

การดูดซับและการจำลองการเคลื่อนตัวของสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอส
(Chlorpyrifos) สู่ชั้นน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม: กรณีศึกษา
พื้นที่ตำบลหัวเรือ จังหวัดอุบลราชธานี

นางสาวชุตินันท์ ลิ้มปกาญจน์เวช

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

วันที่ส่ง/...../.....
วันที่อนุมัติ/...../.....

.....
(อาจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อ(ภาษาไทย)	การดูดซับและการจำลองการเคลื่อนตัวของสารฆ่าแมลงคลอริไพริฟอส (Chlorpyrifos) สู่ชั้นน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม: กรณีศึกษาพื้นที่ตำบลหัวเรือ จังหวัดอุบลราชธานี
ชื่อ-สกุล	นางสาวชุตินันท์ ลิ้มปกาญจน์เวช 4932705023
นิสิตภาควิชา	ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์
ระดับการศึกษา	ปริญญาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีเกษตรเป็นปริมาณมากเนื่องจากความต้องการผลิตผลทางการเกษตรที่มากขึ้น ดังนั้นอาจมีโอกาสนในการปนเปื้อนของสารเคมีดังกล่าวสู่ดินและน้ำใต้ดิน สำหรับการศึกษานี้เลือกพื้นที่ศึกษาที่ตั้งอยู่ในบริเวณตำบลหัวเรือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยบริเวณนี้มีการทำการเกษตรตลอดทั้งปีและในบริเวณพื้นที่มีบ่อน้ำบาดาลและน้ำใต้ดินกระจายอยู่ ที่สำคัญเกษตรกรรมใหญ่ใช้น้ำจากบ่อน้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภคและบริโภค จากการสำรวจภาคสนามเบื้องต้นพบว่าเกษตรกรรมมีการใช้สารฆ่าแมลงที่มีส่วนผสมของคลอริไพริฟอส (Chlorpyrifos) เป็นจำนวนมากที่สุด ดังนั้นพื้นที่ดังกล่าวน่าจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงจากดินและสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

ความสามารถในการดูดซับของคลอริไพริฟอส (Chlorpyrifos) บนดินเป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการกระจายตัวของสารฆ่าแมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองแบบแบบแบทช์ (batch experiment) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแบบ Freundlich (K_f) ของดินตัวอย่างที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นทราย(sand) โดยใช้สัดส่วนของ ดินต่อน้ำ(g/ml) เท่ากับ 1:15 และ ทำการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องโดยมีการควบคุมความเป็นกรดต่าง และ ionic strength ให้ใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรดต่าง และ ionic strength ของพื้นที่ศึกษา จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าดินตัวอย่างมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแบบ Freundlich เท่ากับ 157.398 L/kg ($n = 4.4$) และหาความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristic curve) ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และพบว่าสมการของ van Genuchten (VG) อธิบายสมบัติดังกล่าวได้ดีกว่าสมการของ Brooks และ Corey (BC) นอกจากนี้ได้นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองข้างต้นในการจำลองโดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Hydrus 1D เพื่ออธิบายการเคลื่อนตัวและการตกค้างในดินที่อาจเกิดขึ้นในกรณีต่างๆ และช่วยประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนต่อดินและน้ำใต้ดินในอนาคต

คำสำคัญ : คลอริไพริฟอส; สัมประสิทธิ์การดูดซับ; ชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ; Hydrus 1D

Project title (English)	SORPTION AND MODELING TRANSPORT OF CHLORPYRIFOS THROUGH SHALLOW GROUNDWATER AQUIFER IN AN AGRICULTURAL AREA: A CASE STUDY OF HUA RUA AREA, CHANGWAT UBON RATCHATANI.
Researcher	Miss Chutinun Limpakanwech 4932705023
Department	Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Advisor	Dr. Srilert Chotpantarat
Co-Advisor	Assist. Prof. Dr. Chakkaphan Sutthirat
Academic year	2009

Most of agricultural areas in Tambon Hua Rua, Changwat Ubon Ratchatani have long been intensively applied agrochemicals in agricultural activities that may in turn impact negatively to the environment including human health. Soil water characteristic curve (SWCC), relationship between water contents (θ) and suction pressures head (ψ) of soil core samples were measured at variable suction pressure heads to carry out properties of unsaturated soil. RETC program was applied to estimate unsaturated parameters; consequently, Van Genuchten (VG) could explain SWCC with high correlation coefficient ($R > 0.99$) that is clearly better than Brooks and Corey (BG). The batch experiment was designed to derive Freundlich sorption coefficient (K_f) value yielding 157.398 L/kg ($n = 4.4$) at certain mass to solution ratio of 1:15 with contact time of 24h at 25°C. Finally, HYDRUS-1D modeling showed that chlorpyrifos transported through the topsoil with an approximate depth of 100 cm.

Keywords: sorption; chlorpyrifos; HYDRUS-1D; soil water characteristic curve

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ซึ่งกรุณาสละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม และอาจารย์มาละดี ทัยคุปต์ ที่ให้คำแนะนำตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณพี่จินดารัตน์ ชื่นรุ่ง (พี่หน่อย) ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในเรื่องการทำการทดลองเกี่ยวกับลักษณะของดิน และพี่ๆที่กรมวิชาการเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่คอยดูแลและให้ความช่วยเหลือมาตลอดระหว่างทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.วัฒน์สิทธิ์ ศิริวงศ์ อาจารย์สุมนา สิริพัฒนา พี่ศักชัยและพี่กาญจนาที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ตลอดจนคอยดูแลในระหว่างทำการออกภาคสนามที่จังหวัดอุบลราชธานี

ขอขอบพระคุณ The Thai Fogarty ITREOH Center ที่คอยสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภาคิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงประสบการณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณพี่จิระประภา เนียมปาน พี่บรรจง พวงทอง และพี่บุศลากรภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสในการศึกษาครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
1.4 นิยามปัญหา	8
1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
1.6 สมมติฐานในการวิจัย	8
1.7 พื้นที่ศึกษา	9
1.8 ขอบเขตงานวิจัย	10
1.9 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	10
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย	11
2.2 การรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ตัวอย่าง	14

	หน้า
บทที่ 3 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	
3.1 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของดิน	23
3.2 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางเคมีของดิน	38
3.3 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยโปรแกรม HYDRUS-1D	40
บทที่ 4 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	
4.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	48
4.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดิน 9 ชนิดที่ได้จากการศึกษาวิจัยของ Kah และ Brown (2007)	4
ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง	15
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	33
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความหนาแน่นรวม และค่าความพรุนของดินตัวอย่าง	37
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่	38
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0), C_{aq} และ C_s	39
ตารางที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์ของดินทรายที่ได้จากโปรแกรม RETC	40
ตารางที่ 4.1 แสดงระดับน้ำใต้ดินที่วัดได้จากบ่อน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา	50

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณการนำเข้าสู่สารฆ่าแมลง (ตัน) ของประเทศไทยใน พ.ศ.2537-2548 สารฆ่าแมลงที่ใช้ประเทศไทยส่วนมากมาจากการนำเข้า	1
รูปที่ 1.2 ชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	5
รูปที่ 1.3 Soil Water Characteristic Curve ของ Sand Silt และ Clay	6
รูปที่ 1.4 ลักษณะการดูดซับ และสมการการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ	8
รูปที่ 1.5 แสดงแผนที่ของบริเวณที่ศึกษา	9
รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการศึกษา	13
รูปที่ 2.2 แผนที่ขอบเขตบริเวณที่ศึกษาและตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	14
รูปที่ 2.3 การเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ	15
รูปที่ 2.4 การเก็บตัวอย่างดินแบบแปรสภาพ	16
รูปที่ 2.5 วิธีการสุ่มตัวอย่างมาหาประเภทเนื้อดินในการทำ Sieve Analysis Test และเครื่อง Sieve Shaker	17
รูปที่ 2.6 แสดงอุปกรณ์และลักษณะการทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	18
รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างแท่งดินที่แช่น้ำเพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วย และลักษณะการบรรจุตัวอย่างลงใน Pressure chamber	20
รูปที่ 2.8 แสดงเครื่อง Pressure chamber และหน้าปัดที่ใช้ปรับความดันของเครื่อง	20
รูปที่ 2.9 ขวดสีชาที่ใช้ในการทดลอง	22
รูปที่ 2.10 เครื่องเขย่า และลักษณะการวางตัวอย่างในเครื่องเขย่า	22
รูปที่ 3.1 แสดงการกระจายขนาดของดินของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 1	23
รูปที่ 3.2 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 1	24
รูปที่ 3.3 แสดงการกระจายขนาดของดินของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 2	25
รูปที่ 3.4 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 2	26
รูปที่ 3.5 แสดงการกระจายขนาดของดินของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 3	27
รูปที่ 3.6 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 3	28
รูปที่ 3.7 แสดงการกระจายขนาดของดินของตัวอย่างดินตำแหน่ง 4	29

ภาพที่	หน้า
รูปที่ 3.8 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 4	30
รูปที่ 3.9 แสดงการกระจายขนาดของดินตัวอย่างทั้ง 4 ตำแหน่ง	31
รูปที่ 3.10 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษของตัวอย่างดินทั้ง 4 ตำแหน่ง	32
รูปที่ 3.11 แสดง soil water characteristics curve ก) ตำแหน่งที่ 1	35
รูปที่ 3.12 แสดง soil water characteristics curve ข) ตำแหน่งที่ 2	36
รูปที่ 3.13 แสดง soil water characteristics curve ค) ตำแหน่งที่ 3	36
รูปที่ 3.14 แสดง soil water characteristics curve ง) ตำแหน่งที่ 4	37
รูปที่ 3.15 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับคลอไรด์ไฟรฟอสจากดินทราย	39
รูปที่ 3.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฆ่าแมลงที่ ความลึก 10 เซนติเมตรจากผิวดินตามเวลา	41
รูปที่ 3.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฆ่าแมลงที่ ความลึก 25 เซนติเมตรจากผิวดินตามเวลา	41
รูปที่ 3.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฆ่าแมลงที่ ความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดินตามเวลา	42
รูปที่ 3.19 แสดงการลดลงของปริมาณสารฆ่าแมลงตามความลึก หลังการฉีดพ่นสารฆ่าแมลง 1 วัน	43
รูปที่ 3.20 แสดงการลดลงของปริมาณสารฆ่าแมลงตามความลึก หลังการฉีดพ่นสารฆ่าแมลง 15 วัน	43
รูปที่ 3.21 แสดงการลดลงของปริมาณสารฆ่าแมลงตามความลึก หลังการฉีดพ่นสารฆ่าแมลง 30 วัน	44
รูปที่ 3.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของน้ำในดิน (water content) ที่ความลึก 10, 25, และ 100 เซนติเมตรจากผิวดิน ตามเวลา	45
รูปที่ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของน้ำในดิน (water content) ที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก ในวันที่ 1, 15 และ 30 กันยายน 2552	45

ภาพที่	หน้า
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดินที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ และตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน	50
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะและความลึกของดินในบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างดินส่งวิเคราะห์	51
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารฆ่าแมลงที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก โดยทำการเปรียบเทียบผลของอัตราการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอส	52
รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฆ่าแมลงที่ความลึก 5 และ 10 เซนติเมตร จากผิวดินตามเวลา	53

บทที่ 1

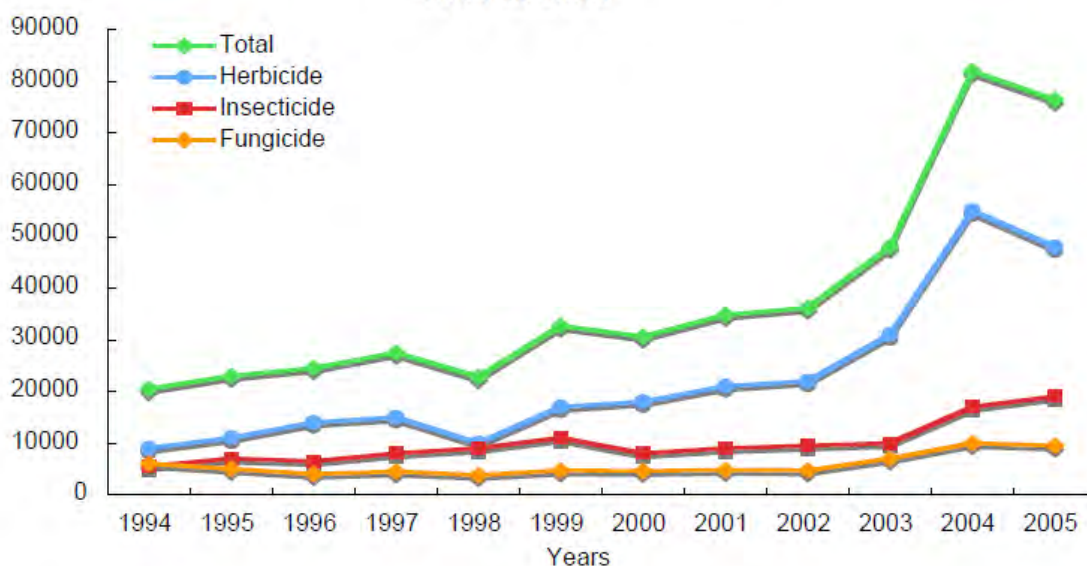
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่พึ่งพาการเกษตรเป็นหลัก อาชีพเกษตรกรรมยังคงเป็นอาชีพของประชากรส่วนใหญ่ในประเทศ และจากรายงานการสำรวจขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) พบว่าประเทศไทยมีเนื้อที่ทำการเกษตรมากเป็นอันดับที่ 48 ของโลก แต่ใช้สารฆ่าแมลงมากเป็นอันดับ 5 ของโลก ใช้สารฆ่าหญ้าเป็นอันดับ 4 ของโลก (กันทิมา ลีจันท์ก, 2552) โดยพบว่าการปลูกผักและผลไม้เป็นกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการใช้สารฆ่าแมลงสูงที่สุด เพราะมีความต้องการในการบริโภคสูง

สารฆ่าแมลงถูกนำเข้ามายังประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ.2509 ปริมาณการนำเข้าสารฆ่าแมลงได้เพิ่มขึ้นอย่างมากทุกปี (รูปที่ 1.1) และสารฆ่าแมลงส่วนมากที่ใช้ในประเทศมาจากการนำเข้าจากต่างประเทศ (Tirado และ คณะ, 2551) ปริมาณการนำเข้าสารฆ่าแมลงสำหรับการเกษตรเพิ่มขึ้นอย่างมากใน พ.ศ.2537- 2548 (รูปที่ 1.1) ใน พ.ศ.2537 สารฆ่าแมลงที่นำเข้ามากที่สุด คือ สารฆ่าแมลงกลุ่มออกแกโนฟอสเฟต รองลงมาคือ คาร์บอเนต ในพ.ศ.2543 สารฆ่าแมลงกลุ่มออกแกโนฟอสเฟตยังคงมีสถิติการนำเข้าสูงเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ คาร์บอเนตและออกแกโนคลอรีน (Tirado และ คณะ, 2551) จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าสารฆ่าแมลงกลุ่มออกแกโนฟอสเฟตมีการนำเข้ามามากที่สุด

Imports of agricultural pesticides in Thailand from 1994 to 2005



รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณการนำเข้าสารฆ่าแมลง (ตัน) ของประเทศไทยใน พ.ศ.2537-2548 สารฆ่าแมลงที่ใช้ในประเทศไทยส่วนมากมาจากการนำเข้า (Tirado และ คณะ, 2551)

คลอริไฟริฟอสเป็นสารฆ่าแมลงที่อยู่ในกลุ่มออกแกโนฟอสเฟตซึ่งมีความเป็นพิษมาก เป็นอันตรายเมื่อกินหรือหายใจเข้าไป อาจระคายเคืองผิวหนัง ถ้าได้รับสารเป็นระยะเวลานานอาจมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำลายตับหรือไต ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา น้ำตาไหล ตาบวม ตาแดง และมองภาพไม่ชัดเจน คลอริไฟริฟอสมีผลยับยั้งการทำงานของ Cholinesterase enzyme ซึ่งพบในเนื้อเยื่อประสาท เซลล์เม็ดเลือดแดง และพลาสมา ถ้าได้รับสารมากเกินไปจะเกิดอาการภายใน 24 ชั่วโมง ทำให้ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ม่านตาหดตัว เห็นภาพไม่ชัดเจน มีน้ำมูกหรือน้ำลาย เหงื่อออกมาก ปวดท้องเกร็ง ชี้น้ำแรงทำให้หมดสติ ชัก หายใจลำบาก อาจตายได้เนื่องจากระบบหายใจและหัวใจล้มเหลว มีความเป็นพิษมากต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตในน้ำ (โชติมา วิไลวัลย์, 2549; ATSDR, 1997)

พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณตำบลหัวเรือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งในปี 2547-2548 เกษตรกรมีการเพาะปลูกพริกพันธุ์หัวเรือถึงประมาณ 4,000 ตัน ในจำนวนสมาชิกผู้ผลิตพริกราว 1,800 ครัวเรือน (สำนักพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจ, 2548) ซึ่งบริเวณที่ปลูกพริกเกือบทุกที่จะมีบ่อน้ำบาดาลและน้ำใต้ดินกระจายอยู่ทั่วบริเวณ ซึ่งบางบริเวณมีการตั้งถังผสมสารเคมีติดกับบ่อน้ำใต้ดินและบ่อน้ำบาดาล และที่สำคัญเกษตรกรบางรายมีการอุปโภคน้ำจากบ่อน้ำใต้ดินโดยตรง บริเวณพื้นที่ศึกษาจากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าเกษตรกรมีการใช้สารฆ่าแมลงที่มีส่วนผสมของคลอริไฟริฟอสเป็นจำนวนมากที่สุด จากข้อมูลเบื้องต้นพื้นที่ดังกล่าวน่าจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน การดูดซับเป็นคุณสมบัติที่มีผลอย่างมากต่อการกระจายตัวของยาฆ่าแมลงผ่านชั้นดินสู่ชั้นน้ำใต้ดินและระบบน้ำบาดาลโดยเฉพาะน้ำบาดาลระดับตื้น (Kah และ Brown, 2550) ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมเคลื่อนตัวของสารฆ่าแมลงผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำสู่ระดับน้ำใต้ดินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการตรวจวัดสารฆ่าแมลงในภาคสนามนั้นเป็นการวิเคราะห์ที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงดังนั้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายการกระจายตัวที่จะเกิดขึ้นในอนาคตจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการประเมินความเสี่ยงของการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ต่างๆ ดังนั้นในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติการดูดซับของคลอริไฟริฟอสในดินบริเวณดังกล่าวตลอดจน ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการจำลองการเคลื่อนตัวของคลอริไฟริฟอสสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (shallow groundwater) และท้ายที่สุดเพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของคลอริไฟริฟอสสู่ชั้นน้ำใต้ดินในอนาคต

1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chatupote และ Panapitukkul (2005) ได้เสนอผลการศึกษาศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลงปริมาณสูงในพื้นที่เกษตรกรรมในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา ในปี 2005 ได้ทำการศึกษาโดยทำการเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ทำให้พบไนเตรตสะสมเพิ่มขึ้นในดินชั้นบน และทำให้มีแนวโน้มสูงที่จะเกิดการปนเปื้อนเคมีเกษตรในน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าว

Du และ Hayashi (2006) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับแคดเมียม (Cd^{2+}) โดย Ariake clay ที่อยู่ภายใต้หลุมฝังกลบขยะ โดยทำการวัดความเร็วและปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปของแคดเมียม (Cd^{2+}) ในการเคลื่อนที่ผ่านชั้น Ariake clay เป็นระยะทาง 5 เมตร และนำไปคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ และนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้และที่เกี่ยวข้องทั้งหมดไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Pollute V6.3 โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองแบบ classical batch method และใช้สัดส่วนของ soil-water(g/g) เท่ากับ 1:1.3, 1:4, 1:10 และ 1:20 โดยใช้ดิน 100, 50, 20 และ 10 g ตามลำดับ ต่อสารละลาย ที่มีส่วนผสมของแคดเมียม (Cd^{2+}) เท่ากับ 10.7, 25.1, 40.1 และ 69.6 mg/L ผลการทดลองพบว่าในสัดส่วน soil-water(g/g) ได้ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารละลายแคดเมียม (Cd^{2+}) ที่เหลือจากการดูดซับของดินเท่ากับ 2.3×10^3 , 1.7×10^3 , 1.4×10^3 และ 1.1×10^3 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ

Fredlund และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาวิจัยและเสนอวิธีการสร้าง soil-water characteristic curve (SWCC) จาก Grain size distribution curve โดยผลของการสร้าง SWCC ดังกล่างมีความถูกต้อง โดยเฉพาะ Sand และ Silt แต่ไม่สามารถประยุกต์วิธีดังกล่าวมาใช้กับ Clay ได้เนื่องจากเป็นผลมาจากลักษณะของแรงยึดที่เป็นผลต่อความเป็นรูพรุนของ Clay ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย

Garcia และคณะ (1992) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสของดินบริเวณเมืองอัลเมริอา(Almeria) ประเทศสเปน โดยทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแบบ isotherms และทำการทดลองแบบ batch method ที่อุณหภูมิ 30°C ทำการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจนดินอิ่มตัวด้วยสารละลาย ได้ผลการทดลองดังนี้

Kah และ Brown (2007) ได้ทำการศึกษาการดูดซับสารฆ่าแมลง 6 ชนิดคือ 2,4-D, dicamba, fluoxypyr, fluazifop-P, metsulfuron-methyl and flupyrsulfuron-methyl ในดิน 9 ชนิด โดยดินแต่ละชนิดมีลักษณะเนื้อดิน ค่า cation exchange capacity (CEC) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูงและค่าอื่นๆ ที่ต่างกัน โดยทำการทดลองหาค่าการดูดซับ 2 วิธีคือ classical batch method และ centrifugation method โดยวิธี centrifugation method จะทำการวัดค่าการดูดซับในวันที่ 1 และวันที่ 7 ของการทำการทดลอง จากการทดลองพบว่าวิธี classical batch method เหมาะสมกับดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูง และวิธี centrifugation method เหมาะสมกับดินที่มีค่า cation exchange capacity (CEC) สูง

ตารางที่ 1.1 แสดงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดิน 9 ชนิดที่ได้จากการศึกษาวิจัยของ Kah และ Brown (2007)

Location	%clay	%OM	pH	Conc _i (mg/l)	S:W (g:ml)	Kd (L/mg)
AI-01 (Brown clay, Amanzora Alto)	13.1	2.02	8.5	10	0.25:100	687
AI-02 (Brown Lime, Almanzora Bajo)	14.3	2.55	8.9	10	0.25:100	685
AI-03 (Rendzine, Andarax Gador)	7.8	1.12	8.1	10	0.25:100	435
AI-04 (Saline, Campo Dalias)	4.1	2.84	8.2	10	0.25:100	961
AI-05 (Volcanic, Campo Nijar)	5.9	0.64	8.7	10	0.25:100	471
AI-06 (Desert, Campo Tabernas)	12.2	0.57	7.9	10	0.25:100	550
AI-07 (Brown Lime, Los Velez)	14.1	3.55	8.1	10	0.25:100	583
AI-08 (Alluvial, Rio Nacimiento)	11.7	1.57	8	10	0.25:100	506

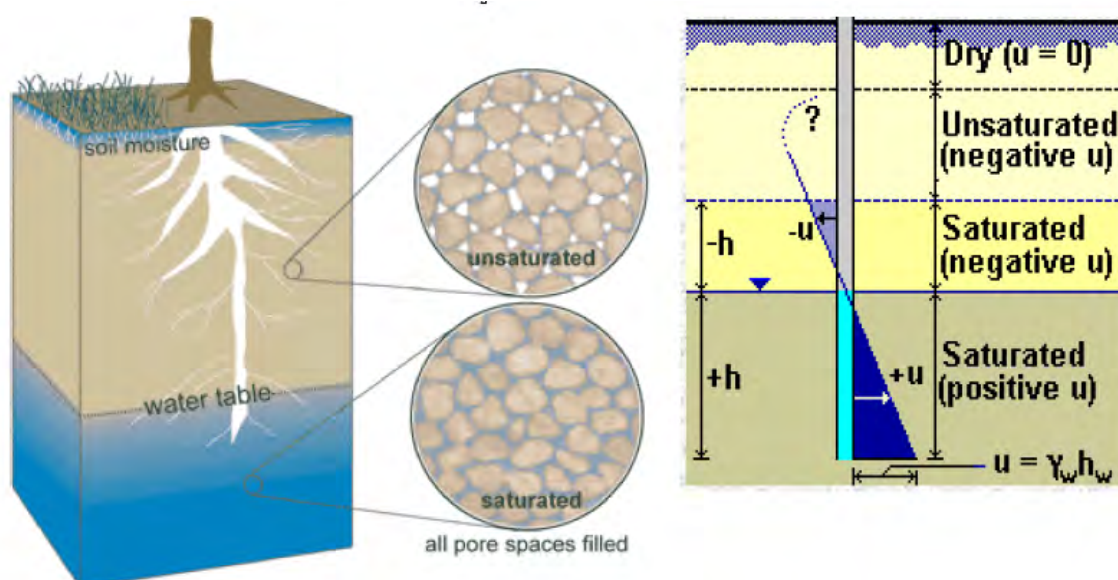
Kumar and Philip (2006) ได้ศึกษาการดูดซับของ Endosulfan ของดิน 4 ชนิดในอินเดีย งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการ Adsorption และ desorption ของ Endosulfan ในดิน 4 ชนิดซึ่งดินแต่ละชนิดจะมีปริมาณสารอินทรีย์ (organic matter content) เปอร์เซ็นต์ของดินเหนียว (clay content) และอื่นๆ แตกต่างกันไปซึ่งมีผลต่อการ Adsorption และ desorption ของ Endosulfan โดยได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแบบเชิงเส้น (linear adsorption)

Spark และ Swift (2002) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการทำการทดลองหาค่าการดูดซับสารฆ่าแมลง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สารฆ่าแมลงคือ Atrazine, 2,4-D, Isoproturon และ Paraquat โดยเลือกใช้ดินที่มีแร่องค์ประกอบและปริมาณอินทรีย์วัตถุต่างกันดังนี้คือ 1.Sonning I soil มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.25% ดินจากบริเวณที่มีการเพาะปลูก 2.Sonning II soil มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 2.05% ดินบริเวณทุ่งหญ้า 3.Sonning III soil มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 3.30% ดินบริเวณป่าไม้ 4.Denchworth มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 3.25% ดินที่มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุคล้ายกับดิน Sonning III แต่มีเนื้อดินมีลักษณะเล็กกว่า 5.Broad มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 6.3% เป็นดินที่มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุสูง โดยผลการทดลองพบว่าปริมาณของอินทรีย์วัตถุ และชนิดของแร่มีผลต่อการดูดซับสารฆ่าแมลงในดิน แต่ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีอิทธิพลต่อการดูดซับมากที่สุด โดยพบว่าดินที่มีปริมาณของอินทรีย์สูงจะมีการดูดซับสารฆ่าแมลงได้ดี

1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 ชั้นน้ำใต้ดิน

ชั้นน้ำใต้ดินเกิดจากการที่ฝนตกลงมาที่ผิวดินแล้วเกิดการซึมลงสู่ใต้ดินด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้ดินแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ดินชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated zone) กับดินชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated zone) ชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะอยู่ใต้ชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยมีระดับน้ำใต้ดิน (Water table) เป็นเส้นแบ่ง ดังแสดงในรูป 1.2 ดินชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำนั้นบริเวณรูพรุนทั้งหมดจะถูกเติมด้วยน้ำทำให้มีค่าแรงดันจากผลของน้ำ (u) มีค่าเป็นบวก ในทางกลับกันบริเวณรูพรุนของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีน้ำเติมอยู่แค่บางส่วนส่งผลให้ความดันมีค่าติดลบ



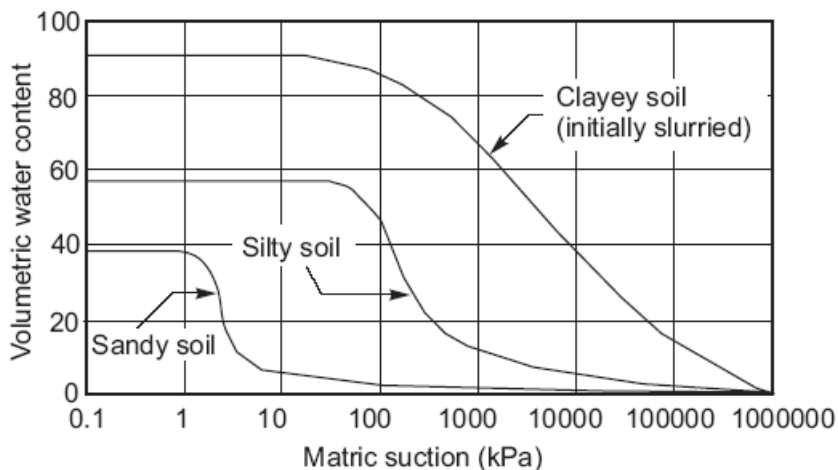
รูปที่ 1.2 ชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

(http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=99)

1.3.2 ความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน (Soil Water Characteristic Curve)

Soil Water Characteristic Curve (SWCC) เป็นกราฟที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณความชื้นในดิน (Volumetric Water Content) คิดเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร กับ ค่าความดัน ภายใต้ภาวะสมดุล (รูปที่ 1.3) ความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดินเป็นสมบัติที่สำคัญของดิน ที่แสดงถึงการกระจายตัวของช่องว่างภายในดิน ซึ่งจะขึ้นกับลักษณะของเนื้อดินและโครงสร้างของดิน และปริมาณอินทรีย์สารในดิน (Organic matter) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับสมบัติทางชลศาสตร์ที่ต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำ รวมถึงนำมาประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์พฤติกรรมของน้ำภายใน

ช่องว่างของดิน ลักษณะของความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน มีความแตกต่างกันตามลักษณะของเนื้อดินซึ่งมีผลต่อค่าความพรุนของดิน รวมถึงการกระจายตัวของรูพรุนที่ต่างกันไป



รูปที่ 1.3 Soil Water Characteristic Curve ของ Sand Silt และ Clay (Fredlund and Xing, 1994)

สมการที่นำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน ได้แก่

1. van Genuchten Equation (VG)

$$\phi = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha h_m)^n} \right]^m$$

- ϕ คือ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในตัวอย่างที่นำมาทดลอง
- θ คือ ปริมาณความชื้นในตัวอย่างที่นำมาทดลอง (cm^3/cm^3)
- θ_r คือ ปริมาณความชื้นที่ตกค้างอยู่ในตัวอย่างที่นำมาทดลอง (cm^3/cm^3)
- θ_s คือ ปริมาณความชื้นอิ่มตัวตามธรรมชาติ (cm^3/cm^3)
- h_m คือ ความดันที่วัดจากเครื่องวัด (- m)
- m, n คือ ตัวเลขปรับรูปแบบความสัมพันธ์ของ soil Water characteristic curve โดยมีความสัมพันธ์ $m = 1 - \frac{1}{n}$

2. Brooks and Corey Constitution (BC)

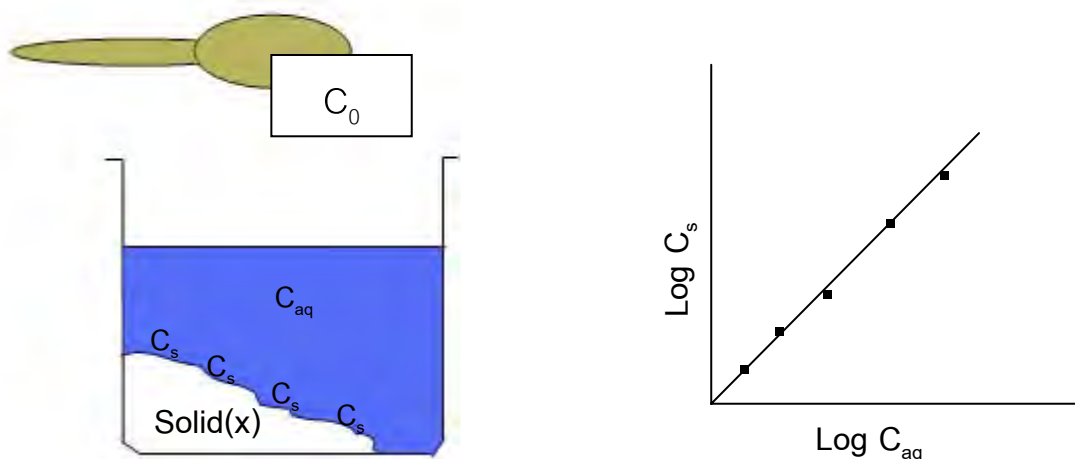
$$\phi = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{h_{m,a}}{h_m} \right]^\lambda \quad \text{for } h_m < h_{m,a}$$

$$\phi = \frac{\theta}{\theta_s} = 1 \quad \text{for } h_m \geq h_{m,a}$$

- ϕ คือ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในตัวอย่างที่นำมาทดลอง
- θ คือ ปริมาณความชื้นในตัวอย่างที่นำมาทดลอง (cm^3/cm^3)
- θ_r คือ ปริมาณความชื้นที่ตกค้างอยู่ในตัวอย่างที่นำมาทดลอง (cm^3/cm^3)
- θ_s คือ ปริมาตรความชื้นอิ่มตัวตามธรรมชาติ (cm^3/cm^3)
- h_m คือ ความดันที่วัดจากเครื่องวัด (- m)
- $h_{m,a}$ คือ ความดันของอากาศ (- m)
- λ คือ ตัวเลขดัชนีของการกระจายของรูพรุน

1.3.3 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับมีผลต่อการเคลื่อนตัวและการสลายตัวของสารฆ่าแมลง การดูดซับเป็นปฏิกิริยาของแรงที่บริเวณผิวของตัวดูดซับ (adsorbate, x) ทำให้โมเลกุลของสารเหล่านั้นถูกยึดไว้โดยกลไกหลายกลไก เช่น แรง Van der Waals การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanged) ทั้งแคตไอออนและแอนไอออน การเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และการเกิดโคออร์ดิเนชันเชิงซ้อน (coordination complex) เป็นต้น (ชูชาติ สันทรทรัพย์, 2552) โดยสมบัติการดูดซับของดินสามารถหาได้โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (sorption coefficient, K_d) ซึ่งสามารถหาได้จากการทำการทดลอง ในการทำการทดลองนั้นเราจำเป็นต้องทราบถึงความเข้มข้นของสารละลายเริ่มแรก (initial concentration, C_0) เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของดินนั้นๆ ดังรูปที่ 1.4



$$C_s = K_f (C_{aq})^{1/n}$$

K_f คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับแบบ Freundlich

C_s คือ ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับด้วยดิน, มิลลิกรัมต่อกกรัม

