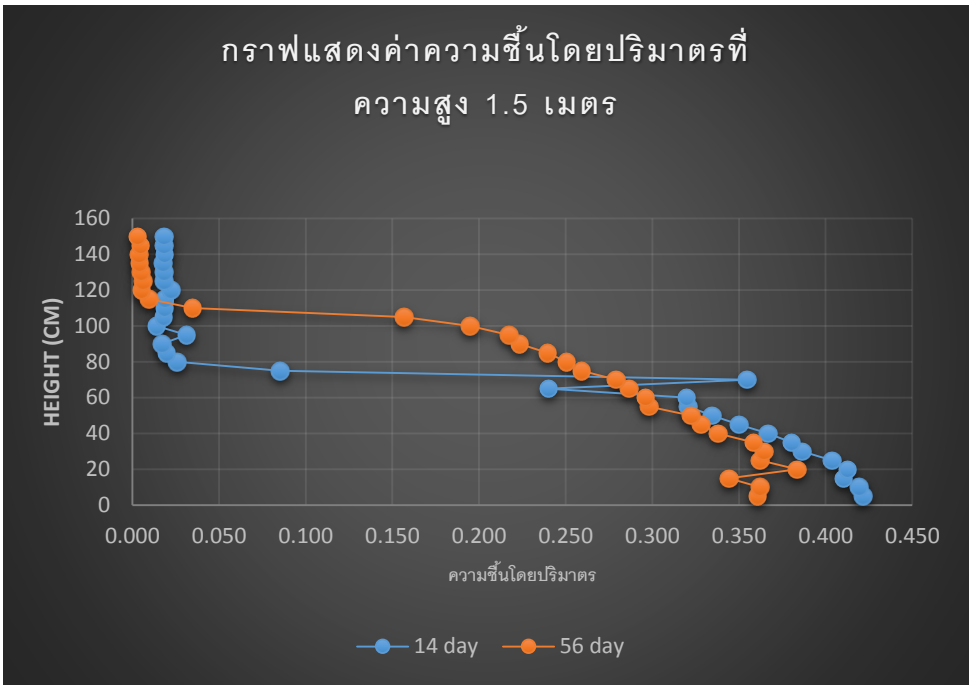
4.2.2.1 กราฟแสดงค่าของความชื้นโดยปริมาตร ที่ได้จากการทดลองในแท่งดิน



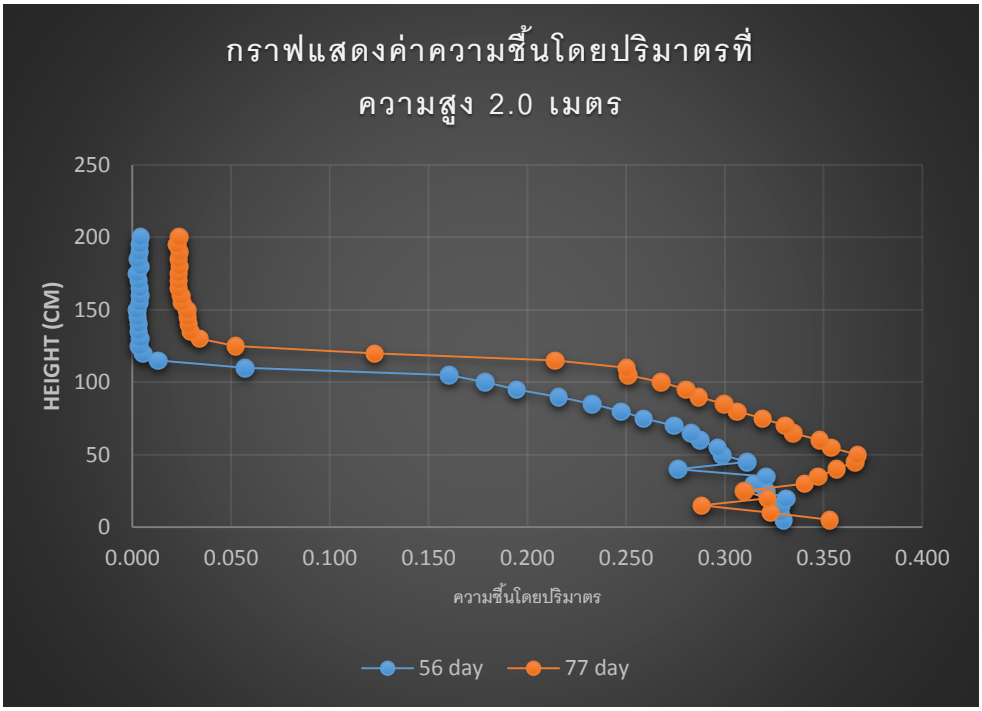
รูปที่ 4.3. แสดงค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 0.5 เมตร



รูปที่ 4.4. แสดงค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 1.0 เมตร

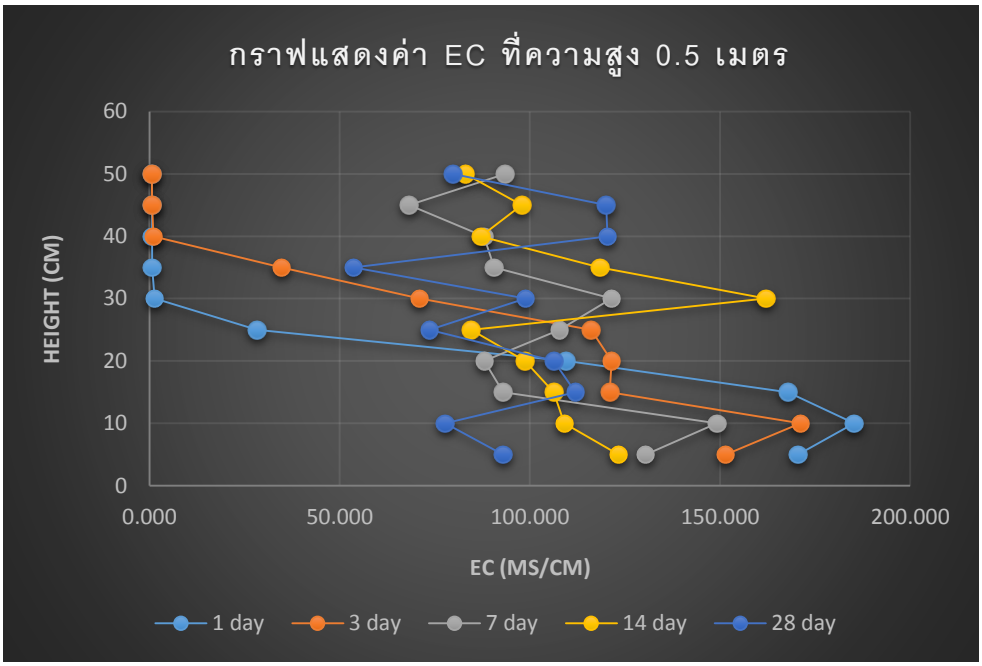


รูปที่ 4.5. แสดงค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 1.5 เมตร

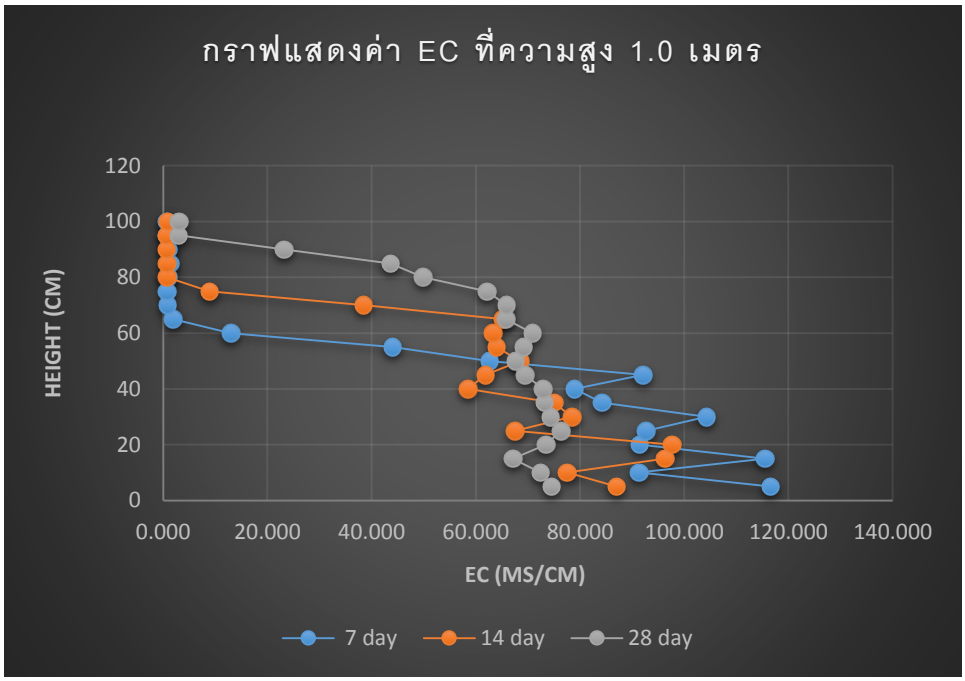


รูปที่ 4.6. แสดงค่าความชื้นโดยปริมาตรของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 2.0 เมตร

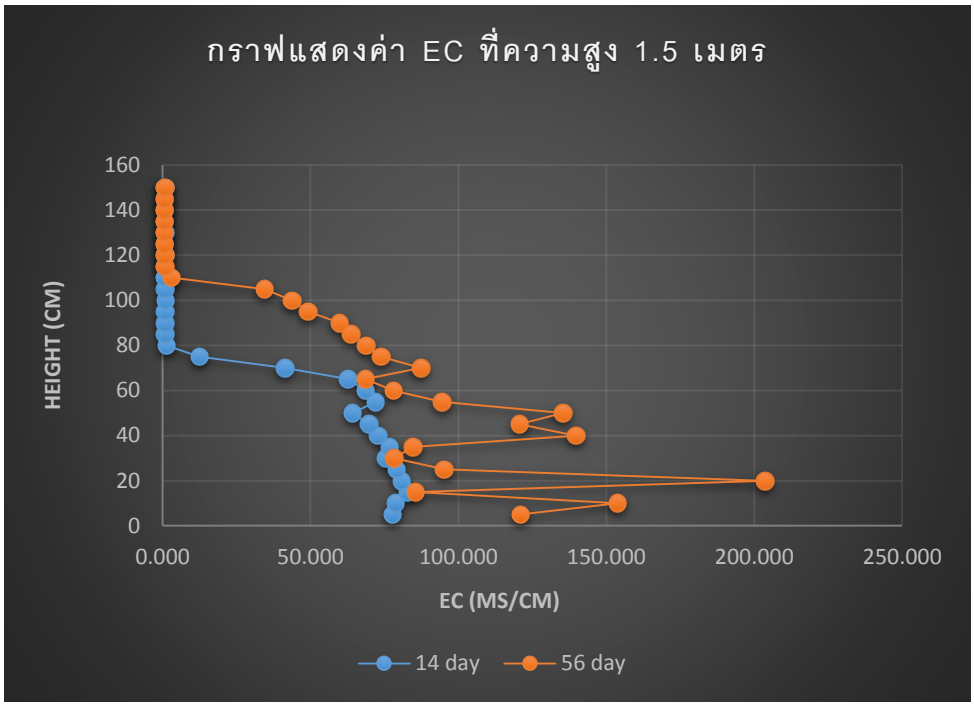
4.2.2.2 กราฟแสดงค่าของ EC ที่ได้จากการทดลองในแท่งดิน



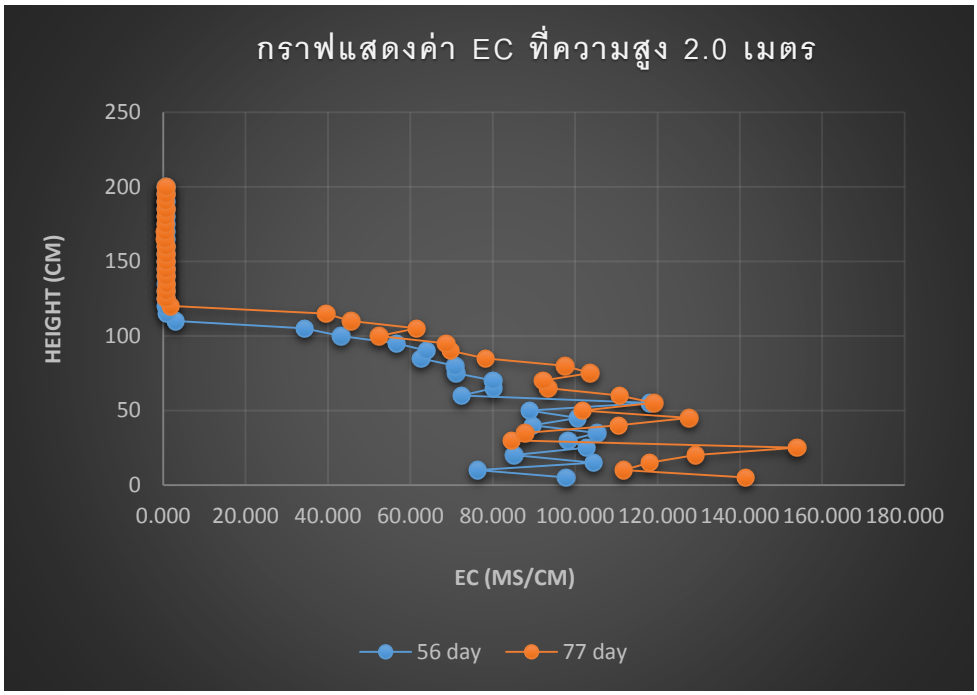
รูปที่ 4.7. แสดงค่า EC ของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 0.5 เมตร