C_{aq} คือ ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในสารละลาย, มิลลิกรัมต่อลิตร

n คือ Freundlich exponent

รูปที่ 1.4 ลักษณะการดูดซับ และสมการการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ

1.4 นิยามปัญหา

พฤติกรรมของการดูดซับและการเคลื่อนตัวของคลอไรด์ไฟรฟอสฟอรัสในน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลหัวเรือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี มีลักษณะเป็นอย่างไร

1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

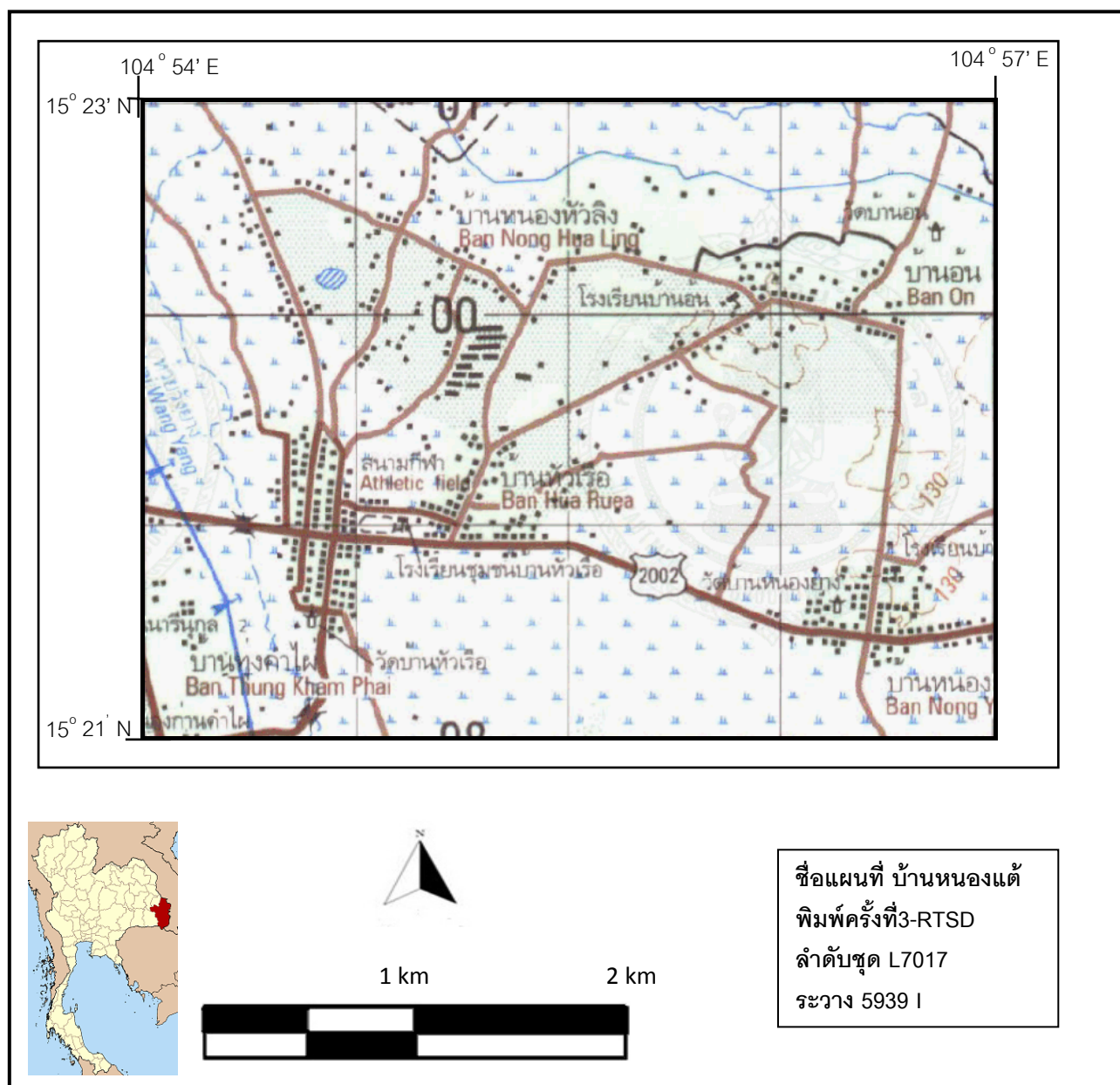
1. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated zone)
2. เพื่ออธิบายและคาดการณ์การเคลื่อนตัวของคลอไรด์ไฟรฟอสฟอรัสในน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ (HYDRUS-1D)

1.6 สมมติฐานในการวิจัย

สมบัติของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำและความสามารถในการดูดซับของดินในบริเวณที่ศึกษามีผลต่อการเคลื่อนตัวของคลอไรด์ไฟรฟอสฟอรัสในน้ำใต้ดิน

1.7 พื้นที่ศึกษา



รูปที่ 1.5 แสดงแผนที่ของบริเวณที่ศึกษา

ตำบลหัวเรือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ครอบคลุมแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ระวาง 5939I พิกัดอยู่ระหว่าง ลองติจูด $104^{\circ} 54' E$ ถึง $104^{\circ} 57' E$ และละติจูด $15^{\circ} 21' N$ ถึง $15^{\circ} 23' N$ รวมเนื้อที่ประมาณ 12 ตารางกิโลเมตร

1.8 ขอบเขตของการศึกษา

1. ตัวอย่างดินที่ใช้เก็บมาจากตำบลหัวเรือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
2. เลือกใช้คลอไรไฟริฟอสเป็นตัวแทนของสารฆ่าแมลง
3. การวิเคราะห์ขนาด และจำแนกอนุภาคเม็ดดินใช้วิธีการ sieve analysis โดยใช้ตะแกรงร่อนเบอร์ 4, 10, 20, 40, 100 และ 200 ตาม ASTM D 421-85, ASTM D 422-63 และ Pipette analysis
4. การหาความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดินโดยใช้วิธี Pressure extraction โดยกำหนดให้ค่า pF (logarithm of the centimeter of head) เท่ากับ 0.8, 1.0, 1.5, 1.7, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.2
5. การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ โดยกำหนดให้ contact time เท่ากับ 24 ชั่วโมง ตาม ASTM D 4646-87

1.9 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจพฤติกรรมของการดูดซับและการเคลื่อนตัวของคลอไรไฟริฟอสในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำของดินในบริเวณที่ศึกษา
2. สามารถคาดการณ์และประเมินความรุนแรงของการปนเปื้อนคลอไรไฟริฟอสลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในอนาคต

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และข้อมูลศึกษาเบื้องต้น

1.1 ศึกษารายงานและการวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว

1.2 รวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากรายงานเก่าแล้วนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่จะทำการศึกษา

2) หาค่าลักษณะทางกายภาพของดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.1 เก็บตัวอย่างดินมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเก็บดินแบบคงสภาพ (Undisturbed samples) และแปรสภาพ (Disturbed samples)

3) หาค่าลักษณะกายภาพของดินในห้องปฏิบัติ

3.1 นำตัวอย่างดินที่เก็บแบบแปรสภาพมาหาประเภทของเนื้อดินในห้องปฏิบัติการ โดยวิธี sieve analysis โดยใช้ตะแกรงร่อนเบอร์ 4, 10, 20, 40, 100 และ 200 ตาม ASTM D 421-85, ASTM D 422-63 และ Pipette analysis Test เพื่อทำการสร้างกราฟแสดงขนาดคละของเม็ดดิน (Grain size distribution curve)

3.2 นำตัวอย่างดินที่เก็บแบบคงสภาพมาหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) และค่าความพรุนของดินโดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร

3.3 นำตัวอย่างดินที่เก็บแบบคงสภาพหาความสัมพันธ์ของความชื้นในดิน กับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristics curve) โดยใช้วิธี Pressure extraction ตาม ASTM D 6836 โดยกำหนดให้ค่า pF เท่ากับ 0.8, 1.0, 1.5, 1.7, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.2 โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร โดยใช้เครื่อง Pressure chamber

4) หาค่าลักษณะทางเคมีของดิน (ใช้ตัวอย่างดินที่เก็บแบบแปรสภาพ)

4.1 หาค่าอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) และค่า CEC (Cation Exchange Capacity) (ส่งวิเคราะห์ที่สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร)

4.2 หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับคลอไรด์ไฟรฟอสโดยทำการทดลองแบบแบบแบทช์ (batch experiment) และทำการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องตาม ASTM D 4646-87 วิเคราะห์หาค่าปริมาณของสารฆ่าแมลงคลอไรด์ไฟรฟอสที่ห้องปฏิบัติการกลาง มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography – Flame Photometric Detection, GC-FPD

5) รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามและจากห้องปฏิบัติการ

5.1 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเพื่อเป็นค่าพารามิเตอร์ในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม HYDRUS-1D

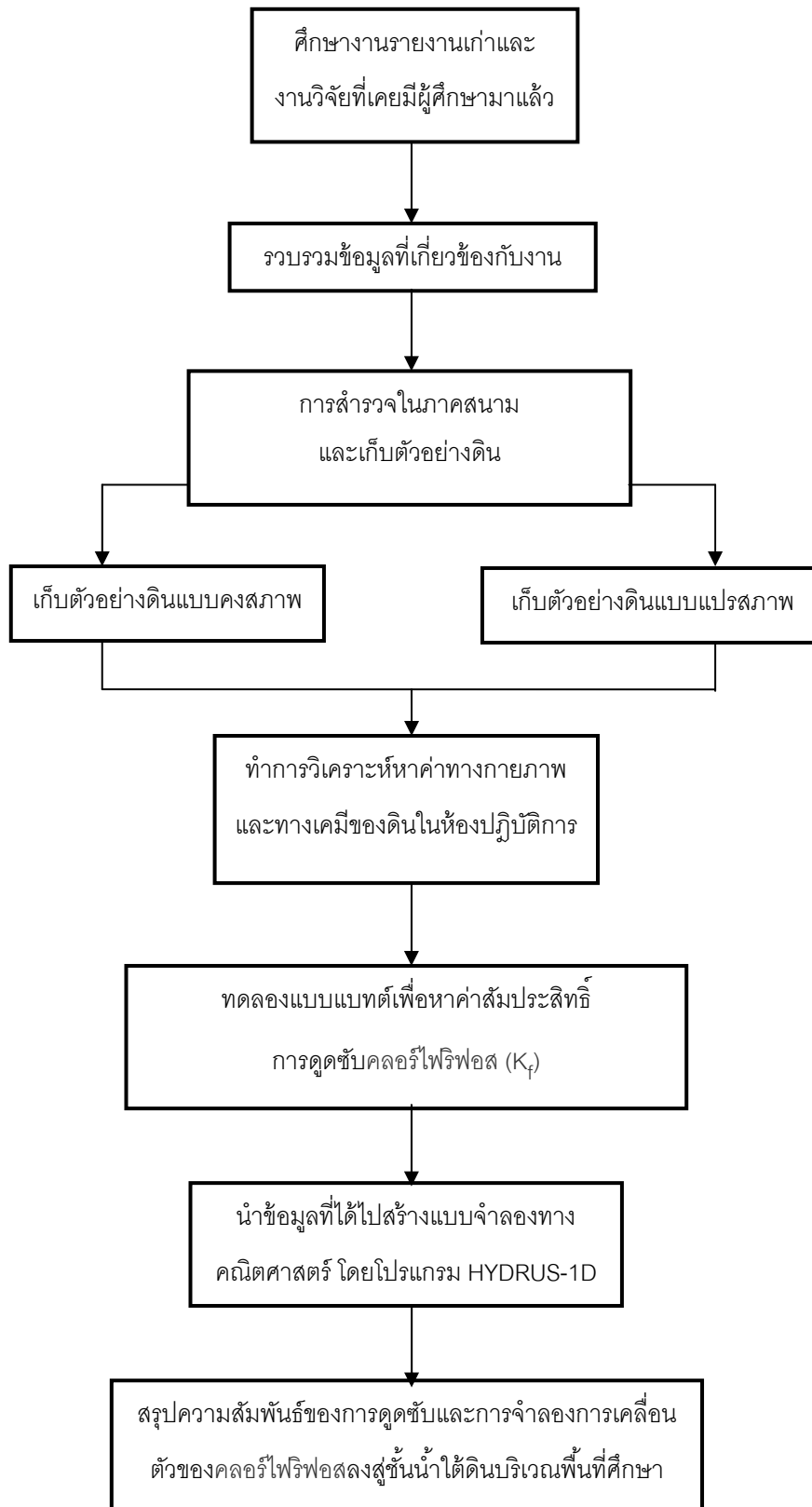
6) สรุปและเตรียมเสนองานวิจัย

6.1 สรุปความสัมพันธ์ของการดูดซับและการจำลองการเคลื่อนตัวของคลอไรด์ไฟรฟอสสูงสูบน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลหัวเรือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

6.2 เตรียมเสนอผลงานโดยการจัดเตรียมข้อมูลที่น่าไปเสนอให้พร้อมจัดทำสื่อที่จะนำเสนอให้เหมาะสม

6.3 ส่งผลงานการวิจัย จัดทำเป็นรูปเล่มให้เหมาะสม และส่งตามกำหนดเวลาที่วางไว้

ระเบียบวิจัย



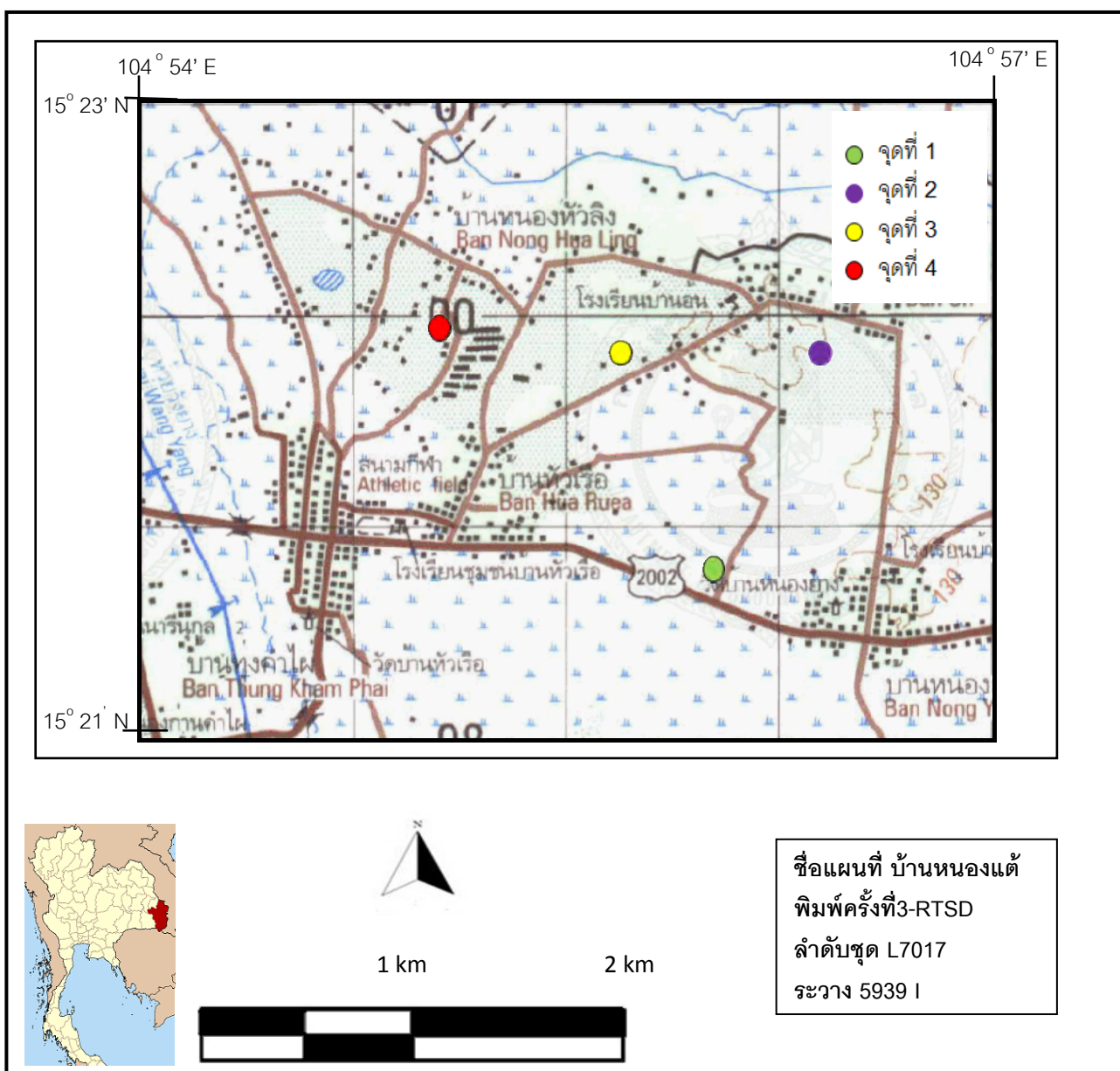
รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการศึกษา

2.2 การรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.2.1 การเก็บตัวอย่างดิน

จากการเตรียมข้อมูลก่อนการออกภาคสนาม ในการศึกษาคั้งนี้ต้องทำการเก็บตัวอย่างดินให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาและอยู่ในบริเวณที่มีการเพาะปลูกเป็นหลัก เนื่องจากตัวอย่างดินจะต้องเป็นตัวแทนของดินในพื้นที่ ถึงสามารถประเมินความรุนแรงของการปนเปื้อนคลอรีไฟรฟอสลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในอนาคต

แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 2.2 แผนที่ขอบเขตบริเวณที่ศึกษาและตำแหน่งเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดิน		
ตำแหน่ง	ชื่อ	ความสูง(m.MSL)
1	บ้านหนองจอก	126
2	ไร่ของคุณสง่า เบ้าเงิน	115
3	ไร่ของคุณพิท จอมหงส์	120
4	อบต. บ้านหัวเรือ	197

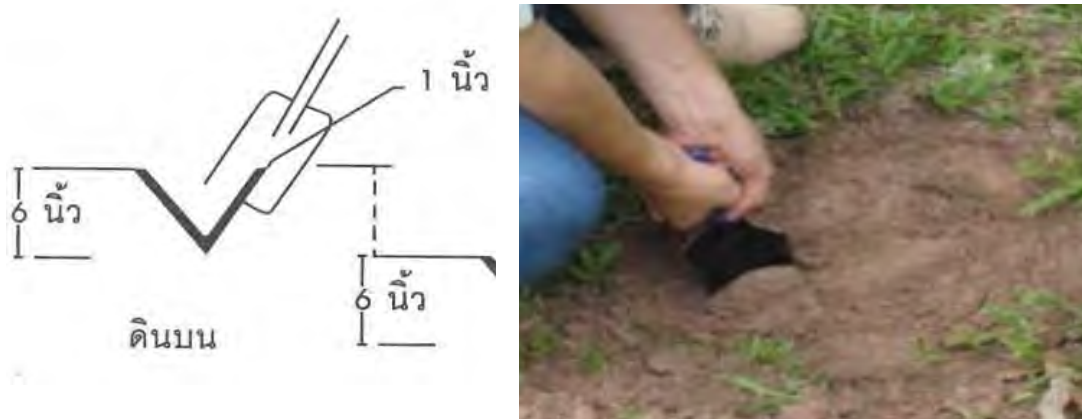
ในการเก็บตัวอย่างดินได้ทำการเก็บ 2 วิธี คือเก็บแบบคงสภาพ (Undisturbed samples) และแบบแปรสภาพ (Disturbed samples) โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1) การเก็บแบบคงสภาพ คือ การเก็บตัวอย่างดินที่เป็นแท่ง (core) เพื่อรักษาหรือคงสภาพของดินให้เหมือนกับดินที่อยู่ในภาคสนามให้มากที่สุดโดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 10 - 20 เซนติเมตรจากผิวดิน เก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ตำแหน่ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ค่าความหนาแน่นรวม ค่าความพรุนของดิน และความสัมพันธ์ของความชื้นในดิน กับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristics curve) โดยใช้วิธี Pressure extraction



รูปที่ 2.3 การเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ

2) การเก็บแบบแปรสภาพ คือการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้เสียมหรือพลั่วขุดดินเป็นรูปตัว (V) ให้มีความลึกแนวตั้ง 6 นิ้ว ส่วนที่เป็นตัววีนี้ให้ทิ้งไป จากนั้นใช้เสียมแซะขอบด้านหนึ่งของตัว V ให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว (รูปที่ 2.4) ตัวอย่างดินที่เก็บจากวิธีนี้นำไปวิเคราะห์หาประเภทของเนื้อดินและลักษณะทางเคมีของดิน



รูปที่ 2.4 การเก็บตัวอย่างดินแบบแปรสภาพ

2.2.2 การทดลองหาขนาดคละของเม็ดดิน (Grain size distribution)

การทดลองหาประเภทเนื้อดินในห้องปฏิบัติการ โดยการวิธี sieve analysis โดยใช้ตะแกรงร่อนเบอร์ 4, 10, 20, 40, 100 และ 200 และ Pipette analysis Test เพื่อทำการสร้าง Grain size distribution curve

Grain Size Analysis เป็นวิธีที่สามารถบ่งบอกสัดส่วนของอนุภาคดินชนิดต่างๆ ได้จาก Grain size distribution curve หรือกราฟการกระจายของมวลดินซึ่งจะเป็นเส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคเม็ดดินในแกนนอน (log scale) กับร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงในแกนตั้ง และร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวมที่ได้จากวิธี Pipette analysis โดยอาศัยสมบัติของความเร็วในการตกจมของตะกอนแต่ละขนาดที่มีความเร็วในการตกจมไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.5 วิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อหาประเภทเนื้อดินโดยวิธี sieve analysis และเครื่อง Sieve Shaker

2.2.3 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity)

การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K) โดยใช้วิธี constant-head สามารถทำได้โดยใช้ตัวอย่างที่ทำการเก็บแบบคงสภาพในภาคสนามมาหาค่าดังสมการ

$$K = (0.30122 \log h_1/h_2) * (\mu/t) * 36,000 \quad \text{มีหน่วยเป็น mm/hr}$$

เมื่อ 0.30122 เป็นค่าคงตัว

h_1 = ค่าความสูงของน้ำที่ไหลจากจุดเริ่มต้นจนถึงด้านล่างของกระบอกโลหะมีหน่วยเป็น เซนติเมตร

h_2 = ค่าความสูงของน้ำที่ไหลจากจุดสุดท้ายจนถึงด้านล่างของกระบอกโลหะมีหน่วยเป็น เซนติเมตร

μ = ค่าความหนืดของน้ำ (Viscosity) ตามอุณหภูมิของน้ำที่วัดไว้

t = เวลาที่น้ำไหลผ่านดิน มีหน่วยเป็นวินาที



รูปที่ 2.6 แสดงอุปกรณ์และลักษณะการทำกรทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

2.2.4 การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristics curve)

การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของความชื้นในดิน กับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristics curve) โดยใช้วิธี Pressure extraction ตาม ASTM D 6836 โดยการเก็บข้อมูลความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของความดันที่เพิ่มขึ้น ทำการเก็บข้อมูลสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความชื้นในดิน กับความดันของน้ำในดิน ภายใต้การกระจายตัวและประเภทของดินแต่

ละตัวอย่างโดยทำการเปรียบเทียบค่าจากการทดลองกับค่าจากสมการของ van Genuchten Equation (VG) และ Brooks and Corey Constitution (BC) เพื่อทำการเลือกสมการที่เหมาะสมในการนำมาอธิบายความสัมพันธ์ของความชื้นในดิน กับความดันของน้ำในดินของพื้นที่ศึกษา โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้คือ

- 1) นำตัวอย่างดินที่เก็บแบบคงสภาพมาทำการทดลอง โดยใช้กระดาษกรองและผ้าขาวบางปิดด้านล่างของกระบอก และใช้หนังสือรัดไว้ และนำตัวอย่างไปทำการแช่น้ำเพื่อให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำดังรูปที่ 2.6
- 2) นำตัวอย่างที่อิ่มตัวด้วยน้ำแล้วไปทำการชั่งน้ำหนักเก็บไว้ หลังจากนั้นนำตัวอย่างบรรจุลงในเครื่อง Pressure chamber และทำการตั้งความดันที่ต้องการ รอให้ความดันและปริมาณน้ำในดินถึงจุดสมดุล (ใช้เวลาประมาณ 1 อาทิตย์ต่อ 1 ค่าความดัน) สังเกตได้จาก น้ำจะหยุดไหลออกจากท่อสายยางที่ต่อออกมาจากภายในเครื่อง Pressure chamber
- 3) เมื่อความดันและปริมาณน้ำในดินถึงจุดสมดุลแล้วให้นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก เพื่อทำการหาค่า Water content จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าเครื่อง Pressure chamber เพื่อทำการเปลี่ยนความดันจุดต่อไป
- 4) เมื่อเก็บน้ำหนักของตัวอย่างในทุกความดันที่กำหนดหมดแล้ว นำตัวอย่างไปทำการอบที่อุณหภูมิ 105 C จนน้ำในตัวอย่างระเหยออกไปหมด จากนั้นนำตัวอย่างไปทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักแห้งของดิน และทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดิน (water content)

$$\text{ค่าปริมาณน้ำในดิน} = \frac{\text{น้ำหนักของดิน} - \text{น้ำหนักของดินที่อบแห้ง}}{100}$$

100

- 5) ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน โดยแสดงค่าความดัน (Suction pressure head, cm) ในแกนนอน (log scale) กับ ค่าปริมาณน้ำในดิน ในแกนตั้ง



รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างแท่งดินที่แช่น้ำเพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วย และลักษณะการบรรจุตัวอย่างลงใน Pressure chamber



รูปที่ 2.8 แสดงเครื่อง Pressure chamber และหน้าปัดที่ใช้ปรับความดันของเครื่อง

2.2.7 การคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) และค่าความพรุนของดิน

การหาค่าความหนาแน่นรวม และค่าความพรุนของดินสามารถหาได้จากการนำตัวอย่างดินที่ทำ การเก็บแบบคงสภาพไปทำการหาน้ำหนักแห้งของดิน โดยดินตัวอย่างที่มีการเก็บแบบคงสภาพจะมี ปริมาตรของดินที่คงตัวคือ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นรวมของดิน} &= \frac{\text{น้ำหนักของดินที่อบแห้ง}}{\text{ปริมาตรของดิน}} \\ \text{ความพรุนของดิน} &= \left[1 - \frac{\text{ความหนาแน่นรวม}}{\text{ความหนาแน่นอนุภาค}} \right] * 100 \end{aligned}$$

2.2.8 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับคลอรีไฟรีฟอสของดิน

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับคลอรีไฟรีฟอสของดินสามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับด้วยดินในแกนตั้งกับปริมาณของสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ใน สารละลายในแกนนอน โดยสามารถทำการทดลองได้ดังนี้

- 1) ทำการเตรียมปริมาณความเข้มข้นของสารละลายใช้ คือใช้คลอรีไฟรีฟอสที่ความเข้มข้นที่ 75, 50, 25 และ 10 mg/L
- 2) ทำการชั่งดิน 2 g ใส่ในขวดสีชา
- 3) ทำการผสมสารละลายที่เตรียมไว้กับดินในขวดสีชา อัตราส่วน 1:15 (g/ml)
- 4) ใส่ Phosphate buffer pH 3.5 (50 mM) จำนวน 3 ml ลงในขวดสีชา
- 5) ทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่ความเร็ว 40 รอบต่อวินาที เพื่อให้ดินอิ่มตัว ด้วยสารละลาย
- 6) เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการการกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่กรองได้ เก็บไว้ในขวดสีชา และทำการส่งวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่ ห้องปฏิบัติการกลาง มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography – Flame Photometric Detection, GC-FPD ในการวิเคราะห์ โดยตัวอย่างที่ส่งต้องทำการรักษาอุณหภูมิ ที่ 4 องศาเซลเซียส
- 7) ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสาร ปนเปื้อนที่ถูกดูดซับด้วยดินกับปริมาณของสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในสารละลาย



รูปที่ 2.9 ขวดสีชาที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2.10 เครื่องเขย่า และลักษณะการวางตัวอย่างในเครื่องเขย่า

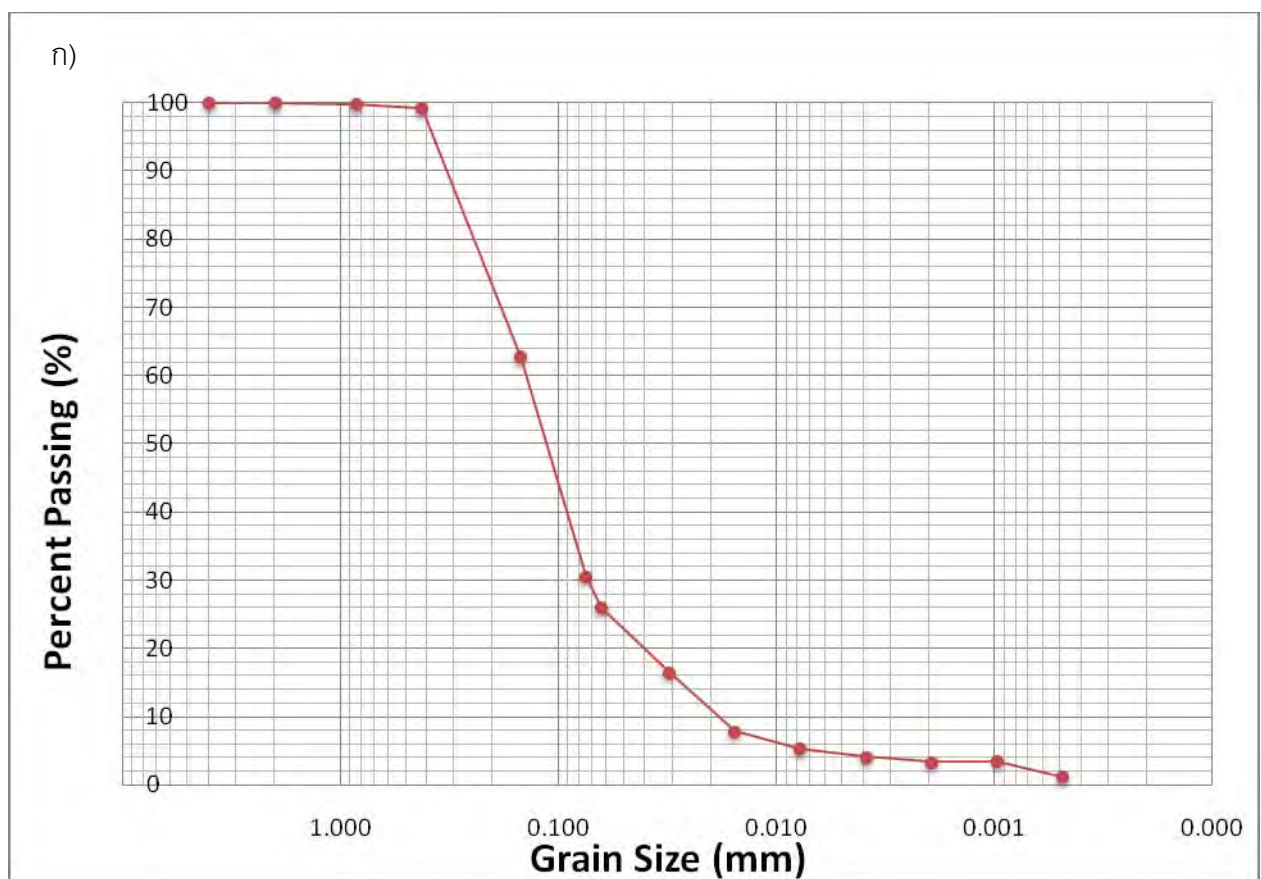
บทที่ 3

ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของดิน

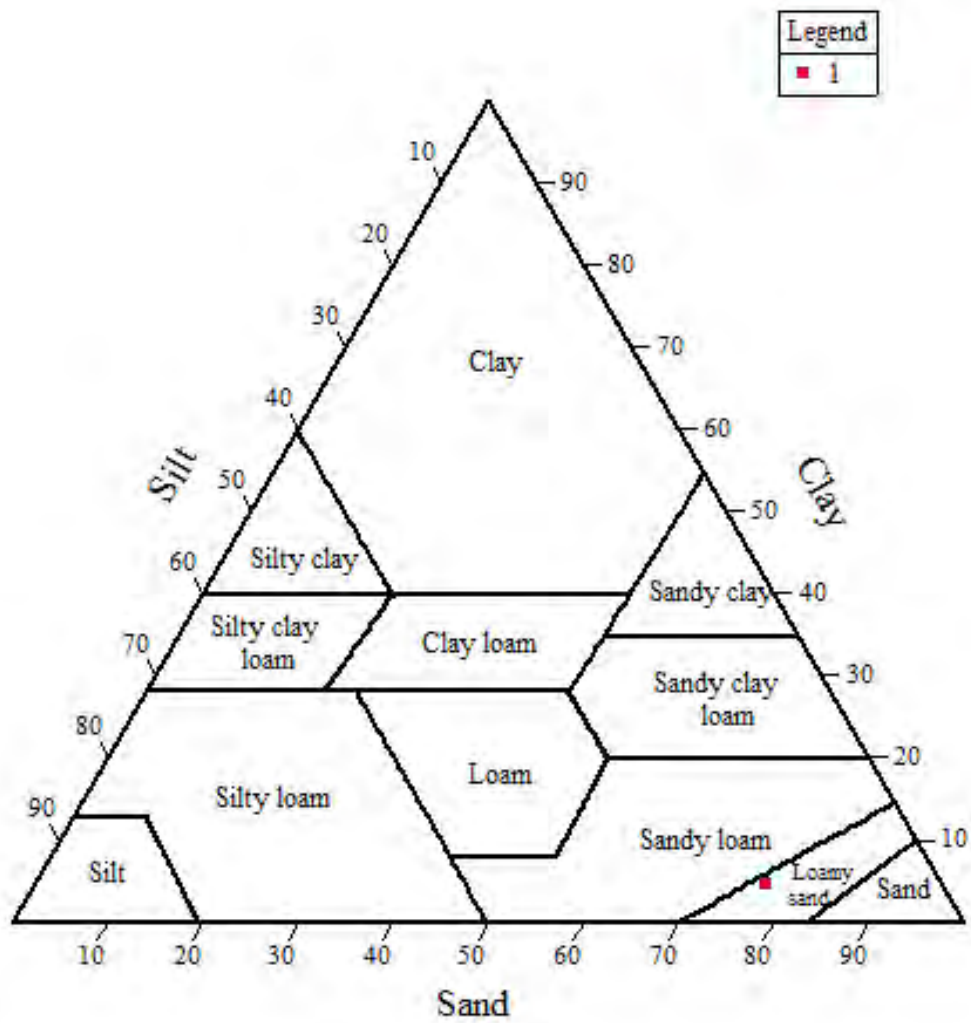
3.1.1 ผลการทดลองหาขนาดคละของเม็ดดิน (Grain size distribution)