รูปที่ 4.8. แสดงค่า EC ของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 1.0 เมตร



รูปที่ 4.9. แสดงค่า EC ของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 1.5 เมตร

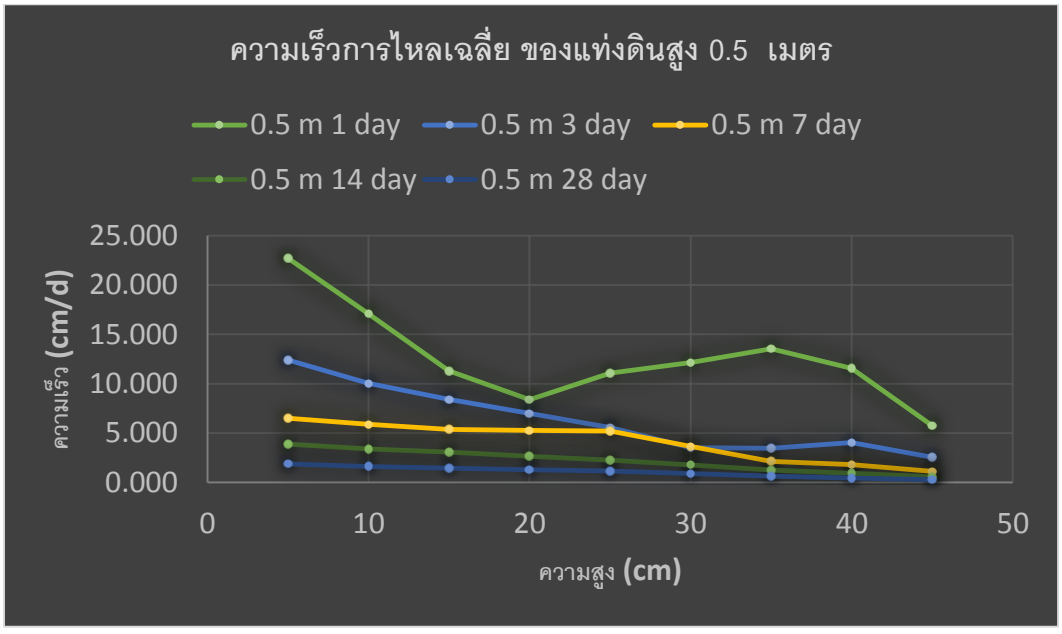


รูปที่ 4.10. แสดงค่า EC ของดินในแท่งดิน ที่ความสูง 2.0 เมตร

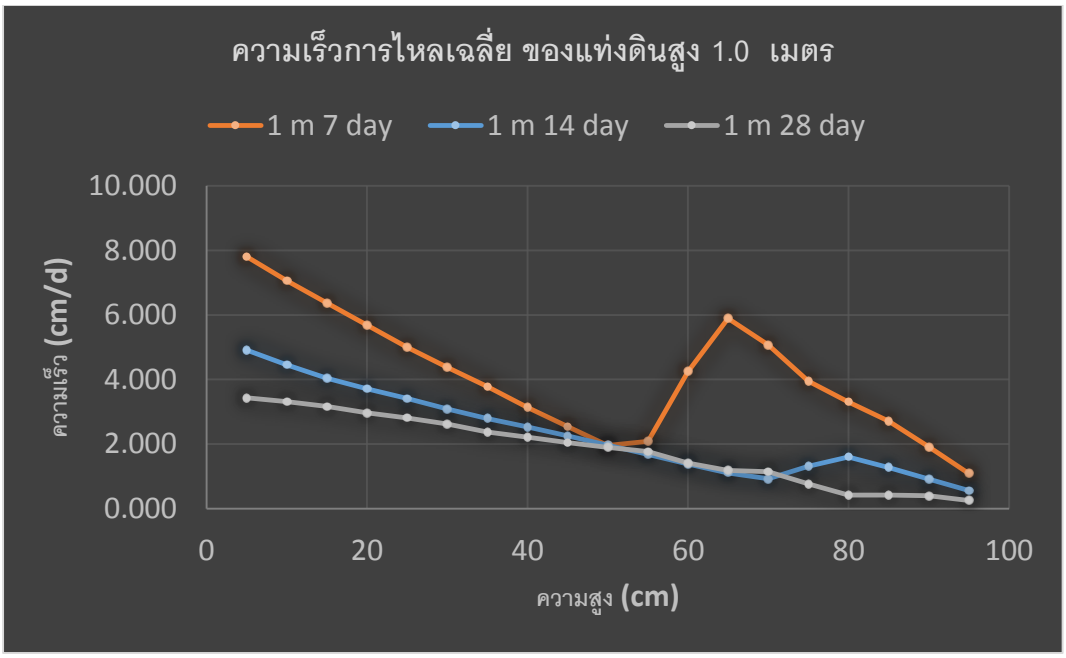
4.2.3 ผลการทดลองจากการคำนวณโดยใช้หลักสมดุลน้ำ

จากการทดลองการเคลื่อนที่ขึ้นของสารละลายเกลือในแท่งดิน สามารถรู้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแท่งดิน และความชื้น เมื่อเวลาที่ระยะทางต่าง ๆ เหนือระดับน้ำ ทำให้เราสามารถทราบความชื้นที่เปลี่ยนแปลงที่ระยะต่าง ๆ ณ เวลาที่เปลี่ยนไป จึงสามารถคำนวณค่าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำสารละลายในดินที่ไม่อิ่มตัวได้ โดยใช้หลักการสมดุลน้ำ (water balance equation) ซึ่งคิดจากอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกต่อพื้นที่หน้าตัดของแท่งดิน แล้วนำมาเปรียบเทียบ กับค่าความแตกต่างระหว่างความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับความชื้นเริ่มต้นจะได้ผลการคำนวณเป็นความเร็วการไหลจริงและความเร็วการไหลเฉลี่ย โดยจะแสดงผลในรูปของกราฟของความเร็วการไหลเฉลี่ย โดยแสดงดังรูปที่ 4.11. – 4.14.

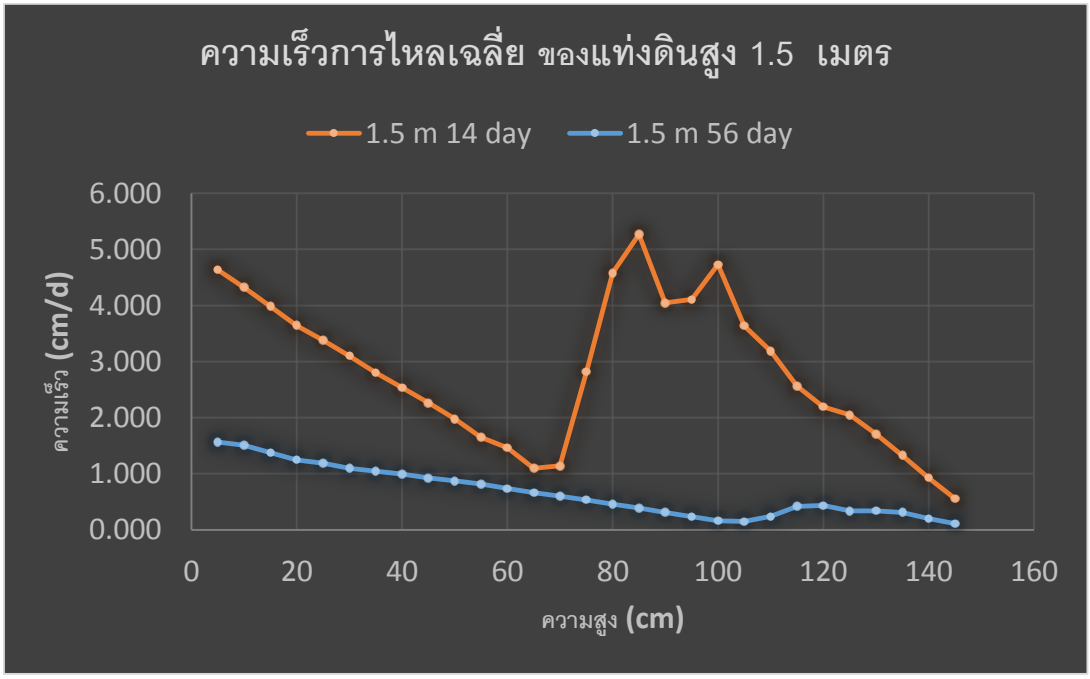
4.2.3.1 กราฟแสดงค่าของความชื้นโดยปริมาตร ที่ได้จากการทดลองในแท่งดิน



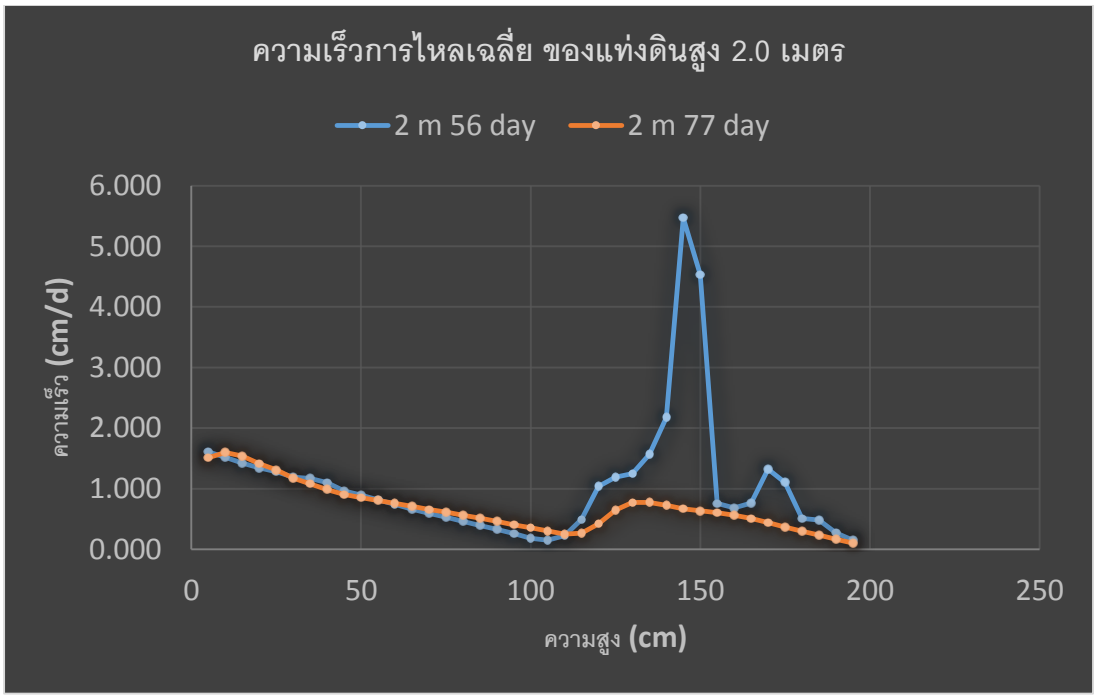
รูปที่ 4.11. แสดงค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในแท่งดิน ที่ความสูง 0.5 เมตร



รูปที่ 4.12. แสดงค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในแท่งดิน ที่ความสูง 1.0 เมตร



รูปที่ 4.13. แสดงค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในแท่งดิน ที่ความสูง 1.5 เมตร



รูปที่ 4.14. แสดงค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยในแท่งดิน ที่ความสูง 2.0 เมตร

จากกราฟของความเร็วการไหลเฉลี่ยพบว่า มีความผิดพลาดของกราฟเนื่องมาจาก ระดับน้ำในแท่งดินเมื่อวัดจากปลายท่อด้านล่างที่ แสดงในตารางที่ 4.7. ไม่ขึ้นไปถึงปลายท่อด้านบน ทำให้การคำนวณมีความผิดพลาด เนื่องจากเราได้ทำการกำหนดว่า อัตราการไหลออกที่ปลายท่อด้านบนสุดในชั้นที่ n มีค่าเท่ากับศูนย์ ในทุกแท่งดิน แต่ในความเป็นจริงแล้วน้ำในแต่ละแท่งดินไม่ได้ไปถึงที่ปลายท่อด้านบนทุกแท่งดิน ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวนั้น ทำให้เกิดความผิดพลาด เพราะค่าความเร็วการไหลเฉลี่ยนั้นคำนวณดังสมการที่ 3.4. 3.5. 3.8. และสมการที่ 3.9. โดยมาจากค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในแท่งดินที่ได้มาจากการวัดค่าจากการทดลอง กับค่าอัตราการไหลเข้าในแต่ละชั้นที่เป็นค่าที่มาจากการคำนวณ ส่งผลทำให้กราฟความเร็วการไหลเฉลี่ยนั้นมีจุดที่ผิดพลาดเกิดขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

เขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated) เป็นส่วนสำคัญในวัฏจักรของน้ำ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เขตอิ่มอากาศ (aeration zone) โดยเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำนี้จะอยู่เหนือเส้นระดับน้ำบาดาล ซึ่งในบริเวณนี้จะมีความสำคัญต่อดินที่อยู่บริเวณพื้นผิว และใต้ผิวดินลงไปเหนือเส้นระดับน้ำบาดาล ซึ่งหากมีสารละลายเกลือเคลื่อนที่ในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว จะส่งผลต่อดินโดยจะทำให้ดินมีค่าความเค็มที่สูงมากขึ้น ซึ่งอาจจะก่อปัญหาแก่ภาคเกษตรกรรมและสิ่งแวดล้อมได้ จึงได้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาเกี่ยวกับเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated)

การศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัวของตัวอย่างดิน S25 โดยการทดลองให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นของสารละลายเกลือด้วยแรงคาพิลลารี โดยค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัวจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันของความชื้นในดิน โดยได้เลือกพื้นที่ดินเค็ม คือ บริเวณตำบลนาคำ อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร มีลักษณะเนื้อดิน คือ ดินที่มีเนื้อปานกลาง ชนิดดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) โดยจัดอยู่ในชุดดินที่ 25 จัดจำแนกโดย สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ โดยมีลักษณะเด่น คือ เป็นกลุ่มดินตื้น ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นด่างเล็กน้อย การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ค่าความชื้นโดยปริมาตร

ค่าความชื้นโดยปริมาตร นั้นมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ที่มากขึ้น (จำนวนวันที่กำหนดในการทดลอง) เนื่องจากแรงดึงน้ำในดิน (soil tension) ที่ดึงสารละลายเกลือให้เคลื่อนที่ขึ้นไปนั้น มีค่าลดลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและน้ำหนักของน้ำในดินที่กดทับของตัวแท่งดิน โดยค่าของความชื้นนั้นมาจากการเคลื่อนที่ ของสารละลายเกลือโดยเป็นแรงแคพิลลารี

5.1.2 ค่าความเค็ม

ค่าความเค็ม นั้นมีค่าลดลงเมื่อมีระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ที่มากขึ้น (จำนวนวันที่กำหนดในการทดลอง) เช่นเดียวกับค่าความชื้น โดยสารละลายเกลือจะสามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อมีความชื้น เนื่องจากความชื้นในดินนั้นจะมีปริมาณของน้ำในช่องว่างในดินอยู่ ซึ่งที่ให้สารละลายเกลือจะเคลื่อนที่จากดินที่มีความชื้นมากเข้าสู่ดินที่มีความชื้นน้อยกว่า

5.1.3 ค่าผลการทดลองจากการใช้หลักสมดุลน้ำ

ในแท่งดินเดียวกันนั้น ค่าความเร็วการไหลนั้นจะมีค่าลดลง โดยที่ปลายท่อด้านที่จุ่มลงในอ่างสารละลายเกลือนั้นจะมีค่ามากที่สุด และมีค่าน้อยที่สุดที่ปลายท่อด้านบน และเมื่อเปรียบเทียบในแท่งดินที่มีความยาวท่อแตกต่างกัน แต่ใช้ระยะเวลาในการแช่อ่างสารละลายเกลือที่เท่ากัน (จำนวนวันที่กำหนดในการทดลอง) ค่าความเร็วจะมีค่าใกล้เคียงกันในจุดที่สนใจเดียวกัน แต่จะมีค่าผิดพลาด เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแท่งดินที่ระดับน้ำถึงปลายท่อด้านบนกับแท่งดินที่ระดับไม่ถึงปลายท่อด้านบน เนื่องจากความชื้นในแท่งดิน มีผลต่อค่าความเร็วการไหล ซึ่งทำให้มีค่าความเร็วการไหลของทั้งสองแท่งดินมีความแตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการทดลองแท่งดิน ด้วยชุดดินอื่นที่มีในบริเวณพื้นที่ศึกษาด้วย เพื่อจะได้เห็นภาพรวมของทั้งอำเภออย่างแท้จริง

5.2.2 ควรนำข้อมูลปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความเร็วการไหลของสารละลายเกลือ มาคิดด้วย เช่น ปริมาณน้ำฝน การใช้พื้นที่ การเพาะปลูก ชลประทาน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, สุพรรณี ปลัดศรีช่วย. 2549. การประเมินสถานภาพพื้นผิวเพื่อแสดงศักยภาพความเป็นเกลือของดิน ในที่ราบสูงโคราช ด้วยข้อมูลจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ , การประชุมทางวิชาการ “สิ่งแวดล้อมนเรศวร” ครั้งที่ 4 สาขาทรัพยากรธรรมชาติ

เพิ่มพูน เจิมสวัสดิพงษ์. 2527. ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. ขอนแก่น: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เพียงตา สาตรักษ์, สุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์, วินิจ ยังมี. 2548. ขอบเขตและวิวัฒนาการของเกลือหินใต้ผิวดินในหมวดหินมหาสารคามในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, วารสารวิจัย มข. 10 (1): ม.ค. - มี.ค. 2548

เพียงตา สาตรักษ์, สุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์, วินิจ ยังมี. 2549. ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นบาดาล เค็ม และโพรงใต้ผิวดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย, วารสารวิจัย มข. 11 (1): ม.ค. - มี.ค. 2549

วิชัย ศรีบุญลือ. 2546. การจำลองการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศุภสิทธิ์ คนใหญ่, วิชัย ศรีบุญลือ, วิทยา ตรีโลเกศ. 2550. การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายและค่าตัวประกอบความหน่วงในพื้นที่ดินเค็ม, วารสารวิจัย มข. 12 (2): เม.ย. - มิ.ย. 2550

สมศรี อรณินท์. 2539. ดินเค็มในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. มหัศจรรย์พันธุ์ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ

Konyai, S., Sriboonlue, V., and Trelo-ges, V., 2007. Determination of Diffusion-Dispersion coefficient and Retardation Factor in Saline Soils, KKU Res J 12, Thailand, 147-156

Kanzari, S., Hachich, M., Bouhlila, R., and Battle-Sales, J., 2011. Characterization and modeling of water movement and salts transfer in a semi-arid region of Tunisia (Bou Hajla, Kairouan) – Salinization risk of soils and aquifers, Computers and Electronics in Agriculture 86 (2012), 34-42

Promkotra, 2008. Hydrochemical Characteristic of Brines and Bitterns in the Northeast, Thailand. KKU Sci. J.36(Supplement)(2008), 137-145

Rahman, M.M., Hagare, D., and Dillon, P., 2013. Modelling salt accumulation in an oval irrigated with recycled water. 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia, 2730-2736

Shouse, P.J., Ayars, J.E., and Simunek, J., 2011. Simulating root water uptake from a shallow saline groundwater resource. Agriculture Water management 98(2011), 784-790

ภาคผนวก

แท่งดิน ความสูง 0.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 1 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean EC	SD	NaCl (%)			Mean NaCl	ความชื้น (m3/m3)			Mean ความชื้น
5	18.940	18.930	18.950	170.460	18.940	0.0100	38.900	38.900	38.900	38.900	0.418	0.406	0.444	0.423
10	20.640	20.480	20.630	185.250	20.583	0.0896	42.400	42.500	42.400	42.433	0.422	0.407	0.309	0.379
15	18.670	18.650	18.630	167.850	18.650	0.0200	38.300	38.400	38.300	0.353	0.314	0.360	0.385	0.353
20	12.170	12.160	12.190	109.560	12.173	0.0153	25.000	25.100	25.000	0.303	0.372	0.221	0.315	0.303
25	3.137	3.138	3.140	28.245	3.138	0.0015	6.500	6.500	6.500	0.022	-0.019	0.009	0.075	0.022
30	0.154	0.154	0.154	1.384	0.154	0.0001	0.300	0.300	0.300	-0.054	-0.040	-0.057	-0.065	-0.054
35	0.081	0.080	0.080	0.724	0.080	0.0003	0.200	0.200	0.200	-0.076	-0.079	-0.067	-0.081	-0.076
40	0.073	0.073	0.074	0.660	0.073	0.0004	0.200	0.200	0.200	-0.072	-0.069	-0.074	-0.073	-0.072
45	0.076	0.076	0.076	0.683	0.076	0.0001	0.200	0.200	0.200	-0.068	-0.074	-0.070	-0.061	-0.068
50	0.070	0.070	0.070	0.632	0.070	0.0001	0.100	0.100	0.100	-0.083	-0.065	-0.092	-0.093	-0.083

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	159.692	126.729	32.963	0.290	0.0020	114.51	1	7.242	5.747	6.495	25.158	
10	126.729	94.267	32.462	0.285	0.0020	114.51	1	5.747	4.275	5.011	20.273	22.715
15	94.267	59.054	35.213	0.310	0.0020	114.51	1	4.275	2.678	3.477	13.902	17.087
20	59.054	23.759	35.295	0.310	0.0020	114.51	1	2.678	1.077	1.878	8.689	11.295
25	23.759	8.523	15.236	0.135	0.0020	114.51	1	1.077	0.386	0.732	8.098	8.393
30	8.523	5.367	3.156	0.030	0.0020	114.51	1	0.386	0.243	0.315	14.023	11.060
35	5.367	2.647	2.720	0.026	0.0020	114.51	1	0.243	0.120	0.182	10.247	12.135
40	2.647	1.831	0.816	0.009	0.0020	114.51	1	0.120	0.083	0.102	16.840	13.544
45	1.831	0.323	1.508	0.015	0.0020	114.51	1	0.083	0.015	0.049	6.305	11.573
50	0.323	0	0.323	0.005	0.0020	114.51	1	0.015	0.000	0.007	5.193	5.749

แท่งดิน ความสูง 0.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 3 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean EC	SD	NaCl (%)			Mean NaCl	ความชื้น (m3/m3)			Mean ความชื้น
5	16.880	16.800	16.820	151.500	16.833	0.0416	34.600	34.700	34.700	34.667	0.298	0.313	0.310	0.307
10	18.990	19.040	19.030	171.180	19.020	0.0265	39.000	39.000	39.000	0.334	0.304	0.331	0.367	0.334
15	13.420	13.460	13.450	120.990	13.443	0.0208	27.600	27.700	27.700	0.269	0.262	0.237	0.307	0.269
20	13.440	13.520	13.540	121.500	13.500	0.0529	27.700	27.900	27.600	0.238	0.205	0.245	0.264	0.238
25	12.870	12.920	12.910	116.100	12.900	0.0265	26.700	26.500	26.500	0.186	0.151	0.196	0.210	0.186
30	7.903	7.876	7.903	71.046	7.894	0.0156	16.300	16.300	16.300	0.222	0.219	0.246	0.202	0.222
35	3.861	3.846	3.849	34.668	3.852	0.0079	8.000	7.900	7.900	0.106	0.113	0.110	0.095	0.106
40	0.114	0.113	0.114	1.022	0.114	0.0009	0.200	0.200	0.200	-0.053	-0.049	-0.050	-0.059	-0.053
45	0.077	0.077	0.077	0.690	0.077	0.0001	0.200	0.200	0.200	-0.064	-0.065	-0.067	-0.060	-0.064
50	0.070	0.070	0.069	0.628	0.070	0.0004	0.100	0.100	0.100	-0.074	-0.065	-0.070	-0.086	-0.074

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	100.010	87.541	12.469	0.329	0.0020	114.51	3	4.535	3.970	4.253	13.884	
10	87.541	73.659	13.882	0.366	0.0020	114.51	3	3.970	3.340	3.655	10.916	12.400
15	73.659	59.689	13.970	0.368	0.0020	114.51	3	3.340	2.707	3.024	9.127	10.021
20	59.689	46.232	13.458	0.355	0.0020	114.51	3	2.707	2.097	2.402	7.678	8.402
25	46.232	33.465	12.767	0.336	0.0020	114.51	3	2.097	1.518	1.807	6.268	6.973
30	33.465	21.467	11.998	0.316	0.0020	114.51	3	1.518	0.974	1.246	4.828	5.548
35	9.470	2.065	7.405	0.196	0.0020	114.51	3	0.429	0.094	0.262	2.214	3.521
40	2.065	1.306	0.759	0.022	0.0020	114.51	3	0.094	0.059	0.076	4.711	3.462
45	1.306	0.627	0.679	0.020	0.0020	114.51	3	0.059	0.028	0.044	3.328	4.019
50	0.627	0	0.627	0.018	0.0020	114.51	3	0.028	0.000	0.014	1.731	2.529

แท่งดิน ความสูง 0.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 7 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean EC	SD	NaCl (%)			Mean NaCl	ความชื้น (m3/m3)			Mean ความชื้น
5	14.500	14.510	14.460	130.410	14.490	0.0265	29.800	29.900	29.800	29.833	0.382	0.399	0.423	0.401
10	16.550	16.610	16.580	149.220	16.580	0.0300	34.100	34.200	34.100	0.465	0.399	0.502	0.493	0.465
15	10.360	10.320	10.320	93.000	10.333	0.0231	21.300	21.200	21.200	0.534	0.461	0.536	0.604	0.534
20	9.820	9.768	9.760	88.044	9.783	0.0326	20.200	20.100	20.100	0.534	0.486	0.565	0.551	0.534
25	11.970	11.980	11.990	107.820	11.980	0.0100	24.700	24.700	24.600	0.532	0.438	0.553	0.604	0.532
30	13.470	13.520	13.500	121.470	13.497	0.0252	27.800	27.700	27.800	0.485	0.451	0.442	0.563	0.485
35	10.080	10.070	10.060	90.630	10.070	0.0100	20.800	20.700	20.700	0.478	0.453	0.480	0.502	0.478
40	9.754	9.797	9.754	87.915	9.768	0.0248	20.100	20.200	20.100	0.435	0.417	0.443	0.446	0.435
45	7.607	7.566	7.579	68.256	7.584	0.0210	15.700	15.600	15.600	0.435	0.446	0.409	0.450	0.435
50	10.380	10.390	10.400	93.510	10.390	0.0100	21.300	21.400	21.400	0.458	0.382	0.479	0.512	0.458