ดินตำแหน่งที่ 1



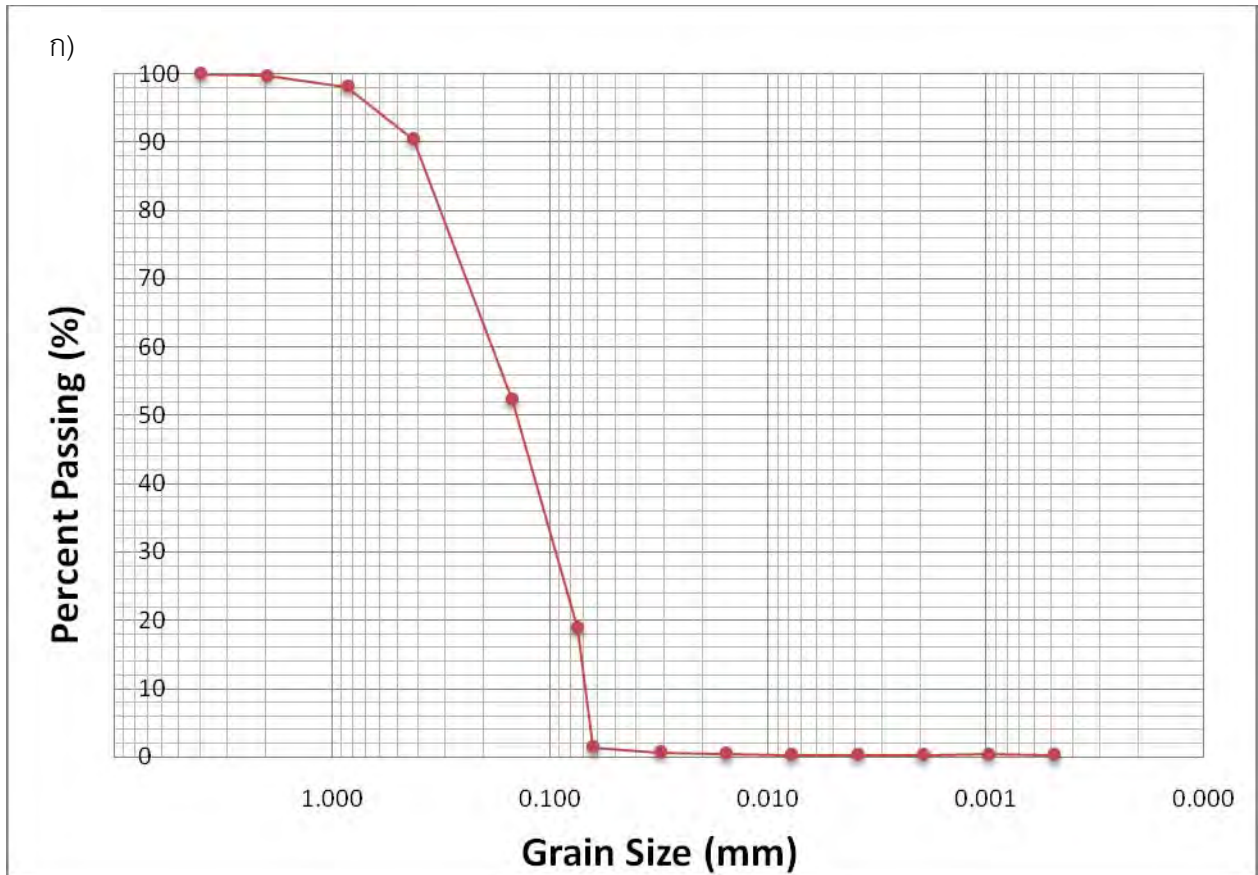
รูปที่ 3.1 แสดงการกระจายขนาดของดิน (Grain size distribution curve) ของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 1

๑)



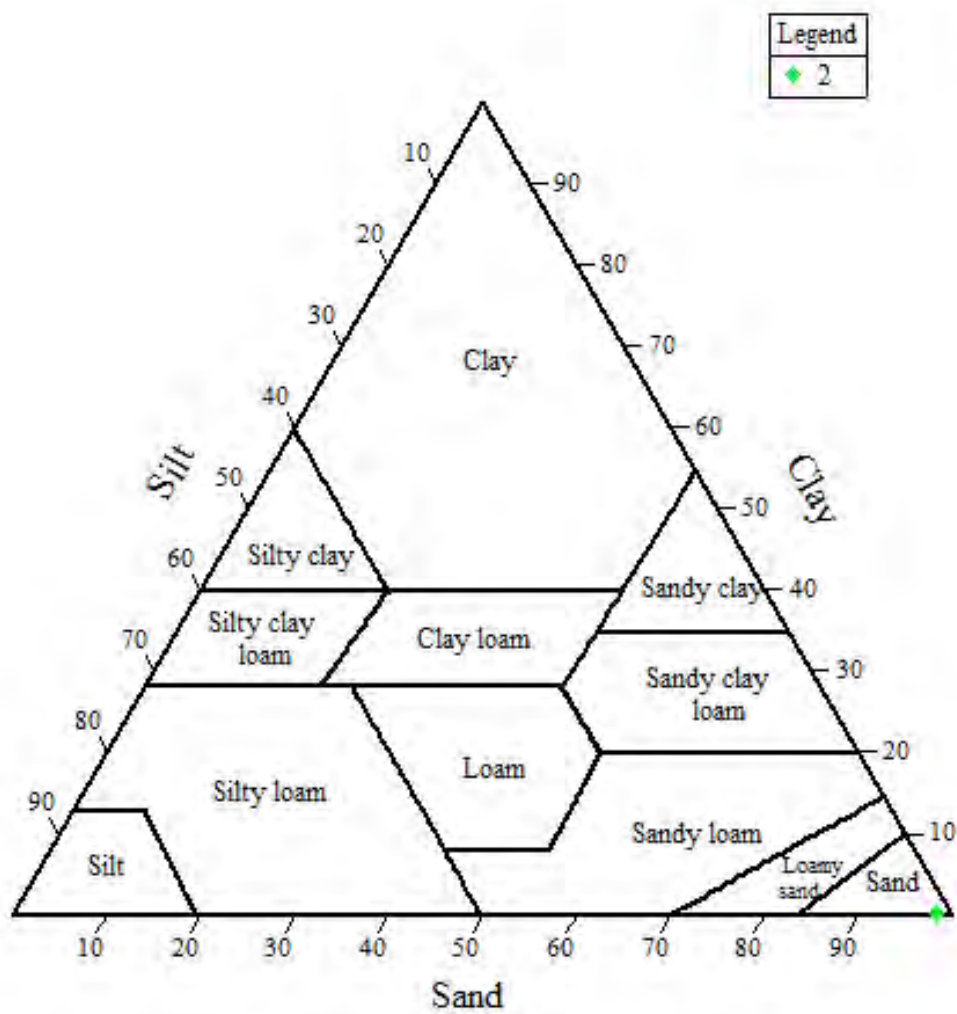
รูปที่ 3.2 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษ (Noorallah, 2009) ของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 1

ดินตำแหน่งที่ 2



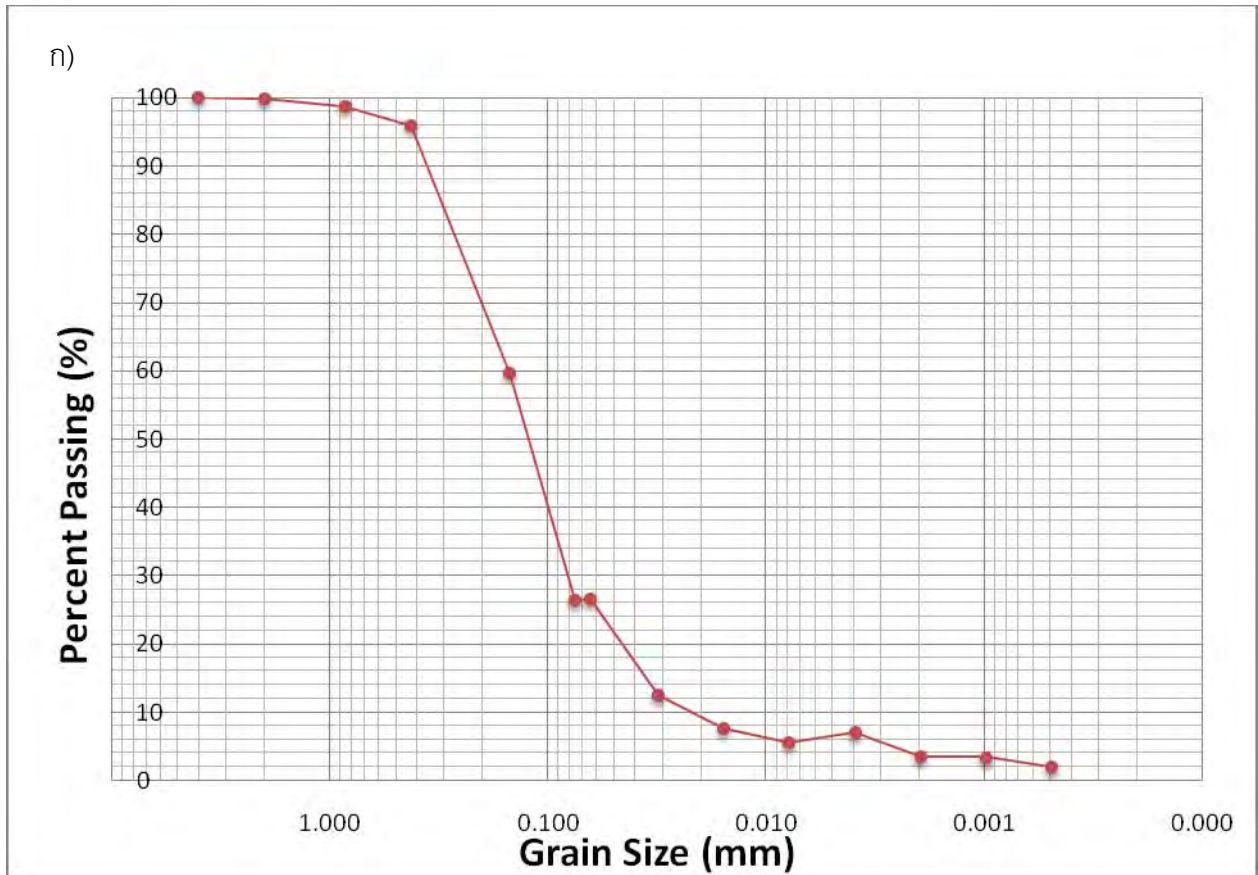
รูปที่ 3.3 แสดงการกระจายขนาดของดิน (Grain size distribution curve) ของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 2

๑)



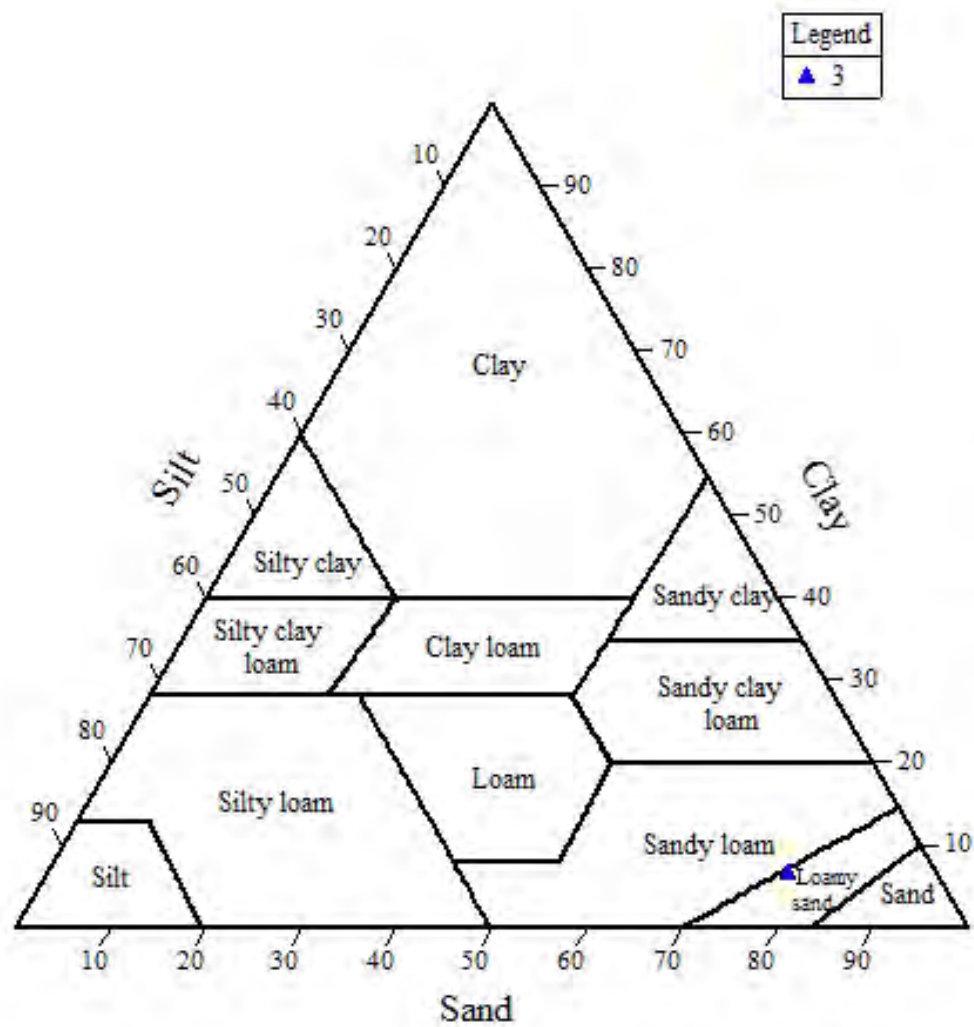
รูปที่ 3.4 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษ (Noorallah, 2009) ของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 2

ดินตำแหน่งที่ 3



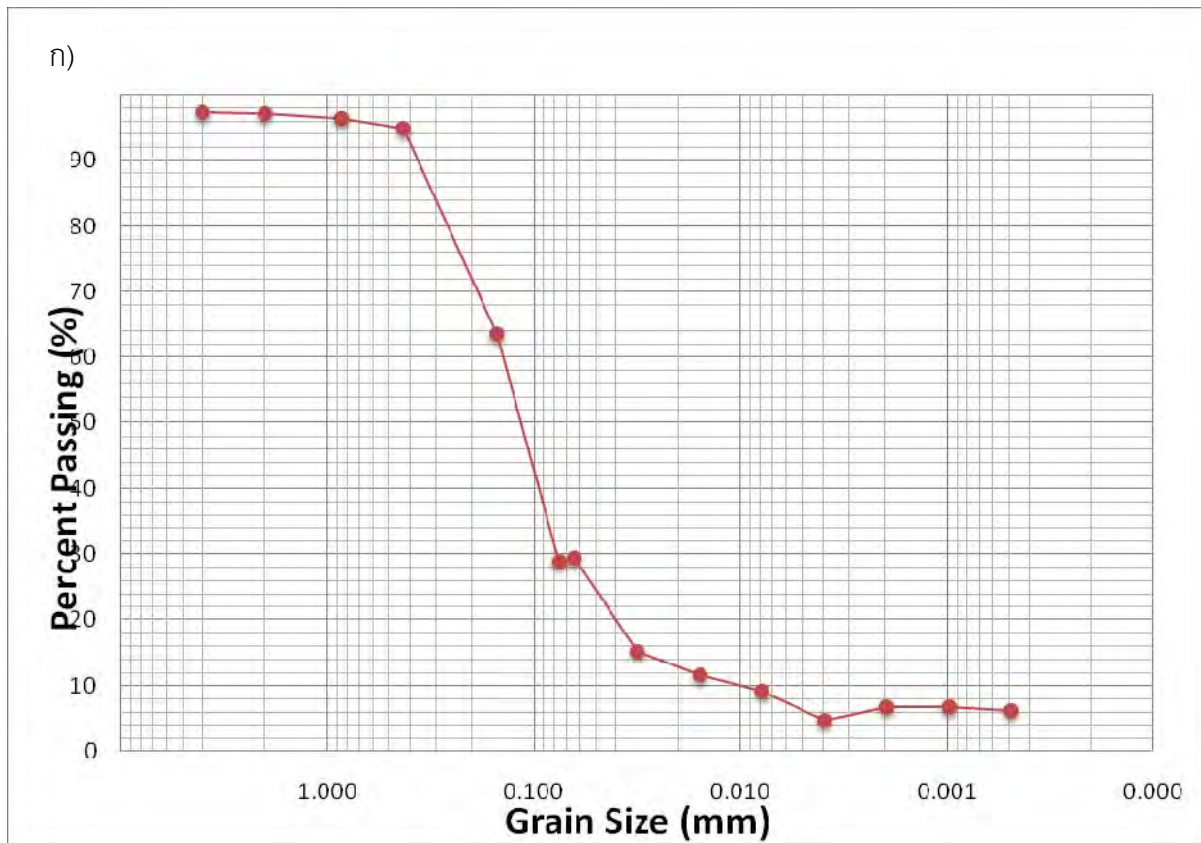
รูปที่ 3.5 แสดงการกระจายขนาดของดิน (Grain size distribution curve) ของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 3