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	62.079	62.079	6.808	0.418	0.0020	114.51	7	2.815	2.511	2.663	6.764	
10	55.271	48.701	6.570	0.404	0.0020	114.51	7	2.507	2.213	2.360	6.241	6.503
15	48.701	42.152	6.549	0.402	0.0020	114.51	7	2.209	1.915	2.062	5.517	5.879
20	42.152	36.152	6.000	0.369	0.0020	114.51	7	1.912	1.643	1.777	5.212	5.364
25	36.152	31.083	5.069	0.312	0.0020	114.51	7	1.639	1.412	1.526	5.291	5.251
30	31.083	26.562	4.520	0.278	0.0020	114.51	7	1.410	1.207	1.308	5.101	5.196
35	22.042	14.495	7.547	0.463	0.0020	114.51	7	1.000	0.659	0.829	2.167	3.634
40	14.495	9.345	5.150	0.317	0.0020	114.51	7	0.657	0.425	0.541	2.088	2.127
45	9.345	4.626	4.719	0.290	0.0020	114.51	7	0.424	0.210	0.317	1.469	1.779
50	4.626	0	4.626	0.285	0.0020	114.51	7	0.210	0.000	0.105	0.742	1.105

แท่งดิน ความสูง 0.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 14 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean EC	SD	TDS (g/L)			Mean TDS	NaCl (%)			Mean NaCl	ความชื้น (m3/m3)			Mean ความชื้น
5	13.670	13.760	13.700	123.390	13.710	0.0458	6.836	6.879	6.900	6.872	28.200	28.300	28.400	28.300	0.636	0.624	0.592	0.617
10	12.020	12.160	12.160	109.020	12.113	0.0808	6.002	6.071	6.094	4.051	24.700	25.000	25.000	17.917	0.620	0.595	0.620	6.377
15	11.760	11.820	11.850	106.290	11.810	0.0458	5.881	5.905	5.923	3.944	24.200	24.300	24.300	17.481	0.539	0.553	0.543	6.191
20	10.950	10.980	10.960	98.670	10.963	0.0153	5.476	5.496	5.489	3.662	22.600	22.600	22.500	16.287	0.654	0.610	0.576	5.850
25	9.387	9.403	9.394	84.552	9.395	0.0080	4.708	4.704	4.698	3.140	19.400	19.400	19.300	13.980	0.602	0.589	0.500	5.057
30	18.050	17.980	17.980	162.030	18.003	0.0404	8.995	8.997	8.982	6.011	37.000	37.000	37.000	26.670	0.596	0.582	0.482	9.283
35	13.100	13.160	13.200	118.380	13.153	0.0503	6.568	6.584	6.602	4.401	27.100	27.100	27.200	19.534	0.548	0.520	0.428	6.867
40	9.663	9.672	9.708	87.129	9.681	0.0238	4.837	4.837	4.860	3.233	19.900	20.000	20.000	14.378	0.605	0.514	0.569	5.166
45	10.830	10.890	10.910	97.890	10.877	0.0416	5.420	5.437	5.467	3.633	22.300	22.400	22.500	16.111	0.610	0.630	0.621	5.784
50	9.202	9.233	9.241	83.028	9.225	0.0206	4.628	4.610	4.635	3.086	19.100	19.000	19.000	13.729	0.621	0.663	0.633	5.004

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	34.255	31.254	3.001	0.369	0.0020	114.51	14	1.553	1.417	1.485	4.234	
10	31.254	27.973	3.281	0.403	0.0020	114.51	14	1.417	1.269	1.343	3.533	3.884
15	27.973	24.742	3.231	0.397	0.0020	114.51	14	1.269	1.122	1.195	3.211	3.372
20	24.742	21.564	3.178	0.391	0.0020	114.51	14	1.122	0.978	1.050	2.888	3.049
25	21.564	18.229	3.335	0.410	0.0020	114.51	14	0.978	0.827	0.902	2.398	2.643
30	18.229	15.047	3.182	0.391	0.0020	114.51	14	0.827	0.682	0.755	2.125	2.262
35	11.864	8.754	3.110	0.382	0.0020	114.51	14	0.538	0.397	0.468	1.415	1.770
40	8.754	5.767	2.987	0.367	0.0020	114.51	14	0.397	0.262	0.329	1.087	1.251
45	5.767	2.837	2.930	0.360	0.0020	114.51	14	0.262	0.129	0.195	0.730	0.909
50	2.837	0	2.837	0.349	0.0020	114.51	14	0.129	0.000	0.064	0.371	0.551

แท่งดิน ความสูง 0.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 28 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
5	10.32	10.32	10.36	93	10.333	0.0231	5.169	5.171	5.179	5.173	21.2	21.3	21.3	21.267	0.425	0.421	0.428	0.425
10	8.634	8.648	8.639	77.763	8.640	0.0071	4.329	4.31	4.32	4.320	17.8	17.7	17.7	17.733	0.643	0.658	0.625	0.642
15	12.44	12.45	12.45	112.02	12.447	0.0058	6.255	6.213	6.224	6.231	25.6	25.6	25.6	25.600	0.604	0.593	0.599	0.599
20	11.79	11.84	11.79	106.26	11.807	0.0289	5.909	5.899	5.895	5.901	24.2	24.3	24.3	24.267	0.616	0.638	0.609	0.621
25	8.165	8.194	8.19	73.647	8.183	0.0157	4.094	4.096	4.092	4.094	16.8	16.9	16.9	16.867	0.544	0.587	0.575	0.569
30	10.99	10.98	10.98	98.85	10.983	0.0058	5.543	5.486	5.501	5.510	22.6	22.6	22.6	22.600	0.618	0.569	0.538	0.575
35	5.971	5.962	5.951	53.652	5.961	0.0100	2.995	2.985	2.976	2.985	12.3	12.3	12.2	12.267	0.614	0.621	0.599	0.616
40	13.38	13.41	13.36	120.45	13.383	0.0252	6.724	6.687	6.691	6.701	27.5	27.5	27.5	27.500	0.542	0.581	0.554	0.555
45	13.34	13.33	13.35	120.06	13.340	0.0100	6.73	6.668	6.679	6.692	27.5	27.5	27.5	27.500	0.598	0.579	0.587	0.592
50	8.855	8.853	8.872	79.74	8.860	0.0104	4.414	4.43	4.441	4.428	18.2	18.3	18.2	18.233	0.542	0.597	0.601	0.560

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	17.279	15.685	1.593	0.392	0.0020	114.51	28	0.784	0.711	0.747	2.011	
10	15.685	14.000	1.686	0.414	0.0020	114.51	28	0.711	0.635	0.673	1.726	1.868
15	14.000	12.274	1.726	0.424	0.0020	114.51	28	0.635	0.557	0.596	1.504	1.615
20	12.274	10.600	1.674	0.411	0.0020	114.51	28	0.557	0.481	0.519	1.360	1.432
25	10.600	8.979	1.621	0.398	0.0020	114.51	28	0.481	0.407	0.444	1.213	1.286
30	8.979	7.400	1.579	0.388	0.0020	114.51	28	0.407	0.336	0.371	1.055	1.134
35	5.821	4.294	1.527	0.375	0.0020	114.51	28	0.264	0.195	0.229	0.707	0.881
40	4.294	2.801	1.493	0.367	0.0020	114.51	28	0.195	0.127	0.161	0.534	0.620
45	2.801	1.339	1.463	0.360	0.0020	114.51	28	0.127	0.061	0.094	0.355	0.444
50	1.339	0	1.339	0.329	0.0020	114.51	28	0.061	0.000	0.030	0.185	0.270

แท่งดิน ความสูง 1.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 7 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
5	12.860	12.990	13.010	116.580	12.953	0.0814	6.479	6.490	6.500	6.490	26.700	26.700	26.700	26.700	0.596	0.624	0.579	0.600
10	10.100	10.180	10.160	91.320	10.147	0.0416	5.053	5.094	5.093	3.396	20.800	21.000	20.900	20.900	0.616	0.618	0.595	7.378
15	12.720	12.900	12.870	115.470	12.830	0.0964	6.371	6.441	6.432	4.303	26.400	26.500	26.500	26.467	0.627	0.639	0.634	9.244
20	10.140	10.180	10.150	91.410	10.157	0.0208	5.085	5.084	5.068	3.397	20.800	20.900	20.900	20.867	0.645	0.661	0.664	7.391
25	10.250	10.320	10.340	92.730	10.303	0.0473	5.144	5.163	5.173	3.451	21.200	21.200	21.300	21.233	0.656	0.669	0.664	7.519
30	11.520	11.610	11.620	104.250	11.583	0.0551	5.749	5.807	5.814	3.870	23.700	23.900	23.900	23.833	0.652	0.667	0.665	8.384
35	9.334	9.375	9.373	84.246	9.361	0.0231	4.677	4.687	4.686	3.129	19.300	19.300	19.300	19.300	0.616	0.627	0.637	6.848
40	8.742	8.795	8.788	78.975	8.775	0.0288	4.378	4.401	4.394	2.936	18.000	18.100	18.100	18.067	0.639	0.643	0.620	6.450
45	10.170	10.250	10.280	92.100	10.233	0.0569	5.097	5.129	5.140	3.428	21.100	21.100	21.100	21.100	0.650	0.644	0.621	7.465
50	6.919	6.958	6.999	62.628	6.959	0.0400	3.463	3.484	3.495	2.329	14.300	14.300	14.400	14.333	0.597	0.617	0.616	5.182
55	4.903	4.876	4.886	43.995	4.888	0.0137	2.456	2.442	2.441	1.637	10.100	10.000	10.000	10.033	0.627	0.606	0.611	3.755
60	1.436	1.443	1.446	12.975	1.442	0.0051	0.717	0.721	0.723	0.481	2.900	3.000	3.000	2.127	-0.023	-0.009	-0.017	0.698
65	0.207	0.220	0.224	1.953	0.217	0.0089	0.104	0.110	0.112	0.074	0.400	0.500	0.500	0.325	-0.051	-0.058	-0.056	0.072
70	0.087	0.088	0.090	0.795	0.088	0.0015	0.044	0.044	0.045	0.030	0.200	0.200	0.200	0.143	-0.044	-0.050	-0.050	0.016
75	0.083	0.086	0.088	0.771	0.086	0.0025	0.042	0.043	0.044	0.029	0.200	0.200	0.200	0.143	-0.048	-0.045	-0.051	0.017
80	0.094	0.097	0.097	0.864	0.096	0.0017	0.047	0.049	0.049	0.033	0.200	0.200	0.200	0.144	-0.059	-0.064	-0.057	0.007
85	0.139	0.144	0.146	1.287	0.143	0.0036	0.069	0.072	0.073	0.048	0.300	0.300	0.300	0.216	-0.059	-0.060	-0.057	0.032
90	0.103	0.104	0.104	0.933	0.104	0.0006	0.051	0.052	0.052	0.035	0.200	0.200	0.200	0.145	-0.060	-0.063	-0.063	0.007
95	0.082	0.083	0.084	0.747	0.083	0.0010	0.041	0.042	0.042	0.028	0.200	0.200	0.200	0.143	-0.057	-0.065	-0.064	0.007
100	0.086	0.087	0.087	0.780	0.087	0.0006	0.043	0.044	0.044	0.029	0.200	0.200	0.200	0.143	-0.077	-0.073	-0.081	-0.002

แท่งดิน ความสูง 1.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 7 วัน (ต่อ)

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	66.153	60.166	5.988	0.368	0.0020	114.51	7	3.000	2.728	2.864	8.196	
10	60.166	54.144	6.022	0.370	0.0020	114.51	7	2.728	2.455	2.592	7.412	7.804
15	54.144	48.152	5.992	0.368	0.0020	114.51	7	2.455	2.184	2.320	6.703	7.058
20	48.152	42.227	5.925	0.364	0.0020	114.51	7	2.184	1.915	2.049	6.029	6.366
25	42.227	36.364	5.863	0.360	0.0020	114.51	7	1.915	1.649	1.782	5.343	5.686
30	36.364	30.577	5.787	0.356	0.0020	114.51	7	1.649	1.387	1.518	4.662	5.002
35	30.577	25.041	5.536	0.340	0.0020	114.51	7	1.387	1.136	1.261	4.097	4.380
40	25.041	19.668	5.374	0.330	0.0020	114.51	7	1.136	0.892	1.014	3.457	3.777
45	19.668	14.491	5.176	0.318	0.0020	114.51	7	0.892	0.657	0.775	2.819	3.138
50	14.491	9.735	4.757	0.293	0.0020	114.51	7	0.657	0.441	0.549	2.260	2.539
55	9.735	5.380	4.355	0.268	0.0020	114.51	7	0.441	0.244	0.343	1.658	1.959
60	5.380	3.797	1.583	0.099	0.0020	114.51	7	0.244	0.172	0.208	2.521	2.090
65	3.797	3.326	0.471	0.031	0.0020	114.51	7	0.172	0.151	0.162	5.978	4.250
70	3.326	2.901	0.425	0.028	0.0020	114.51	7	0.151	0.132	0.141	5.807	5.893
75	2.476	2.052	0.424	0.028	0.0020	114.51	7	0.112	0.093	0.103	4.331	5.069
80	2.052	1.626	0.426	0.028	0.0020	114.51	7	0.093	0.074	0.083	3.576	3.953
85	1.626	1.230	0.396	0.026	0.0020	114.51	7	0.074	0.056	0.065	3.043	3.310
90	1.230	0.848	0.382	0.025	0.0020	114.51	7	0.056	0.038	0.047	2.390	2.717
95	0.848	0.411	0.437	0.029	0.0020	114.51	7	0.038	0.019	0.029	1.440	1.915
100	0.411	0	0.411	0.027	0.0020	114.51	7	0.019	0.000	0.009	0.742	1.091