ข)



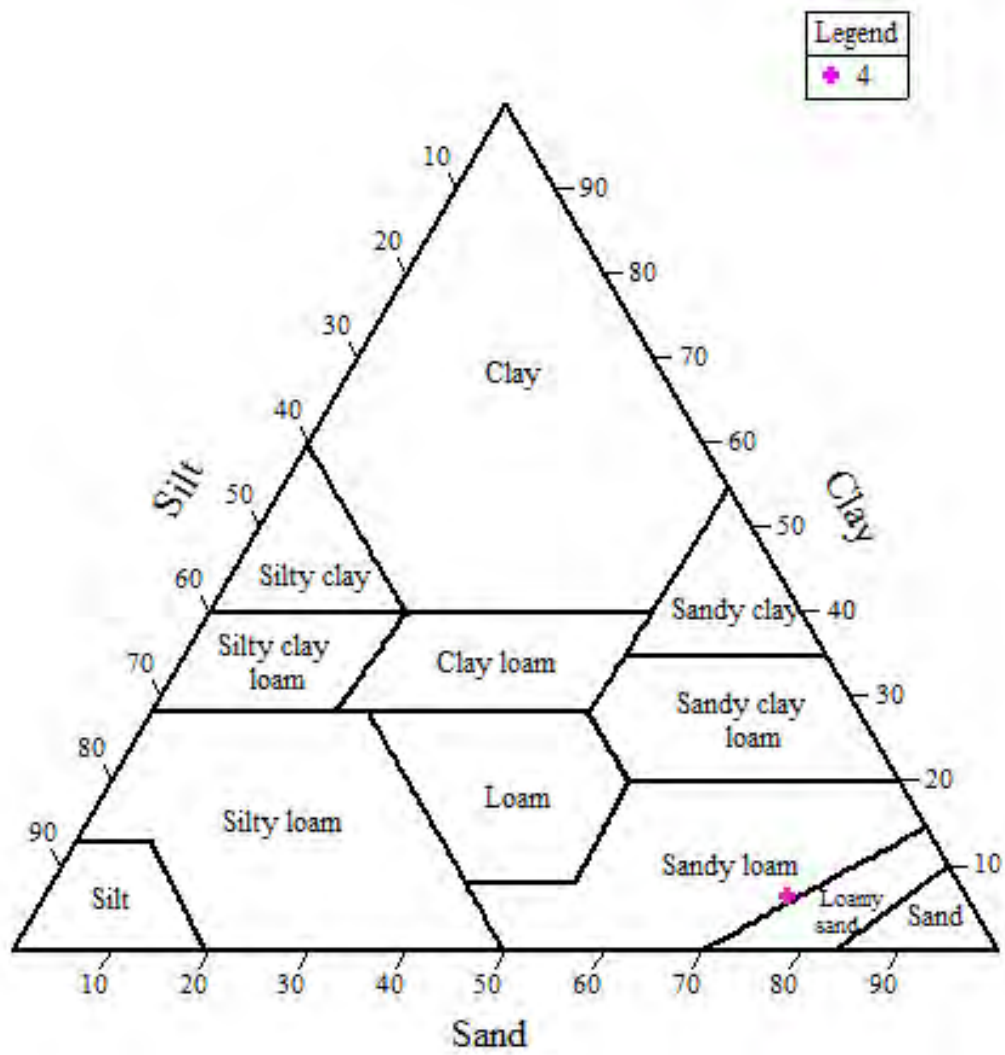
รูปที่ 3.6 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษ (Noorallah, 2009) ของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 3

ดินตำแหน่งที่ 4



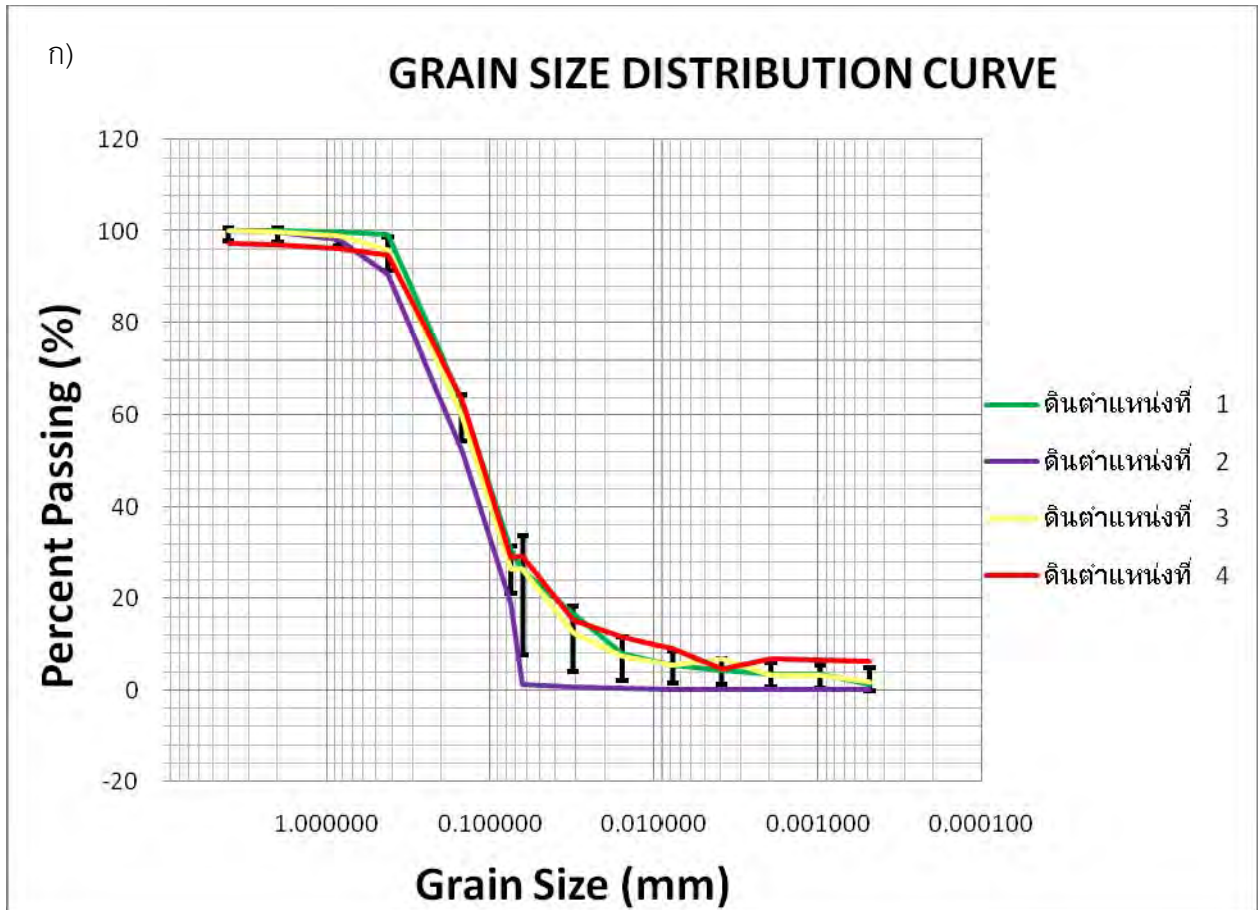
รูปที่ 3.7 แสดงการกระจายขนาดของดิน (Grain size distribution curve) ของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 4

ข)



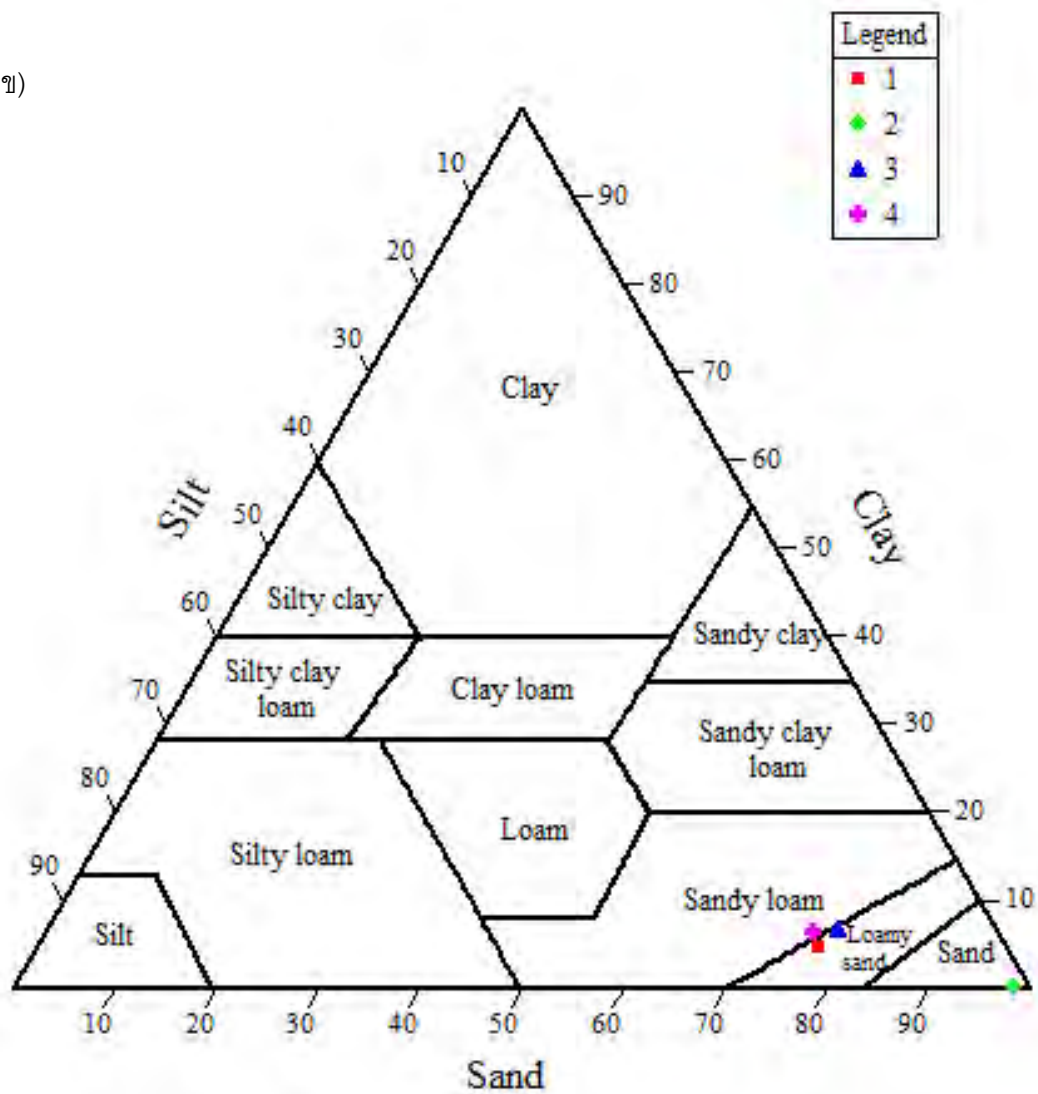
รูปที่ 3.8 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษ (Noorallah, 2009) ของตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 4

สรุปลักษณะของดินตัวอย่าง 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.9 แสดงการกระจายขนาดของดิน (Grain size distribution curve) ของตัวอย่างดินทั้ง 4 ตำแหน่ง

ข)



รูปที่ 3.10 ลักษณะของเนื้อดินจำแนกโดยใช้ระบบอังกฤษ (Noorallah, 2009) ของตัวอย่างดินทั้ง 4 ตำแหน่ง

3.1.2 ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity)

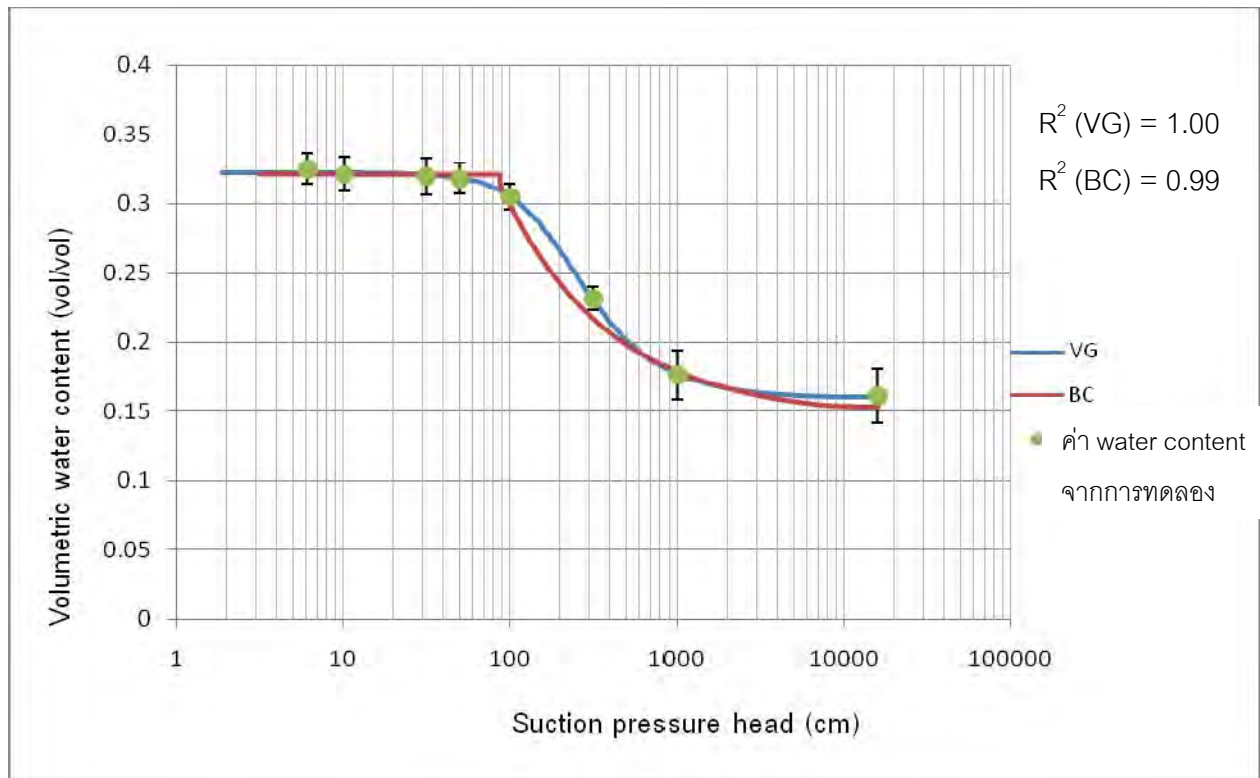
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

Hydraulic Conductivity											
Soil Type	Label No.	Trail	Start	End	Secs.	h1 (cm)	h2 (cm)	Water temp (C)	Viscosity	K (mm/hr)	
Loamy sand	N88	1	0.00.00	0.33.50							
		2	0.00.00	0.33.42							
		AV	0.00.00	0.33.46	2026	17.6	7.6	26	0.8737	1.7	
	S18	1	0.00.00	0.45.48							
		2	0.00.00	0.45.10							
		AV	0.00.00	0.45.29	2729	17.6	7.6	26	0.8737	1.27	
	K55	1	0.00.00	0.43.36							
		AV	0.00.00	0.43.36	2616	17.6	7.6	26	0.8737	1.32	
Sand	4 (8.27)	1	0.00.00	0.03.18							
		2	0.00.00	0.03.20							
		3	0.00.00	0.03.23							
		AV	0.00.00	0.03.20	200	17.6	7.6	26	0.8737	17.28	
	K16	1	0.00.00	0.02.36							
		2	0.00.00	0.02.35							
		3	0.00.00	0.02.36							
		AV	0.00.00	0.02.36	156	17.6	7.6	26	0.8737	22.15	
	K47	1	0.00.00	0.02.37							
		2	0.00.00	0.02.38							
		3	0.00.00	0.02.38							
		AV	0.00.00	0.02.38	158	17.6	7.6	26	0.8737	21.87	
Loamy sand	K44	1	0.00.00	0.07.18							
		2	0.00.00	0.07.18							
		3	0.00.00	0.07.28							
		AV	0.00.00	0.07.21	441	17.6	7.6	26	0.8737	7.84	

Soil Type	Label No.	Trail	Start	End	Secs.	h1 (cm)	h2 (cm)	Water temp (C)	Viscosity	K (mm/hr)
Loamy sand	S82	1	0.00.00	0.03.47						
		2	0.00.00	0.03.49						
		3	0.00.00	0.03.50						
		AV	0.00.00	0.03.49	229	17.6	7.6	22.5	0.94685	16.35
	3 (83.8)	1	0.00.00	0.06.00						
		2	0.00.00	0.06.01						
		3	0.00.00	0.06.02						
		AV	0.00.00	0.06.01	361	17.6	7.6	22.5	0.94685	10.37
Sandy loam	JP22	1	0.00.00	0.10.30						
		2	0.00.00	0.10.29						
		3	0.00.00	0.10.27						
		AV	0.00.00	0.10.29	629	17.6	7.6	22.5	0.94685	5.95
	K59	1	0.00.00	0.28.04						
		2	0.00.00	0.28.56						
		3	0.00.00	0.29.49						
		AV	0.00.00	0.29.10	1750	17.6	7.6	22.5	0.94685	2.14
	B44	1	0.00.00	0.17.14						
		2	0.00.00	0.17.54						
		3	0.00.00	0.18.18						
		AV	0.00.00	0.18.02	1082	17.6	7.6	22.5	0.94685	3.46