แท่งดิน ความสูง 1.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 14 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
5	9.586	9.678	9.730	86.982	9.665	0.0729	4.838	4.847	4.862	4.849	20.000	19.900	20.000	19.967	0.621	0.619	0.655	0.632
10	8.630	8.639	8.567	77.508	8.612	0.0392	4.318	4.331	4.304	2.896	17.700	17.800	17.700	17.733	0.650	0.652	0.669	6.345
15	10.590	10.570	10.930	96.270	10.697	0.2023	5.298	5.279	5.271	3.593	21.800	21.700	21.700	21.733	0.599	0.634	0.667	7.655
20	10.840	10.860	10.830	97.590	10.843	0.0153	5.496	5.445	5.431	3.652	22.400	22.400	22.400	22.400	0.673	0.669	0.635	7.914
25	7.479	7.520	7.506	67.515	7.502	0.0208	3.750	3.753	3.753	2.508	19.500	19.400	19.500	19.467	0.676	0.657	0.680	6.933
30	8.678	8.727	8.752	78.471	8.719	0.0376	4.340	4.366	4.380	2.915	17.900	18.000	18.000	17.967	0.653	0.631	0.684	6.417
35	8.298	8.339	8.340	74.931	8.326	0.0240	4.195	4.174	4.174	2.798	16.900	17.100	17.200	17.067	0.627	0.661	0.630	6.118
40	6.480	6.505	6.520	58.515	6.502	0.0202	3.245	3.260	3.265	2.175	13.400	13.400	13.500	13.433	0.655	0.641	0.654	4.910
45	6.847	6.895	6.884	61.878	6.875	0.0251	3.427	3.447	3.445	2.300	14.100	14.200	14.200	14.167	0.642	0.643	0.665	5.151
50	7.415	7.768	7.643	68.478	7.609	0.1790	3.835	3.901	3.829	2.638	15.900	16.100	15.800	15.933	0.629	0.660	0.625	5.741
55	7.103	7.099	7.108	63.930	7.103	0.0045	3.547	3.547	3.555	2.366	14.600	14.600	14.600	14.600	0.604	0.608	0.582	5.271
60	6.973	7.069	7.070	63.336	7.037	0.0557	3.484	3.529	3.537	2.356	14.400	14.500	14.600	10.419	0.625	0.612	0.624	3.885
65	7.211	7.285	7.248	65.232	7.248	0.0370	3.587	3.647	3.635	2.424	14.800	15.000	14.900	10.741	0.585	0.582	0.616	3.969
70	4.228	4.283	4.299	38.430	4.270	0.0372	2.215	2.137	2.150	1.463	8.700	8.800	8.800	6.321	0.529	0.568	0.508	2.473
75	0.971	0.990	0.986	8.841	0.982	0.0100	0.488	0.493	0.493	0.330	2.000	2.000	2.000	1.443	-0.023	-0.045	-0.065	0.458
80	0.076	0.082	0.083	0.723	0.080	0.0038	0.038	0.039	0.042	0.027	0.200	0.200	0.200	0.142	-0.064	-0.056	-0.048	0.007
85	0.081	0.083	0.084	0.744	0.083	0.0015	0.041	0.042	0.042	0.028	0.200	0.200	0.200	0.143	-0.067	-0.060	-0.058	0.005
90	0.068	0.069	0.069	0.618	0.069	0.0006	0.034	0.034	0.035	0.023	0.100	0.100	0.100	0.074	-0.060	-0.070	-0.061	-0.019
95	0.071	0.072	0.073	0.648	0.072	0.0010	0.035	0.036	0.036	0.024	0.100	0.100	0.100	0.075	-0.069	-0.055	-0.059	-0.016
100	0.090	0.090	0.091	0.813	0.090	0.0006	0.045	0.045	0.045	0.030	0.200	0.200	0.200	0.143	-0.059	-0.069	-0.065	0.005

แท่งดิน ความสูง 1.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 14 วัน (ต่อ)

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	41.089	38.128	2.961	0.364	0.0020	114.51	14	1.863	1.729	1.796	5.148	
10	38.128	35.108	3.021	0.371	0.0020	114.51	14	1.729	1.592	1.661	4.682	4.915
15	35.108	32.029	3.079	0.378	0.0020	114.51	14	1.592	1.452	1.522	4.229	4.456
20	32.029	28.944	3.084	0.379	0.0020	114.51	14	1.452	1.313	1.383	3.852	4.041
25	28.944	25.945	2.999	0.369	0.0020	114.51	14	1.313	1.177	1.245	3.579	3.716
30	25.945	22.983	2.962	0.364	0.0020	114.51	14	1.177	1.042	1.109	3.249	3.414
35	22.983	20.067	2.915	0.358	0.0020	114.51	14	1.042	0.910	0.976	2.924	3.086
40	20.067	17.272	2.795	0.344	0.0020	114.51	14	0.910	0.783	0.847	2.663	2.793
45	17.272	14.605	2.667	0.328	0.0020	114.51	14	0.783	0.662	0.723	2.402	2.533
50	14.605	12.031	2.574	0.317	0.0020	114.51	14	0.662	0.546	0.604	2.105	2.254
55	12.031	9.592	2.439	0.300	0.0020	114.51	14	0.546	0.435	0.490	1.830	1.967
60	9.592	7.284	2.308	0.284	0.0020	114.51	14	0.435	0.330	0.383	1.542	1.686
65	7.284	5.096	2.188	0.270	0.0020	114.51	14	0.330	0.231	0.281	1.235	1.388
70	5.096	3.177	1.919	0.237	0.0020	114.51	14	0.231	0.144	0.188	0.985	1.110
75	1.257	0.723	0.535	0.067	0.0020	114.51	14	0.057	0.033	0.045	0.872	0.928
80	0.723	0.569	0.153	0.021	0.0020	114.51	14	0.033	0.026	0.029	1.749	1.310
85	0.569	0.425	0.145	0.020	0.0020	114.51	14	0.026	0.019	0.023	1.459	1.604
90	0.425	0.280	0.144	0.020	0.0020	114.51	14	0.019	0.013	0.016	1.092	1.276
95	0.280	0.141	0.139	0.019	0.0020	114.51	14	0.013	0.006	0.010	0.748	0.920
100	0.141	0	0.141	0.019	0.0020	114.51	14	0.006	0.000	0.003	0.371	0.559

แท่งดิน ความสูง 1.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 28 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
5	8.254	8.275	8.318	74.541	8.282	0.0326	4.131	4.138	4.159	4.143	17.000	17.000	17.100	17.033	0.525	0.572	0.531	0.543
10	7.987	8.029	8.099	72.345	8.038	0.0566	4.005	4.009	4.049	2.690	16.400	16.500	16.700	16.533	0.587	0.621	0.560	5.914
15	7.398	7.475	7.485	67.074	7.453	0.0476	3.701	3.737	3.742	2.495	15.200	15.400	15.400	15.333	0.599	0.548	0.599	5.493
20	8.131	8.191	8.171	73.479	8.164	0.0306	4.061	4.103	4.082	2.732	16.700	16.600	16.800	16.700	0.572	0.562	0.614	5.945
25	8.408	8.513	8.511	76.296	8.477	0.0601	4.198	4.251	4.267	2.836	17.300	17.500	17.500	17.433	0.569	0.546	0.580	6.183
30	8.206	8.252	8.321	74.337	8.260	0.0579	4.121	4.131	4.159	2.770	16.900	17.000	17.100	17.000	0.597	0.622	0.613	6.073
35	8.103	8.171	8.124	73.194	8.133	0.0348	4.054	4.079	4.017	2.723	16.700	16.800	16.700	16.733	0.574	0.570	0.596	5.959
40	8.075	8.131	8.085	72.873	8.097	0.0299	4.039	4.067	4.053	2.712	16.700	16.600	16.700	16.667	0.637	0.604	0.606	5.969
45	7.659	7.747	7.761	69.501	7.722	0.0553	3.833	3.883	3.891	2.590	15.800	15.900	16.000	15.900	0.603	0.606	0.532	5.703
50	7.480	7.533	7.532	67.635	7.515	0.0303	3.741	3.759	3.761	2.510	15.400	15.500	15.500	15.467	0.570	0.572	0.569	5.536
55	7.602	7.682	7.761	69.135	7.682	0.0795	3.811	3.834	3.882	2.575	15.700	15.800	15.800	15.767	0.582	0.552	0.573	5.634
60	7.781	7.890	7.959	70.890	7.877	0.0897	3.900	3.853	3.970	2.614	16.000	16.200	16.300	11.605	0.554	0.586	0.602	4.248
65	7.281	7.315	7.346	65.826	7.314	0.0325	3.637	3.659	3.668	2.443	15.000	15.100	15.100	10.848	0.586	0.562	0.589	3.999
70	7.263	7.360	7.356	65.937	7.326	0.0549	3.626	3.673	3.683	2.451	14.900	15.100	15.200	10.817	0.525	0.546	0.518	3.963
75	6.885	6.904	6.917	62.118	6.902	0.0161	3.437	3.451	3.465	2.301	14.200	14.200	14.300	10.234	0.556	0.542	0.519	3.777
80	5.514	5.550	5.570	49.902	5.545	0.0284	2.761	2.771	2.784	1.853	11.300	11.400	11.400	8.184	0.568	0.553	0.571	3.102
85	4.822	4.851	4.861	43.602	4.845	0.0203	2.424	2.426	2.432	1.623	9.900	10.000	10.000	7.174	0.527	0.502	0.479	2.734
90	2.571	2.584	2.568	23.169	2.574	0.0085	1.290	1.291	1.283	0.863	5.300	5.300	5.300	3.821	0.382	0.284	0.195	1.496
95	0.333	0.331	0.332	2.988	0.332	0.0010	0.167	0.167	0.166	0.112	0.700	0.700	0.700	0.504	-0.073	-0.079	-0.078	0.117
100	0.333	0.338	0.340	3.033	0.337	0.0036	0.166	0.169	0.170	0.113	0.700	0.700	0.700	0.504	-0.085	-0.092	-0.078	0.109

แท่งดิน ความสูง 1.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 28 วัน (ต่อ)

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	28.482	26.959	1.523	0.375	0.0020	114.51	28	1.292	1.223	1.257	3.467	
10	26.959	25.485	1.473	0.362	0.0020	114.51	28	1.223	1.156	1.189	3.393	3.430
15	25.485	24.023	1.463	0.360	0.0020	114.51	28	1.156	1.089	1.123	3.231	3.312
20	24.023	22.586	1.436	0.353	0.0020	114.51	28	1.089	1.024	1.057	3.102	3.167
25	22.586	21.108	1.478	0.363	0.0020	114.51	28	1.024	0.957	0.991	2.834	2.968
30	21.108	19.708	1.400	0.344	0.0020	114.51	28	0.957	0.894	0.925	2.796	2.815
35	19.708	18.210	1.498	0.368	0.0020	114.51	28	0.894	0.826	0.860	2.441	2.618
40	18.210	16.742	1.468	0.361	0.0020	114.51	28	0.826	0.759	0.793	2.301	2.371
45	16.742	15.286	1.457	0.358	0.0020	114.51	28	0.759	0.693	0.726	2.132	2.216
50	15.286	13.839	1.447	0.356	0.0020	114.51	28	0.693	0.628	0.660	1.960	2.046
55	13.839	12.448	1.392	0.342	0.0020	114.51	28	0.628	0.564	0.596	1.844	1.902
60	12.448	11.086	1.362	0.335	0.0020	114.51	28	0.564	0.503	0.534	1.695	1.770
65	11.086	9.265	1.821	0.447	0.0020	114.51	28	0.503	0.420	0.461	1.129	1.412
70	9.265	7.891	1.374	0.338	0.0020	114.51	28	0.420	0.358	0.389	1.251	1.190
75	6.517	5.364	1.153	0.284	0.0020	114.51	28	0.296	0.243	0.269	1.049	1.150
80	5.364	3.314	2.050	0.503	0.0020	114.51	28	0.243	0.150	0.197	0.485	0.767
85	3.314	1.643	1.671	0.411	0.0020	114.51	28	0.150	0.075	0.112	0.368	0.427
90	1.643	0.995	0.648	0.161	0.0020	114.51	28	0.075	0.045	0.060	0.470	0.419
95	0.995	0.441	0.554	0.137	0.0020	114.51	28	0.045	0.020	0.033	0.333	0.402
100	0.441	0	0.441	0.110	0.0020	114.51	28	0.020	0.000	0.010	0.185	0.259

แท่งดิน ความสูง 1.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 14 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
5	8.659	8.630	8.639	77.784	8.643	0.0148	4.276	4.317	4.318	4.304	17.800	17.800	17.800	17.800	0.572	0.619	0.637	0.609
10	8.739	8.762	8.759	78.780	8.753	0.0125	4.371	4.385	4.380	4.379	18.000	18.100	18.000	18.033	0.589	0.640	0.661	0.630
15	9.173	9.197	9.206	82.728	9.192	0.0171	4.589	4.594	4.608	4.597	18.900	18.900	19.000	18.933	0.603	0.650	0.628	0.627
20	8.966	8.968	8.957	80.673	8.964	0.0059	4.439	4.490	4.482	4.470	18.400	18.500	18.500	18.467	0.621	0.638	0.657	0.639
25	8.738	8.797	8.810	79.035	8.782	0.0384	4.366	4.394	4.398	4.386	18.000	18.100	18.100	18.067	0.628	0.655	0.671	0.651
30	8.374	8.392	8.407	75.519	8.391	0.0165	4.190	4.195	4.205	4.197	17.200	17.300	17.300	17.267	0.633	0.647	0.552	0.611
35	8.407	8.569	8.578	76.662	8.518	0.0962	4.230	4.277	4.290	4.266	17.500	17.600	17.600	17.567	0.572	0.607	0.613	0.597
40	8.104	8.093	8.086	72.849	8.094	0.0091	4.045	4.043	4.045	4.044	16.700	16.600	16.700	16.667	0.584	0.601	0.505	0.563
45	7.706	7.768	7.768	69.726	7.747	0.0358	3.858	3.874	3.886	3.873	15.900	16.000	16.000	15.967	0.593	0.581	0.597	0.590
50	7.105	7.095	7.203	64.209	7.134	0.0597	3.841	3.857	3.836	3.845	15.800	15.800	15.900	15.833	0.597	0.621	0.612	0.610
55	7.959	8.011	8.029	71.997	8.000	0.0364	3.986	4.002	4.016	4.001	16.400	16.500	16.500	16.467	0.563	0.606	0.586	0.585
60	7.609	7.625	7.610	68.532	7.615	0.0090	3.812	3.817	3.802	2.546	15.700	15.700	15.600	15.667	0.608	0.566	0.606	5.614
65	6.979	6.964	6.956	62.697	6.966	0.0117	3.499	3.483	3.479	2.331	14.400	14.400	14.400	14.400	0.595	0.585	0.528	5.193
70	4.554	4.606	4.594	41.262	4.585	0.0272	2.227	2.303	2.297	1.519	9.400	9.500	9.500	9.467	0.564	0.586	0.480	3.539
75	1.364	1.380	1.382	12.378	1.375	0.0099	0.683	0.690	0.691	0.689	2.800	2.800	2.900	2.833	0.185	-0.032	-0.037	1.973
80	0.135	0.137	0.138	1.230	0.137	0.0015	0.068	0.068	0.069	0.069	0.300	0.300	0.300	0.300	-0.060	-0.070	-0.063	0.180
85	0.091	0.094	0.095	0.840	0.093	0.0021	0.046	0.047	0.047	0.047	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.064	-0.070	-0.069	0.112
90	0.075	0.076	0.078	0.687	0.076	0.0015	0.038	0.038	0.039	0.039	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.058	-0.073	-0.066	0.114
95	0.083	0.082	0.083	0.744	0.083	0.0006	0.038	0.041	0.042	0.040	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.074	-0.066	-0.077	0.109
100	0.098	0.100	0.100	0.894	0.099	0.0012	0.049	0.050	0.050	0.050	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.069	-0.068	-0.063	0.110
105	0.090	0.097	0.098	0.855	0.095	0.0044	0.045	0.049	0.049	0.048	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.071	-0.049	-0.042	0.110
110	0.067	0.068	0.067	0.606	0.067	0.0006	0.033	0.036	0.035	0.034	0.100	0.100	0.100	0.078	-0.041	-0.040	-0.053	0.046
115	0.068	0.068	0.068	0.612	0.068	0.0000	0.034	0.034	0.034	0.034	0.100	0.100	0.100	0.078	-0.047	-0.047	-0.046	0.044
120	0.081	0.082	0.082	0.735	0.082	0.0006	0.040	0.041	0.041	0.041	0.200	0.200	0.200	0.147	-0.050	-0.045	-0.052	0.099
125	0.069	0.071	0.071	0.633	0.070	0.0012	0.035	0.035	0.036	0.035	0.100	0.100	0.100	0.057	-0.036	-0.047	-0.042	0.040

แท่งดิน ความสูง 1.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 14 วัน (ต่อ 1)

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
130	0.081	0.082	0.082	0.735	0.082	0.0006	0.041	0.041	0.041	0.041	0.200	0.200	0.200	0.094	-0.037	-0.041	-0.043	0.086
135	0.069	0.067	0.068	0.612	0.068	0.0010	0.034	0.035	0.035	0.034	0.100	0.100	0.100	0.056	-0.031	-0.045	-0.054	0.042
140	0.066	0.067	0.068	0.603	0.067	0.0010	0.033	0.034	0.034	0.034	0.100	0.100	0.100	0.056	-0.046	-0.055	-0.056	0.037
145	0.065	0.066	0.067	0.594	0.066	0.0010	0.033	0.033	0.034	0.033	0.100	0.100	0.100	0.056	-0.053	-0.047	-0.062	0.034
150	0.074	0.075	0.075	0.672	0.075	0.0006	0.037	0.037	0.038	0.037	0.200	0.200	0.200	0.092	-0.055	-0.062	-0.055	0.079

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	44.488	41.056	3.432	0.422	0.0020	114.51	14	2.018	1.862	1.940	4.809	
10	41.056	37.643	3.414	0.419	0.0020	114.51	14	1.862	1.707	1.784	4.461	4.635
15	37.643	34.303	3.339	0.410	0.0020	114.51	14	1.707	1.556	1.631	4.181	4.321
20	34.303	30.946	3.358	0.413	0.0020	114.51	14	1.556	1.403	1.480	3.790	3.985
25	30.946	27.661	3.284	0.404	0.0020	114.51	14	1.403	1.254	1.329	3.495	3.642
30	27.661	24.517	3.144	0.386	0.0020	114.51	14	1.254	1.112	1.183	3.264	3.379
35	24.517	21.423	3.094	0.380	0.0020	114.51	14	1.112	0.972	1.042	2.939	3.101
40	21.423	18.439	2.984	0.367	0.0020	114.51	14	0.972	0.836	0.904	2.663	2.801
45	18.439	15.593	2.846	0.350	0.0020	114.51	14	0.836	0.707	0.772	2.403	2.533
50	15.593	12.873	2.719	0.334	0.0020	114.51	14	0.707	0.584	0.645	2.127	2.265
55	12.873	10.268	2.606	0.321	0.0020	114.51	14	0.584	0.466	0.525	1.832	1.980
60	10.268	7.669	2.599	0.320	0.0020	114.51	14	0.466	0.348	0.407	1.465	1.649
65	7.669	5.722	1.947	0.240	0.0020	114.51	14	0.348	0.259	0.304	1.461	1.463
70	5.722	2.837	2.884	0.355	0.0020	114.51	14	0.259	0.129	0.194	0.736	1.098
75	2.837	2.156	0.682	0.085	0.0020	114.51	14	0.129	0.098	0.113	1.544	1.140
80	2.156	1.960	0.196	0.026	0.0020	114.51	14	0.098	0.089	0.093	4.085	2.815
85	1.960	1.817	0.143	0.020	0.0020	114.51	14	0.089	0.082	0.086	5.078	4.581
90	1.817	1.694	0.123	0.017	0.0020	114.51	14	0.082	0.077	0.080	5.459	5.268

แท่งดิน ความสูง 1.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 14 วัน (ต่อ 2)												
Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
95	1.694	1.455	0.239	0.031	0.0020	114.51	14	0.077	0.066	0.071	2.629	4.044
100	1.455	1.358	0.097	0.014	0.0020	114.51	14	0.066	0.062	0.064	5.584	4.107
105	1.358	1.228	0.130	0.018	0.0020	114.51	14	0.062	0.056	0.059	3.875	4.729
110	1.228	1.094	0.134	0.018	0.0020	114.51	14	0.056	0.050	0.053	3.397	3.636
115	1.094	0.957	0.137	0.019	0.0020	114.51	14	0.050	0.043	0.047	2.968	3.182
120	0.957	0.793	0.165	0.022	0.0020	114.51	14	0.043	0.036	0.040	2.157	2.562
125	0.793	0.661	0.132	0.018	0.0020	114.51	14	0.036	0.030	0.033	2.227	2.192
130	0.661	0.529	0.131	0.018	0.0020	114.51	14	0.030	0.024	0.027	1.869	2.048
135	0.529	0.402	0.127	0.018	0.0020	114.51	14	0.024	0.018	0.021	1.542	1.705
140	0.402	0.268	0.134	0.018	0.0020	114.51	14	0.018	0.012	0.015	1.111	1.326
145	0.268	0.134	0.134	0.018	0.0020	114.51	14	0.012	0.006	0.009	0.742	0.926
150	0.134	0	0.134	0.018	0.0020	114.51	14	0.006	0.000	0.003	0.371	0.556

แท่งดิน ความสูง 1.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 56 วัน

depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
5	13.360	13.460	13.470	120.870	13.430	0.0608	6.686	6.715	6.749	6.717	27.500	27.700	27.800	27.667	0.654	0.657	0.643	0.651
10	17.050	17.070	17.150	153.810	17.090	0.0529	8.543	8.527	8.561	8.544	35.100	35.100	35.300	35.167	0.638	0.632	0.627	0.632
15	9.501	9.483	9.510	85.482	9.498	0.0137	4.748	4.737	4.750	4.745	19.700	19.500	19.600	19.600	0.609	0.620	0.617	0.615
20	22.580	22.620	22.660	203.580	22.620	0.0400	11.320	11.310	11.330	11.320	46.500	46.500	46.600	46.533	0.609	0.608	0.620	0.612
25	10.510	10.590	10.610	95.130	10.570	0.0529	5.260	5.300	5.301	5.287	21.600	21.800	21.800	21.733	0.563	0.610	0.604	0.592
30	8.673	8.686	8.700	78.177	8.686	0.0135	4.300	4.354	4.348	4.334	17.900	17.900	17.900	17.900	0.570	0.572	0.606	0.583
35	9.390	9.406	9.422	84.654	9.406	0.0160	4.691	4.710	4.702	4.701	19.300	19.400	19.700	19.467	0.623	0.603	0.614	0.613
40	15.560	15.520	15.520	139.800	15.533	0.0231	7.768	7.760	7.757	7.762	32.100	31.900	31.900	31.967	0.584	0.601	0.505	0.563
45	13.390	13.410	13.400	120.600	13.400	0.0100	6.681	6.712	6.737	6.710	27.500	27.600	27.600	27.567	0.588	0.610	0.617	0.605
50	15.060	15.010	15.040	135.330	15.037	0.0252	7.543	7.520	7.514	7.526	31.000	30.900	30.900	30.933	0.482	0.484	0.492	0.486
55	10.470	10.480	10.510	94.380	10.487	0.0208	5.223	5.237	5.238	5.233	21.500	21.600	21.600	21.567	0.522	0.527	0.520	0.523
60	8.662	8.643	8.680	77.955	8.662	0.0185	4.340	4.329	4.337	2.896	17.800	17.800	17.800	17.800	0.545	0.508	0.517	6.284
65	7.616	7.614	7.619	68.547	7.616	0.0025	3.809	3.808	3.812	2.540	19.700	19.700	19.700	19.700	0.521	0.531	0.490	6.917
70	9.696	9.694	9.700	87.270	9.697	0.0031	4.827	4.852	4.851	3.227	19.900	20.000	20.000	19.967	0.564	0.586	0.480	7.039
75	8.190	8.209	8.194	73.779	8.198	0.0100	4.101	4.107	4.102	2.739	16.900	16.900	16.900	16.900	0.185	-0.032	-0.037	5.684
80	7.654	7.640	7.616	68.730	7.637	0.0192	3.827	3.820	3.813	2.555	15.800	15.700	15.700	15.733	-0.060	-0.070	-0.063	5.201
85	7.044	7.074	7.083	63.603	7.067	0.0204	3.525	3.537	3.541	2.361	14.600	14.600	14.600	14.600	-0.064	-0.070	-0.069	4.822
90	6.637	6.658	6.650	59.835	6.648	0.0106	3.319	3.330	3.325	2.220	13.700	13.700	13.700	13.700	-0.058	-0.073	-0.066	4.523
95	5.455	5.459	5.453	49.101	5.456	0.0031	2.743	2.731	2.733	1.826	11.300	11.200	11.200	11.233	-0.074	-0.066	-0.077	3.698
100	4.868	4.855	4.853	43.728	4.859	0.0081	2.421	2.428	2.426	1.619	10.000	10.000	10.000	10.000	-0.069	-0.068	-0.063	3.288
105	3.825	3.829	3.832	34.458	3.829	0.0035	1.906	1.915	1.914	1.275	7.900	7.900	7.900	7.900	-0.071	-0.049	-0.042	2.593
110	0.327	0.329	0.330	2.958	0.329	0.0015	0.164	0.165	0.165	0.110	0.700	0.700	0.700	0.503	-0.041	-0.040	-0.053	0.141
115	0.083	0.084	0.086	0.759	0.084	0.0015	0.042	0.042	0.043	0.029	0.200	0.200	0.200	0.143	-0.047	-0.047	-0.046	0.016
120	0.081	0.082	0.083	0.738	0.082	0.0010	0.041	0.041	0.042	0.028	0.200	0.200	0.200	0.143	-0.050	-0.045	-0.052	0.016
125	0.061	0.063	0.064	0.564	0.063	0.0015	0.031	0.032	0.032	0.022	0.100	0.100	0.100	0.074	-0.036	-0.047	-0.042	-0.003

แท่งดิน ความสูง 1.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 56 วัน (ต่อ 1)																		
depth	EC (mS/cm)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
130	0.073	0.074	0.075	0.666	0.074	0.0010	0.037	0.037	0.037	0.025	0.200	0.200	0.200	0.142	-0.037	-0.041	-0.043	0.021
135	0.063	0.063	0.064	0.570	0.063	0.0006	0.031	0.032	0.032	0.021	0.100	0.100	0.100	0.074	-0.031	-0.045	-0.054	-0.001
140	0.071	0.071	0.071	0.639	0.071	0.0000	0.036	0.036	0.036	0.024	0.100	0.100	0.100	0.075	-0.046	-0.055	-0.056	-0.009
145	0.072	0.072	0.074	0.654	0.073	0.0012	0.037	0.037	0.037	0.025	0.100	0.200	0.200	0.108	-0.053	-0.047	-0.062	0.003
150	0.076	0.077	0.077	0.690	0.077	0.0006	0.039	0.038	0.039	0.026	0.200	0.200	0.200	0.142	-0.055	-0.062	-0.055	0.008