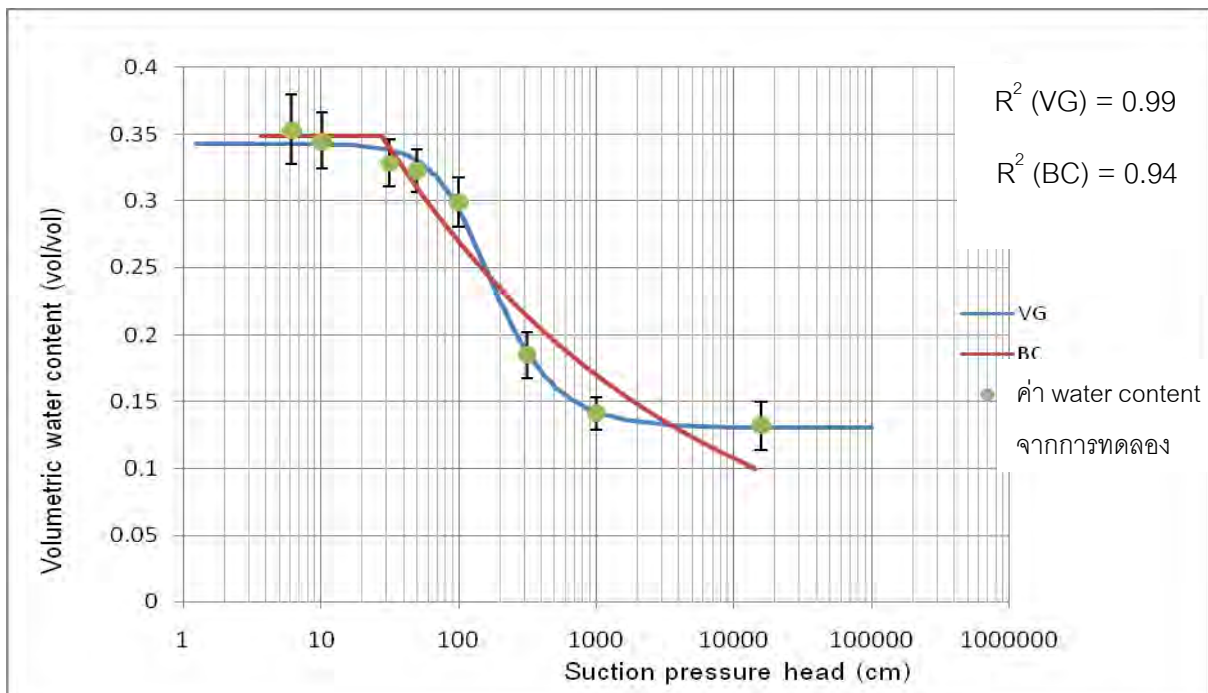
3.1.3 ผลการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristics curve)

ก) ดินตำแหน่งที่ 1



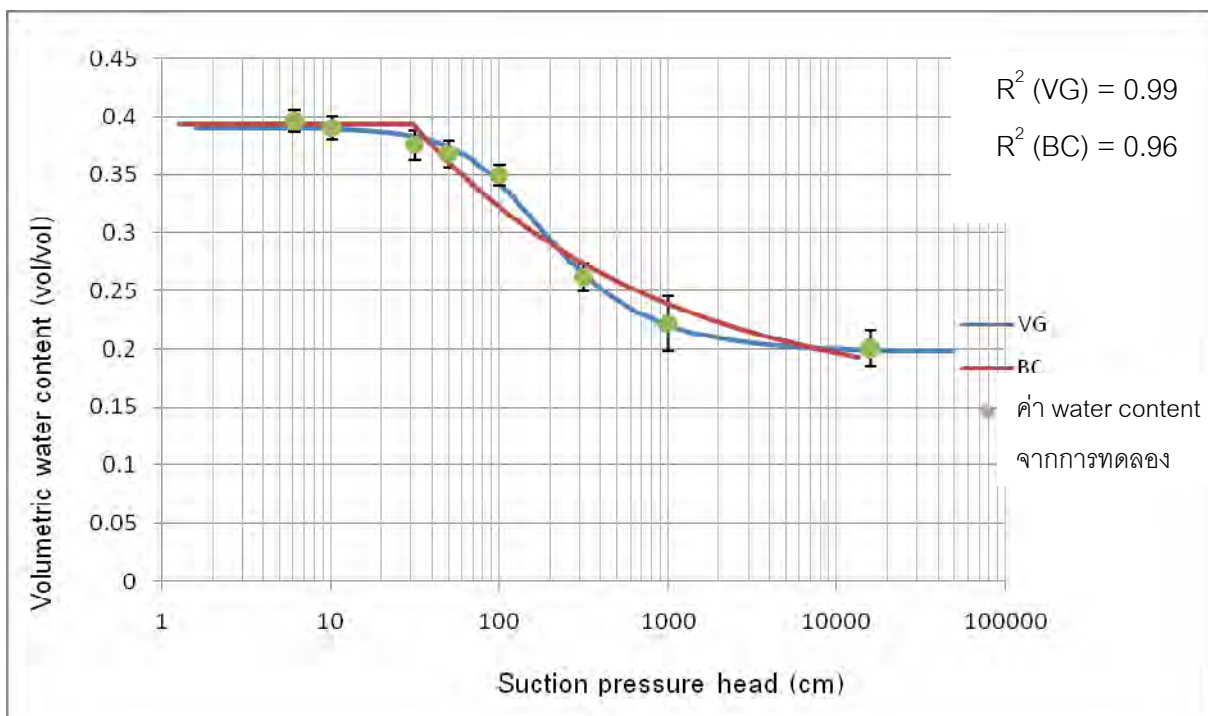
รูปที่ 3.11 แสดง soil water characteristics curve ก) ตำแหน่งที่ 1

ข) ดินตำแหน่งที่ 2



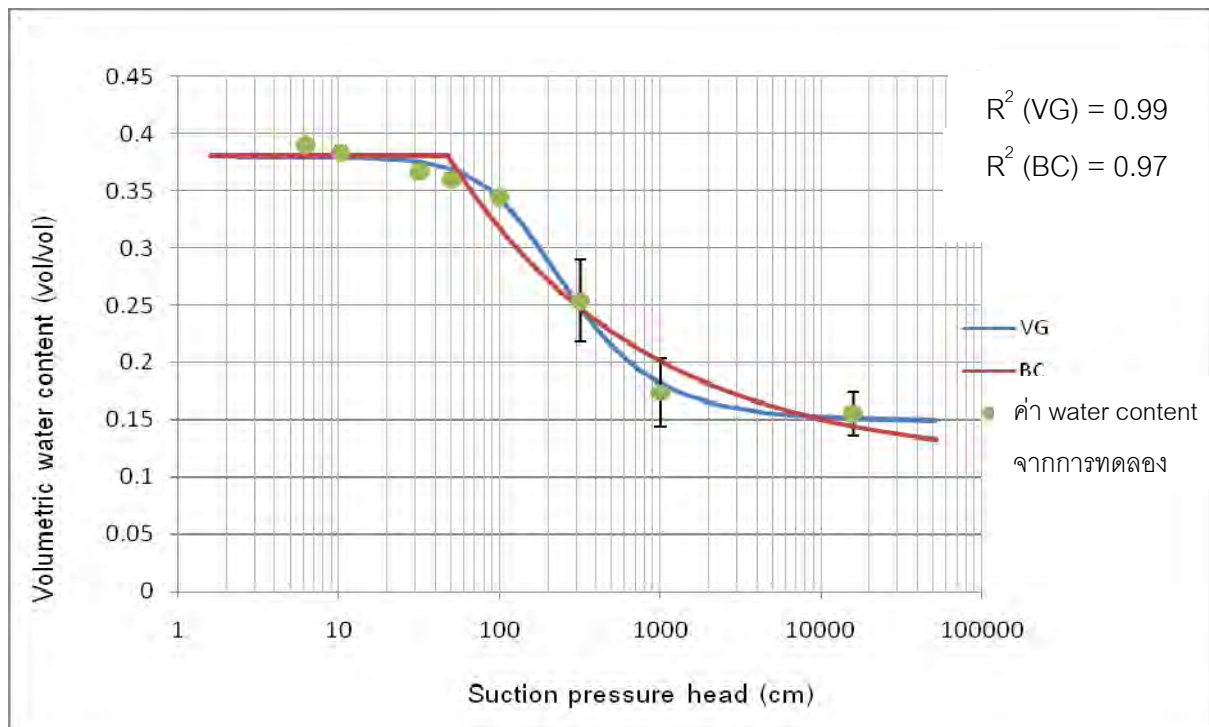
รูปที่ 3.12 แสดง soil water characteristics curve ข) ตำแหน่งที่ 2

ค) ดินตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 3.13 แสดง soil water characteristics curve ค) ตำแหน่งที่ 3

ง) ดินตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 3.14 แสดง soil water characteristics curve ง) ตำแหน่งที่ 4

จากการกราฟความสัมพันธ์ของความชื้นในดิน กับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristics curve) พบว่าสมการของ van Genuchten Equation (VG) สามารถนำมาอธิบายลักษณะของดินในพื้นที่ศึกษาได้ดีกว่าสมการของ Brooks and Corey Constitution (BC) โดยดูได้จากค่าสหสัมพันธ์

3.1.4 ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) และค่าความพรุนของดิน

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความหนาแน่นรวม และค่าความพรุนของดินตัวอย่าง

Site	Bulk density	porosity
	g cm^{-3}	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
1	1.75 ± 0.03	0.36 ± 0.05
2	1.62 ± 0.02	0.40 ± 0.02
3	1.56 ± 0.06	0.43 ± 0.06
4	1.68 ± 0.01	0.43 ± 0.01

3.2 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางเคมีของดิน

3.2.1 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับคลอไรด์ไฟรฟอสของดิน

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการเลือกดินตัวอย่างที่น่าจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของสารฆ่าแมลงสู่น้ำใต้ดินมากที่สุดมาทำการทดลอง โดยได้ทำการพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินดังนี้คือ

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่

Site	Soil texture	sand	silt	clay	Saturated Hydraulic conductivity	Organic matter*	CEC*	Bulk density	porosity
			%		cm day ⁻¹	%	cmol kg ⁻¹	g cm ⁻¹	cm ³ cm ⁻³
1	Loamy sand	77	18.5	4.5	3.43±0.55	0.37	1.6	1.75±0.03	0.36±0.05
2	Sand	98.5	1.5	0.01	49.03±6.55	0.47	2.1	1.62±0.02	0.40±0.02
3	Loamy sand	78	15.5	6.5	27.65±11.35	0.52	3.6	1.56±0.06	0.43±0.06
4	Sandy loam	75.5	18.3	6.3	9.24±4.63	1.87	2.8	1.68±0.01	0.43±0.01

* ค่าที่ได้จากการส่งวิเคราะห์

** cmol_c/kg (centimol positive charge per kg of soil)

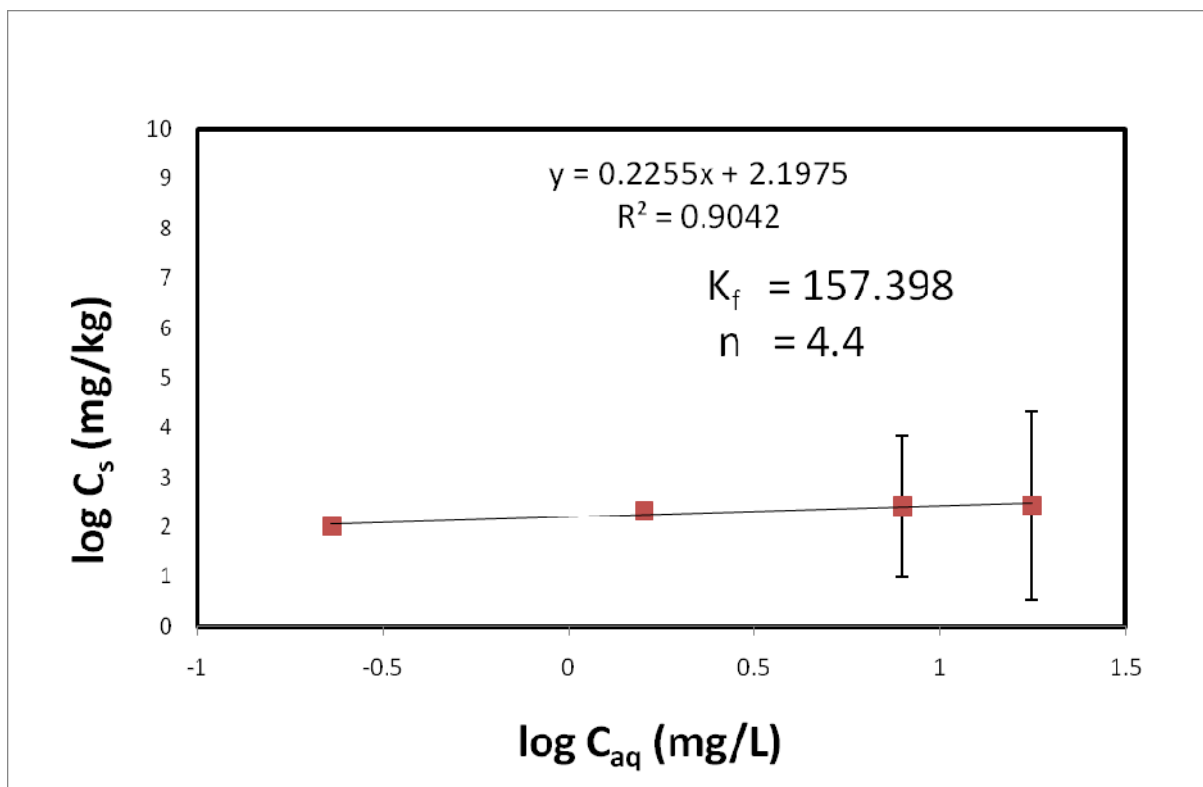
จากตารางที่ 3.2 จะพบว่าดินที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นทราย (sand) น่าจะมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงสู่น้ำใต้ดินมากที่สุด โดยพบว่าดินตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นเนื้อทรายนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่สูงที่สุด และมีค่าความหนาแน่นน้อยรองจากดินในตำแหน่งที่ 3 ที่มีลักษณะเนื้อดินเป็น Loamy sand ดังนั้นสารฆ่าแมลงน่าจะมีโอกาสเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินทรายสู่ชั้นน้ำใต้ดินและก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินในที่สุด

โดยจากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับคลอไรด์ไฟรฟอสของดินตัวอย่างที่เป็นเนื้อทรายได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับคลอไรด์ไฟรฟอสแบบ Freundlich เท่ากับ 157.398 L/kg และ n เท่ากับ 4.4 ดังรูปที่ 3.15

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0), C_{aq} และ C_s

C_0	C_{aq}	C_s
mg/l	mg/l	mg/kg
35.6	17.7	268.5
25.4	7.93	262.05
15.6	1.6	210
7	0.23	101.55

$$C_s = K_f (C_{aq})^{1/n}$$



รูปที่ 3.15 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับคลอริไฟรฟอสจากดินทราย

3.3 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยโปรแกรม HYDRUS-1D

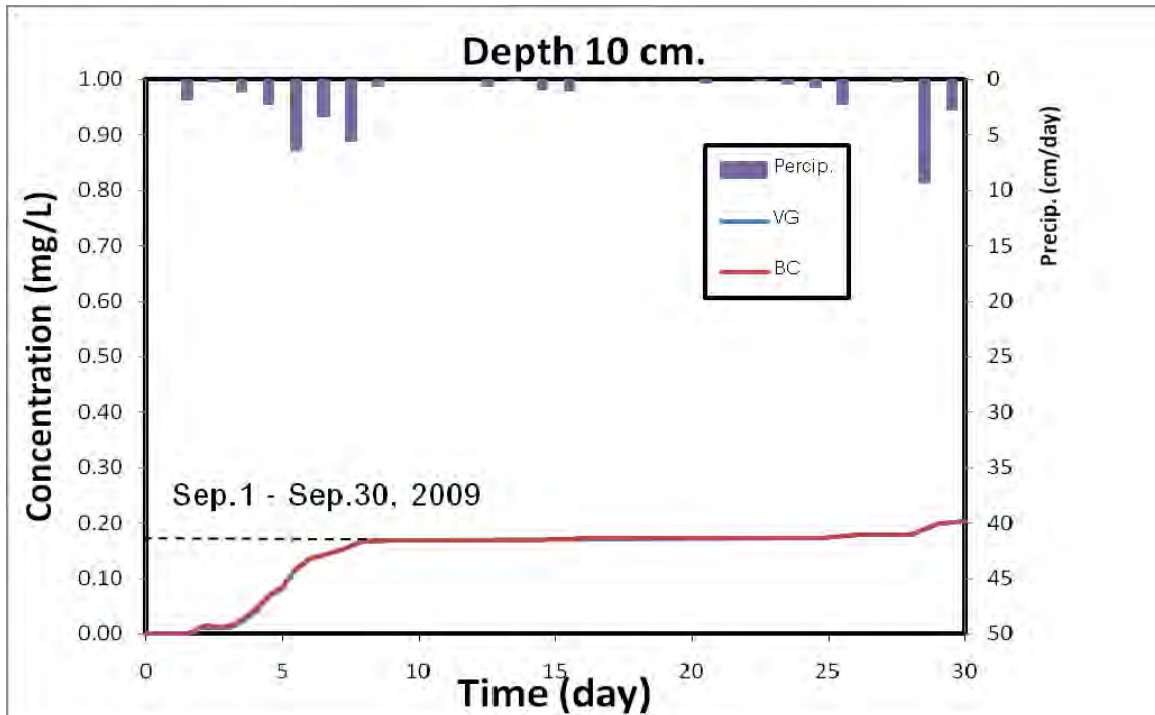
ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยโปรแกรม HYDRUS-1D นั้นจะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 3.4 ซึ่งได้จากการใช้โปรแกรม RETC เพื่ออธิบายผลการทดลองค่าความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristics curve) และคุณสมบัติของการดูดซับคลอไรไพริฟอสของดินทราย