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	12.761	12.027	0.733	0.361	0.0020	114.51	56	0.579	0.545	0.562	1.614	
10	12.027	11.291	0.737	0.362	0.0020	114.51	56	0.545	0.512	0.529	1.514	1.564
15	11.291	10.591	0.700	0.344	0.0020	114.51	56	0.512	0.480	0.496	1.497	1.505
20	10.591	9.811	0.780	0.383	0.0020	114.51	56	0.480	0.445	0.463	1.259	1.378
25	9.811	9.074	0.737	0.362	0.0020	114.51	56	0.445	0.412	0.428	1.235	1.247
30	9.074	8.334	0.741	0.364	0.0020	114.51	56	0.412	0.378	0.395	1.136	1.186
35	8.334	7.605	0.729	0.358	0.0020	114.51	56	0.378	0.345	0.361	1.061	1.098
40	7.605	6.918	0.687	0.338	0.0020	114.51	56	0.345	0.314	0.329	1.027	1.044
45	6.918	6.251	0.667	0.328	0.0020	114.51	56	0.314	0.283	0.299	0.962	0.994
50	6.251	5.597	0.655	0.322	0.0020	114.51	56	0.283	0.254	0.269	0.885	0.924
55	5.597	4.991	0.605	0.298	0.0020	114.51	56	0.254	0.226	0.240	0.858	0.871
60	4.991	4.390	0.601	0.296	0.0020	114.51	56	0.226	0.199	0.213	0.770	0.814
65	4.390	3.809	0.582	0.286	0.0020	114.51	56	0.199	0.173	0.186	0.700	0.735
70	3.809	3.242	0.567	0.279	0.0020	114.51	56	0.173	0.147	0.160	0.623	0.662
75	3.242	2.716	0.526	0.259	0.0020	114.51	56	0.147	0.123	0.135	0.571	0.597
80	2.716	2.208	0.508	0.250	0.0020	114.51	56	0.123	0.100	0.112	0.496	0.534
85	2.208	1.722	0.486	0.239	0.0020	114.51	56	0.100	0.078	0.089	0.422	0.459
90	1.722	1.270	0.453	0.223	0.0020	114.51	56	0.078	0.058	0.068	0.353	0.387

	แท่งดิน ความสูง 1.5 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 56 วัน (ต่อ 2)											
Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
95	1.270	0.830	0.440	0.217	0.0020	114.51	56	0.058	0.038	0.048	0.268	0.310
100	0.830	0.436	0.394	0.195	0.0020	114.51	56	0.038	0.020	0.029	0.195	0.231
105	0.436	0.119	0.316	0.157	0.0020	114.51	56	0.020	0.005	0.013	0.128	0.162
110	0.119	0.052	0.067	0.035	0.0020	114.51	56	0.005	0.002	0.004	0.165	0.147
115	0.052	0.037	0.015	0.010	0.0020	114.51	56	0.002	0.002	0.002	0.314	0.240
120	0.037	0.030	0.007	0.005	0.0020	114.51	56	0.002	0.001	0.002	0.523	0.418
125	0.030	0.022	0.008	0.006	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.340	0.431
130	0.022	0.016	0.006	0.005	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.328	0.334
135	0.016	0.012	0.004	0.004	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.351	0.340
140	0.012	0.008	0.004	0.004	0.0020	114.51	56	0.001	0.000	0.000	0.270	0.310
145	0.008	0.002	0.005	0.005	0.0020	114.51	56	0.000	0.000	0.000	0.129	0.199
150	0.002	0	0.002	0.003	0.0020	114.51	56	0.000	0.000	0.000	0.093	0.111

แท่งดิน ความสูง 2.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 56 วัน

depth	EC (mS)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
5	10.900	10.900	10.800	97.800	10.867	0.058	5.450	5.430	5.451	5.444	22.500	22.400	22.500	22.467	0.460	0.497	0.482	0.480
10	8.436	8.507	8.500	76.329	8.481	0.039	4.220	4.255	4.250	4.242	17.400	17.500	17.500	17.467	0.449	0.453	0.447	0.450
15	11.520	11.650	11.650	104.460	11.607	0.075	5.818	5.823	5.825	5.822	23.700	24.000	24.000	23.900	0.413	0.407	0.416	0.412
20	9.450	9.465	9.472	85.161	9.462	0.011	4.750	4.733	4.788	4.757	19.500	19.500	19.500	19.500	0.365	0.371	0.373	0.370
25	11.450	11.390	11.420	102.780	11.420	0.030	5.780	5.697	5.709	5.729	23.600	23.500	23.500	23.533	0.310	0.365	0.343	0.339
30	10.850	10.940	10.970	98.280	10.920	0.062	5.455	5.471	5.487	5.471	22.400	22.500	22.600	22.500	0.284	0.293	0.287	0.288
35	11.690	11.710	11.710	105.330	11.703	0.012	5.845	5.836	5.855	5.845	24.000	24.000	24.100	24.033	0.308	0.272	0.258	0.279
40	9.973	9.989	9.924	89.658	9.962	0.034	4.956	4.988	4.956	4.967	20.500	20.600	20.400	20.500	0.228	0.241	0.239	0.236
45	11.120	11.190	11.220	100.590	11.177	0.051	5.550	5.600	5.609	5.586	22.900	23.000	23.100	23.000	0.262	0.261	0.248	0.257
50	9.887	9.863	9.870	88.860	9.873	0.012	4.929	4.912	4.941	4.927	20.300	20.200	20.200	20.233	0.306	0.291	0.288	0.295
55	13.110	13.110	13.120	118.020	13.113	0.006	6.557	6.552	6.548	6.552	27.000	27.000	27.000	27.000	0.283	0.339	0.296	0.306
60	8.043	8.025	8.063	72.393	8.044	0.019	4.002	4.014	4.022	4.013	16.500	16.500	16.600	16.533	0.327	0.314	0.332	0.324
65	8.876	8.937	8.923	80.208	8.912	0.032	4.444	4.469	4.465	4.459	18.300	18.400	18.400	18.367	0.307	0.310	0.301	0.306
70	8.859	8.893	8.923	80.025	8.892	0.032	4.418	4.448	4.466	4.444	18.200	18.300	18.400	18.300	0.304	0.315	0.309	0.309
75	7.859	7.906	7.913	71.034	7.893	0.029	3.932	3.953	3.957	3.947	16.200	16.300	16.300	16.267	0.338	0.365	0.342	0.348
80	7.758	7.895	7.936	70.767	7.863	0.093	3.898	3.949	3.960	3.936	16.000	16.200	16.300	16.167	0.330	0.360	0.340	0.343
85	6.870	6.998	6.989	62.571	6.952	0.071	3.452	3.501	3.502	3.485	14.300	14.400	14.400	14.367	0.249	0.264	0.252	0.255
90	7.122	7.100	7.094	63.948	7.105	0.015	3.551	3.552	3.551	3.551	14.600	14.600	14.600	14.600	0.260	0.225	0.219	0.235
95	6.250	6.311	6.324	56.655	6.295	0.040	3.149	3.155	3.162	3.155	12.900	13.000	13.000	12.967	0.259	0.258	0.242	0.253
100	4.758	4.790	4.829	43.131	4.792	0.036	2.377	2.406	2.404	2.396	9.800	9.900	9.900	9.867	0.229	0.196	0.157	0.194
105	3.827	3.807	3.799	34.299	3.811	0.014	1.916	1.914	1.896	1.909	7.900	7.800	7.800	7.833	0.063	0.109	-0.039	0.044
110	0.318	0.331	0.336	2.955	0.328	0.009	0.160	0.165	0.162	0.162	0.700	0.700	0.700	0.700	-0.044	-0.043	-0.039	-0.042
115	0.087	0.090	0.090	0.801	0.089	0.002	0.044	0.045	0.045	0.045	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.043	-0.038	-0.059	-0.047
120	0.075	0.079	0.079	0.699	0.078	0.002	0.038	0.039	0.040	0.039	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.057	-0.054	-0.052	-0.054
125	0.073	0.076	0.076	0.675	0.075	0.002	0.036	0.037	0.038	0.037	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.061	-0.060	-0.059	-0.060

แท่งดิน ความสูง 2.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 56 วัน (ต่อ 1)																		
depth	EC (mS)			ECe	Mean	SD	TDS (g/L)			Mean	NaCl (%)			Mean	ความชื้น (m3/m3)			Mean
130	0.076	0.076	0.075	0.681	0.076	0.001	0.036	0.037	0.038	0.037	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.066	-0.060	-0.053	-0.060
135	0.074	0.075	0.075	0.672	0.075	0.001	0.036	0.036	0.037	0.036	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.048	-0.042	-0.047	-0.046
140	0.076	0.075	0.076	0.681	0.076	0.001	0.035	0.037	0.037	0.036	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.042	-0.046	-0.043	-0.044
145	0.075	0.076	0.076	0.681	0.076	0.001	0.036	0.037	0.037	0.037	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.050	-0.047	-0.042	-0.046
150	0.075	0.076	0.076	0.681	0.076	0.001	0.036	0.036	0.036	0.036	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.072	-0.062	-0.067	-0.067
155	0.072	0.076	0.075	0.669	0.074	0.002	0.036	0.037	0.038	0.037	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.064	-0.065	-0.070	-0.066
160	0.073	0.074	0.076	0.669	0.074	0.002	0.037	0.037	0.037	0.037	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.053	-0.062	-0.053	-0.056
165	0.074	0.075	0.075	0.672	0.075	0.001	0.037	0.038	0.037	0.037	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.045	-0.047	-0.048	-0.047
170	0.072	0.073	0.075	0.660	0.073	0.002	0.037	0.036	0.035	0.036	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.035	-0.040	-0.038	-0.038
175	0.072	0.073	0.073	0.654	0.073	0.001	0.037	0.038	0.036	0.037	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.032	-0.048	-0.034	-0.038
180	0.072	0.076	0.075	0.669	0.074	0.002	0.037	0.038	0.038	0.038	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.021	-0.016	-0.010	-0.016
185	0.073	0.074	0.075	0.666	0.074	0.001	0.037	0.037	0.037	0.037	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.031	-0.033	-0.032	-0.032
190	0.072	0.072	0.073	0.651	0.072	0.001	0.036	0.036	0.036	0.036	0.100	0.100	0.100	0.100	-0.046	-0.059	-0.049	-0.051
195	0.072	0.074	0.074	0.660	0.073	0.001	0.036	0.037	0.037	0.037	0.100	0.100	0.100	0.100	-0.053	-0.051	-0.048	-0.051
200	0.076	0.077	0.078	0.693	0.077	0.001	0.038	0.039	0.039	0.039	0.200	0.200	0.200	0.200	-0.039	-0.038	-0.041	-0.039

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	11.936	11.266	0.670	0.330	0.0020	114.51	56	0.541	0.511	0.526	1.652	
10	11.266	10.600	0.666	0.328	0.0020	114.51	56	0.511	0.481	0.496	1.568	1.610
15	10.600	9.932	0.668	0.329	0.0020	114.51	56	0.481	0.450	0.466	1.472	1.520
20	9.932	9.259	0.672	0.331	0.0020	114.51	56	0.450	0.420	0.435	1.370	1.421
25	9.259	8.608	0.652	0.321	0.0020	114.51	56	0.420	0.390	0.405	1.317	1.343
30	8.608	7.968	0.640	0.315	0.0020	114.51	56	0.390	0.361	0.376	1.248	1.282
35	7.968	7.316	0.652	0.321	0.0020	114.51	56	0.361	0.332	0.347	1.133	1.190
40	7.316	6.755	0.561	0.276	0.0020	114.51	56	0.332	0.306	0.319	1.210	1.172

แท่งดิน ความสูง 2.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 56 วัน (ต่อ 2)												
Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
45	6.755	6.123	0.632	0.311	0.0020	114.51	56	0.306	0.278	0.292	0.990	1.100
50	6.123	5.516	0.607	0.299	0.0020	114.51	56	0.278	0.250	0.264	0.936	0.963
55	5.516	4.914	0.602	0.296	0.0020	114.51	56	0.250	0.223	0.237	0.850	0.893
60	4.914	4.331	0.583	0.287	0.0020	114.51	56	0.223	0.196	0.210	0.781	0.815
65	4.331	3.756	0.574	0.283	0.0020	114.51	56	0.196	0.170	0.183	0.699	0.740
70	3.756	3.200	0.557	0.274	0.0020	114.51	56	0.170	0.145	0.158	0.626	0.662
75	3.200	2.674	0.525	0.259	0.0020	114.51	56	0.145	0.121	0.133	0.565	0.595
80	2.674	2.172	0.502	0.248	0.0020	114.51	56	0.121	0.099	0.110	0.494	0.529
85	2.172	1.700	0.472	0.233	0.0020	114.51	56	0.099	0.077	0.088	0.427	0.460
90	1.700	1.263	0.437	0.216	0.0020	114.51	56	0.077	0.057	0.067	0.361	0.394
95	1.263	0.869	0.394	0.195	0.0020	114.51	56	0.057	0.039	0.048	0.297	0.329
100	0.869	0.508	0.361	0.179	0.0020	114.51	56	0.039	0.023	0.031	0.223	0.260
105	0.508	0.184	0.324	0.160	0.0020	114.51	56	0.023	0.008	0.016	0.145	0.184
110	0.184	0.072	0.112	0.057	0.0020	114.51	56	0.008	0.003	0.006	0.152	0.149
115	0.072	0.050	0.022	0.013	0.0020	114.51	56	0.003	0.002	0.003	0.300	0.226
120	0.050	0.043	0.007	0.005	0.0020	114.51	56	0.002	0.002	0.002	0.683	0.492
125	0.043	0.040	0.003	0.003	0.0020	114.51	56	0.002	0.002	0.002	1.393	1.038
130	0.040	0.036	0.004	0.004	0.0020	114.51	56	0.002	0.002	0.002	0.982	1.188
135	0.036	0.034	0.002	0.003	0.0020	114.51	56	0.002	0.002	0.002	1.511	1.247
140	0.034	0.032	0.002	0.003	0.0020	114.51	56	0.002	0.001	0.002	1.623	1.567
145	0.032	0.031	0.001	0.003	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	2.727	2.175
150	0.031	0.031	0.000	0.002	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	8.212	5.469
155	0.031	0.027	0.003	0.004	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.851	4.531
160	0.027	0.023	0.004	0.004	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.661	0.756
165	0.023	0.020	0.003	0.004	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.702	0.681

แท่งดิน ความสูง 2.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 56 วัน (ต่อ 3)												
Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
170	0.020	0.018	0.002	0.003	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.826	0.764
175	0.018	0.017	0.001	0.002	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	1.819	1.323
180	0.017	0.013	0.004	0.004	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.383	1.101
185	0.013	0.011	0.002	0.003	0.0020	114.51	56	0.001	0.001	0.001	0.632	0.508
190	0.011	0.008	0.003	0.004	0.0020	114.51	56	0.001	0.000	0.000	0.335	0.484
195	0.008	0.005	0.004	0.004	0.0020	114.51	56	0.000	0.000	0.000	0.211	0.273
200	0.005	0	0.005	0.004	0.0020	114.51	56	0.000	0.000	0.000	0.093	0.152

แท่งดิน ความสูง 2.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 77 วัน

depth	EC (mS)			ECe	Mean EC	SD	NaCl (%)			Mean NaCl	ความชื้น (m3/m3)			Mean ความชื้น
5	15.640	15.750	15.740	141.390	15.710	0.061	32.3	32.5	32.5	32.433	0.476	0.468	0.460	0.468
10	12.370	12.420	12.460	111.750	12.417	0.045	25.5	25.5	25.5	25.500	0.579	0.570	0.587	0.579
15	13.110	13.120	13.110	118.020	13.113	0.006	27.0	27.0	27.0	27.000	0.565	0.583	0.591	0.580
20	14.350	14.340	14.370	129.180	14.353	0.015	29.4	29.5	29.5	29.467	0.606	0.578	0.600	0.595
25	17.150	17.070	17.070	153.870	17.097	0.046	35.3	35.1	35.2	35.200	0.582	0.523	0.536	0.547
30	9.383	9.391	9.402	84.528	9.392	0.010	19.3	19.4	19.3	19.333	0.542	0.531	0.547	0.540
35	9.749	9.739	9.768	87.768	9.752	0.015	20.0	20.1	10.1	16.733	0.550	0.544	0.551	0.548
40	12.240	12.270	12.330	110.520	12.280	0.046	25.2	25.3	25.3	25.267	0.554	0.542	0.559	0.552
45	14.090	14.210	14.250	127.650	14.183	0.083	29.1	29.3	29.2	29.200	0.546	0.548	0.563	0.552
50	11.270	11.310	11.340	101.760	11.307	0.035	23.2	23.4	23.3	23.300	0.581	0.563	0.574	0.573
55	13.240	13.260	13.210	119.130	13.237	0.025	27.3	27.3	27.3	27.300	0.541	0.604	0.536	0.560
60	12.320	12.300	12.310	110.790	12.310	0.010	25.6	25.3	25.3	25.400	0.601	0.575	0.560	0.579
65	10.250	10.410	10.500	93.480	10.387	0.127	21.2	21.4	21.6	21.400	0.613	0.602	0.570	0.595
70	10.220	10.270	10.250	92.220	10.247	0.025	21.0	21.1	21.1	21.067	0.531	0.541	0.563	0.545
75	11.490	11.530	11.540	103.680	11.520	0.026	23.7	23.8	23.7	23.733	0.543	0.525	0.562	0.543
80	10.810	10.860	10.840	97.530	10.837	0.025	22.4	22.4	22.3	22.367	0.557	0.604	0.576	0.579
85	8.653	8.710	8.708	78.213	8.690	0.032	17.8	17.9	18.0	17.900	0.593	0.577	0.579	0.583
90	7.752	7.756	7.739	69.741	7.749	0.009	16.0	15.9	15.9	15.933	0.628	0.582	0.604	0.605
95	7.629	7.622	7.625	68.628	7.625	0.004	15.6	15.7	15.7	15.667	0.490	0.502	0.480	0.491
100	5.788	5.824	5.833	52.335	5.815	0.024	12.0	12.0	12.0	12.000	0.508	0.468	0.528	0.501
105	6.828	6.833	6.847	61.524	6.836	0.010	14.0	14.1	14.1	14.067	0.535	0.536	0.561	0.544
110	5.028	5.068	5.090	45.558	5.062	0.031	10.4	10.3	10.4	10.367	0.457	0.489	0.484	0.477
115	4.363	4.399	4.386	39.444	4.383	0.018	9.0	9.0	9.0	9.000	0.504	0.467	0.334	0.435
120	0.183	0.187	0.192	1.686	0.187	0.005	0.4	0.4	0.4	0.400	0.249	0.176	0.066	0.164
125	0.064	0.068	0.070	0.606	0.067	0.003	0.1	0.1	0.1	0.100	-0.035	-0.038	-0.041	-0.038

แท่งดิน ความสูง 2.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 77 วัน (ต่อ 1)														
depth	EC (mS)			ECe	Mean EC	SD	NaCl (%)			Mean NaCl	ความชื้น (m3/m3)			Mean ความชื้น
130	0.067	0.068	0.067	0.606	0.067	0.001	0.1	0.1	0.1	0.100	-0.043	-0.042	-0.046	-0.044
135	0.086	0.087	0.087	0.780	0.087	0.001	0.2	0.2	0.2	0.200	-0.059	-0.063	-0.061	-0.061
140	0.066	0.066	0.067	0.597	0.066	0.001	0.1	0.1	0.1	0.100	-0.057	-0.055	-0.050	-0.054
145	0.065	0.066	0.067	0.594	0.066	0.001	0.1	0.1	0.1	0.100	-0.068	-0.066	-0.073	-0.069
150	0.072	0.073	0.074	0.657	0.073	0.001	0.1	0.1	0.1	0.100	-0.069	-0.065	-0.067	-0.067
155	0.069	0.069	0.069	0.621	0.069	0.000	0.1	0.1	0.1	0.100	-0.074	-0.077	-0.068	-0.073
160	0.068	0.068	0.068	0.612	0.068	0.000	0.1	0.1	0.1	-0.072	-0.072	-0.074	-0.069	-0.072
165	0.057	0.056	0.056	0.507	0.056	0.001	0.1	0.1	0.1	-0.069	-0.069	-0.072	-0.067	-0.069
170	0.054	0.054	0.054	0.486	0.054	0.000	0.1	0.1	0.1	-0.074	-0.072	-0.076	-0.074	-0.074
175	0.059	0.059	0.059	0.531	0.059	0.000	0.1	0.1	0.1	-0.077	-0.074	-0.077	-0.079	-0.077
180	0.058	0.058	0.058	0.522	0.058	0.000	0.1	0.1	0.1	-0.077	-0.077	-0.078	-0.077	-0.077
185	0.067	0.067	0.067	0.603	0.067	0.000	0.1	0.1	0.1	-0.076	-0.076	-0.075	-0.078	-0.076
190	0.065	0.065	0.065	0.585	0.065	0.000	0.1	0.1	0.1	-0.069	-0.068	-0.071	-0.069	-0.069
195	0.068	0.068	0.068	0.612	0.068	0.000	0.1	0.1	0.1	-0.076	-0.077	-0.074	-0.078	-0.076
200	0.069	0.069	0.070	0.624	0.069	0.001	0.1	0.1	0.1	-0.077	-0.079	-0.077	-0.075	-0.077

Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
5	11.442	10.920	0.522	0.353	0.0020	114.51	77	0.519	0.495	0.507	1.478	
10	10.920	10.442	0.478	0.323	0.0020	114.51	77	0.495	0.474	0.484	1.542	1.510
15	10.442	10.017	0.426	0.288	0.0020	114.51	77	0.474	0.454	0.464	1.655	1.598
20	10.017	9.541	0.475	0.322	0.0020	114.51	77	0.454	0.433	0.443	1.422	1.538
25	9.541	9.084	0.458	0.310	0.0020	114.51	77	0.433	0.412	0.422	1.406	1.414
30	9.084	8.581	0.503	0.340	0.0020	114.51	77	0.412	0.389	0.401	1.217	1.312
35	8.581	8.067	0.513	0.347	0.0020	114.51	77	0.389	0.366	0.377	1.128	1.172
40	8.067	7.540	0.527	0.356	0.0020	114.51	77	0.366	0.342	0.354	1.032	1.080

แท่งดิน ความสูง 2.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 77 วัน (ต่อ 2)												
Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
45	7.540	6.999	0.541	0.366	0.0020	114.51	77	0.342	0.317	0.330	0.940	0.986
50	6.999	6.456	0.543	0.367	0.0020	114.51	77	0.317	0.293	0.305	0.869	0.905
55	6.456	5.933	0.523	0.354	0.0020	114.51	77	0.293	0.269	0.281	0.832	0.851
60	5.933	5.419	0.514	0.348	0.0020	114.51	77	0.269	0.246	0.257	0.778	0.805
65	5.419	4.924	0.495	0.335	0.0020	114.51	77	0.246	0.223	0.235	0.739	0.758
70	4.924	4.435	0.489	0.331	0.0020	114.51	77	0.223	0.201	0.212	0.680	0.709
75	4.435	3.964	0.472	0.319	0.0020	114.51	77	0.201	0.180	0.190	0.634	0.657
80	3.964	3.512	0.452	0.306	0.0020	114.51	77	0.180	0.159	0.170	0.591	0.613
85	3.512	3.069	0.442	0.299	0.0020	114.51	77	0.159	0.139	0.149	0.535	0.563
90	3.069	2.646	0.423	0.287	0.0020	114.51	77	0.139	0.120	0.130	0.489	0.512
95	2.646	2.232	0.414	0.280	0.0020	114.51	77	0.120	0.101	0.111	0.431	0.460
100	2.232	1.837	0.395	0.268	0.0020	114.51	77	0.101	0.083	0.092	0.381	0.406
105	1.837	1.467	0.370	0.251	0.0020	114.51	77	0.083	0.067	0.075	0.335	0.358
110	1.467	1.097	0.369	0.250	0.0020	114.51	77	0.067	0.050	0.058	0.268	0.301
115	1.097	0.782	0.315	0.214	0.0020	114.51	77	0.050	0.035	0.043	0.235	0.251
120	0.782	0.603	0.179	0.123	0.0020	114.51	77	0.035	0.027	0.031	0.294	0.264
125	0.603	0.528	0.074	0.052	0.0020	114.51	77	0.027	0.024	0.026	0.546	0.420
130	0.528	0.481	0.048	0.034	0.0020	114.51	77	0.024	0.022	0.023	0.749	0.647
135	0.481	0.440	0.041	0.029	0.0020	114.51	77	0.022	0.020	0.021	0.794	0.772
140	0.440	0.400	0.039	0.028	0.0020	114.51	77	0.020	0.018	0.019	0.754	0.774
145	0.400	0.362	0.038	0.028	0.0020	114.51	77	0.018	0.016	0.017	0.701	0.728
150	0.362	0.324	0.038	0.028	0.0020	114.51	77	0.016	0.015	0.016	0.639	0.670
155	0.324	0.289	0.035	0.025	0.0020	114.51	77	0.015	0.013	0.014	0.630	0.634
160	0.289	0.255	0.034	0.025	0.0020	114.51	77	0.013	0.012	0.012	0.578	0.604
165	0.255	0.224	0.032	0.023	0.0020	114.51	77	0.012	0.010	0.011	0.544	0.561

แท่งดิน ความสูง 2.0 เมตร จำนวนวันที่ใช้ในการทดลอง 77 วัน (ต่อ 3)												
Depth	$Q_{in}\ (cm^3/day)$	$Q_{out}\ (cm^3/day)$	$\Delta S\ (cm^3/day)$	$\theta_{n,t}$	$\theta_{n,0}$	V (cm/day)	Δt (day)	$q_{in\ (cm/day)}$	$q_{out}\ (cm/day)$	$\overline{q_n}\ (cm/day)$	$v_{in}\ (cm/day)$	$v_{in*}\ (cm/day)$
170	0.224	0.192	0.032	0.024	0.0020	114.51	77	0.010	0.009	0.009	0.472	0.508
175	0.192	0.160	0.032	0.024	0.0020	114.51	77	0.009	0.007	0.008	0.404	0.438
180	0.160	0.127	0.033	0.024	0.0020	114.51	77	0.007	0.006	0.007	0.329	0.367
185	0.127	0.095	0.032	0.023	0.0020	114.51	77	0.006	0.004	0.005	0.271	0.300
190	0.095	0.063	0.033	0.024	0.0020	114.51	77	0.004	0.003	0.004	0.197	0.234
195	0.063	0.032	0.031	0.023	0.0020	114.51	77	0.003	0.001	0.002	0.138	0.168
200	0.032	0	0.032	0.024	0.0020	114.51	77	0.001	0.000	0.001	0.067	0.103