ตารางที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์ของดินทรายที่ได้จากโปรแกรม RETC

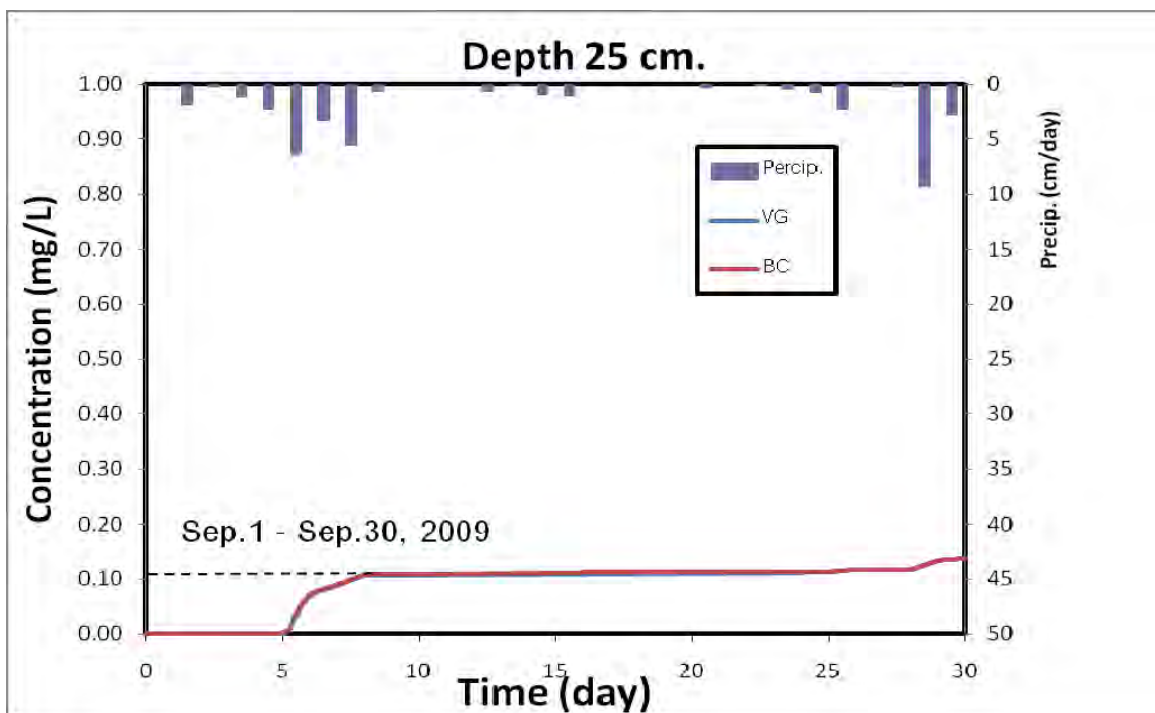
Parameter	van Genuchten (VG)	Brooks and Corey (BG)
Site 2- sand		
Residual water content	0.13±0.02	0.01±0.01
Saturated water content	0.34±0.02	0.35±0.05
α and n	0.008±0.003 and 2.36±0.73	0.04±0.04 and 0.20±0.09
Initial concentration, C_0 , mg L ⁻¹	100 for Chlorpyrifos	

จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรม HYDRUS-1D โดยทำการเปรียบเทียบผลจากสมการของ van Grnuchten (VG) และสมการของ Brooks และ Corey (BC) ในการสร้างแบบจำลองในครั้งนี้ได้กำหนดให้ค่าปริมาณสารฆ่าแมลงเริ่มต้นเท่ากับ 100 mg/L โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลในช่วงเดือนกันยายน เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรได้มีการฉีดพ่นสารฆ่าแมลงในพื้นที่จริง โดยในการสร้างแบบจำลองในครั้งนี้ได้มีการนำข้อมูลฝนและอัตราการระเหยของน้ำในพื้นที่มาใช้ในแบบจำลองโดยได้ผลดังนี้

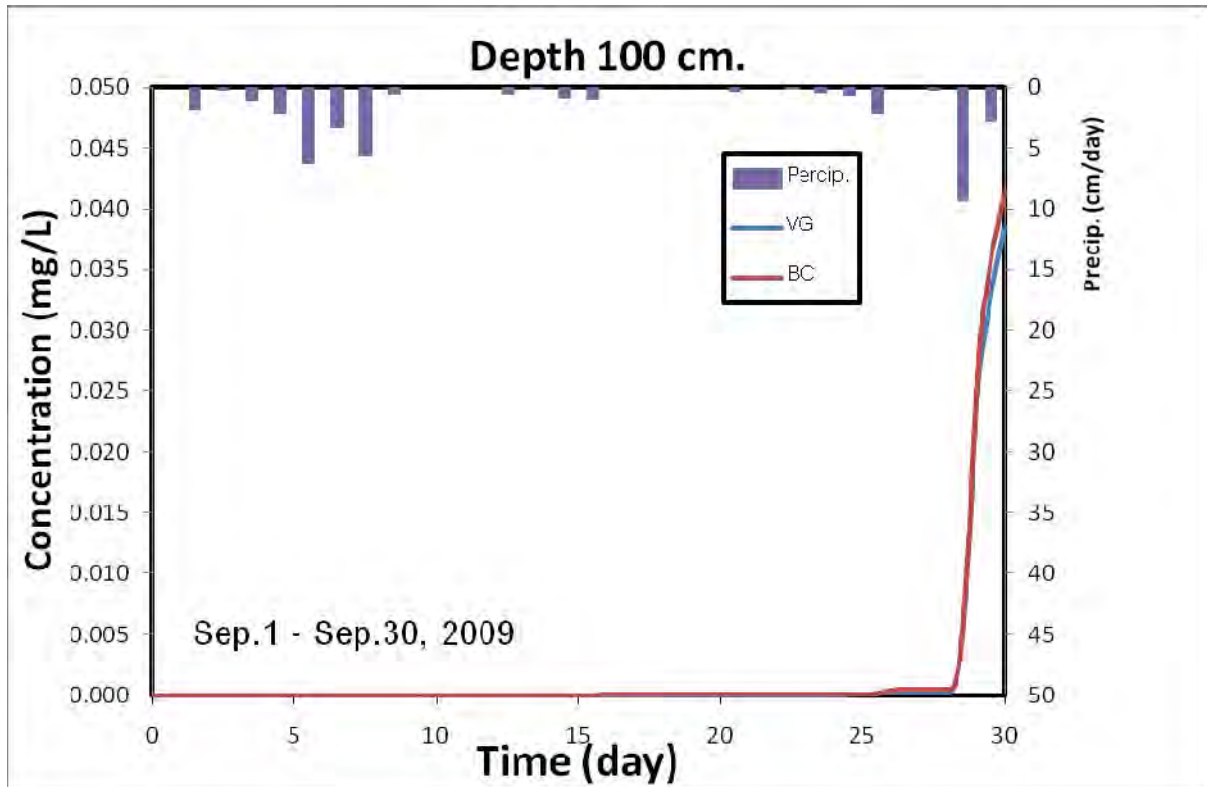
3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน ถึง 30 กันยายน)



รูปที่ 3.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฆ่าแมลงที่ความลึก 10 เซนติเมตรจากผิวดินตามเวลา



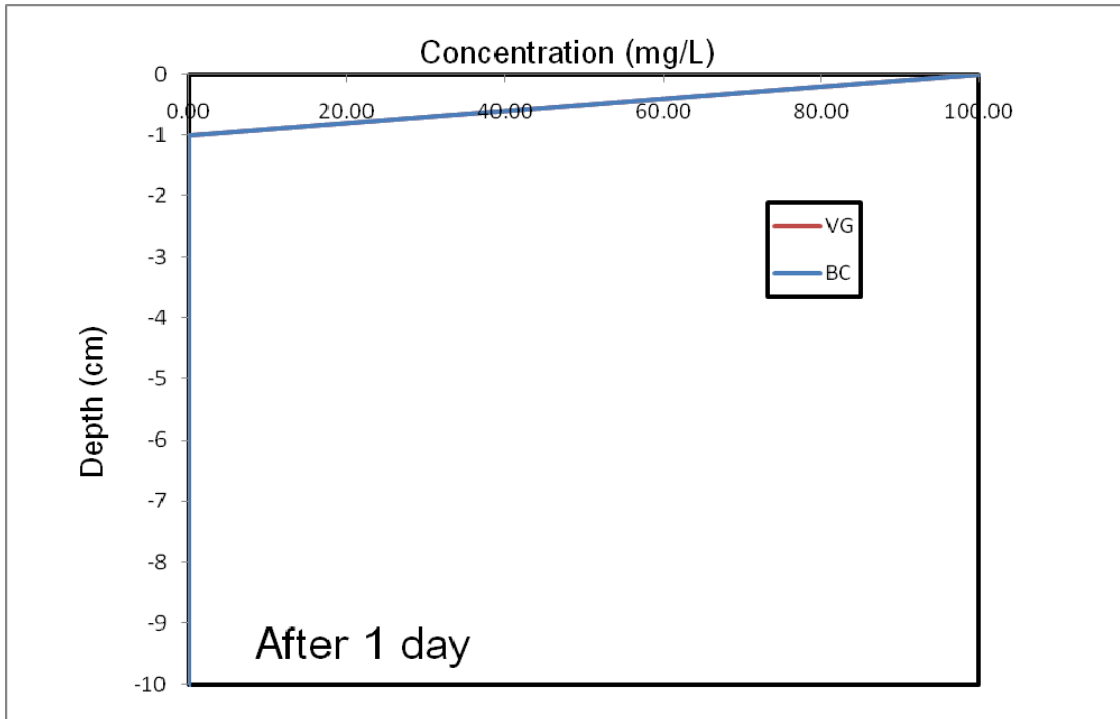
รูปที่ 3.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฆ่าแมลงที่ความลึก 25 เซนติเมตรจากผิวดินตามเวลา



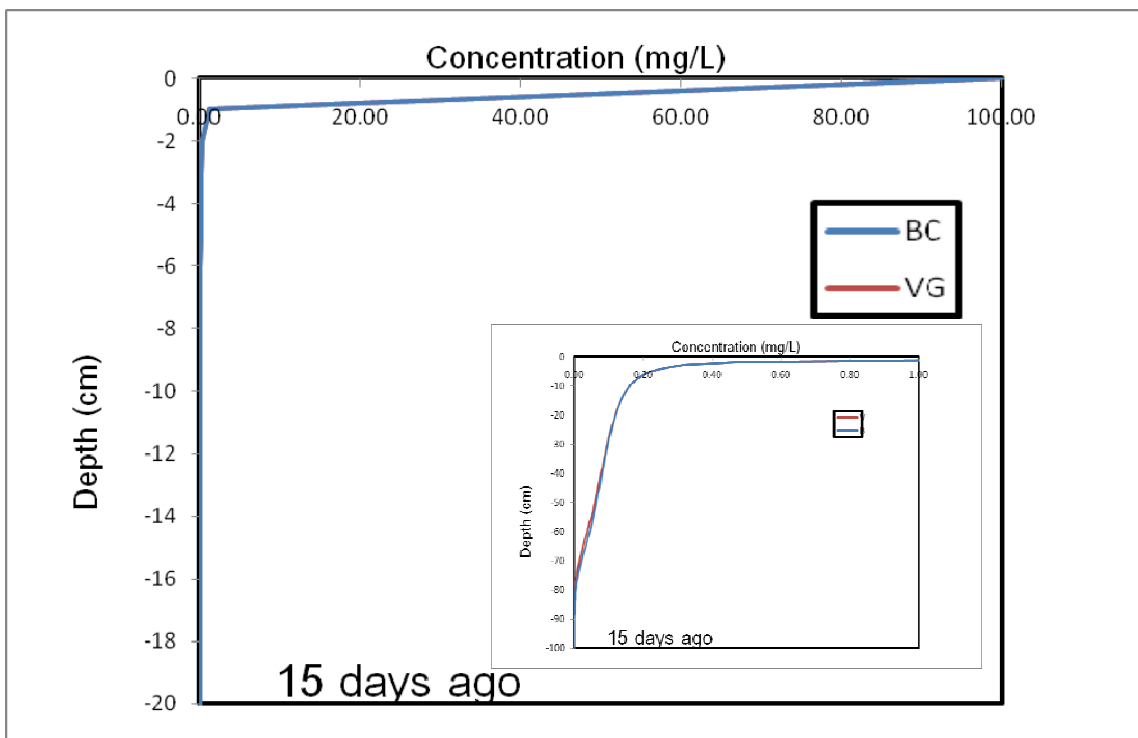
รูปที่ 3.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฆ่าแมลงที่ความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดินตามเวลา

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วง 2 ถึง 5 วันแรกหลักการฉีดพ่นสารฆ่าแมลงพบว่าที่ระดับความลึก 10 และ 25 เซนติเมตร สารฆ่าแมลงมีปริมาณความเข้มข้นอยู่ที่ 0 mg/L (รูปที่ 3.16 และ 3.17) และหลังจากระยะเวลาดังกล่าวสารฆ่าแมลงมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ความเข้มข้น 0.18 และ 0.10 ตามลำดับ ดังนั้นแล้วสารฆ่าแมลงใช้เวลา 1.9 5.2 และ 25.8 วัน ในการเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นดินที่ความลึก 10 25 และ 100 เซนติเมตร ตามลำดับ

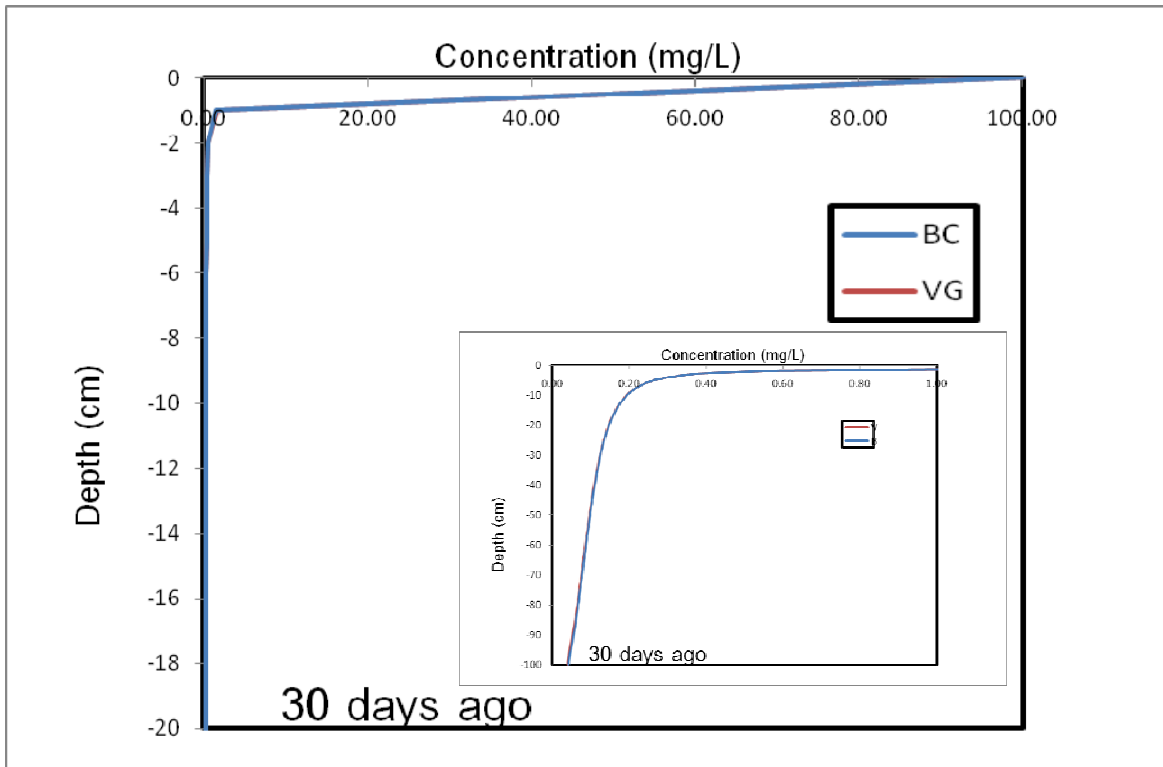
3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฆ่าแมลงคลอรีไพริฟอสที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก (ตั้งแต่ 0 -100 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.19 แสดงการลดลงของปริมาณสารฆ่าแมลงตามความลึก หลังการฉีดพ่นสารฆ่าแมลง 1 วัน



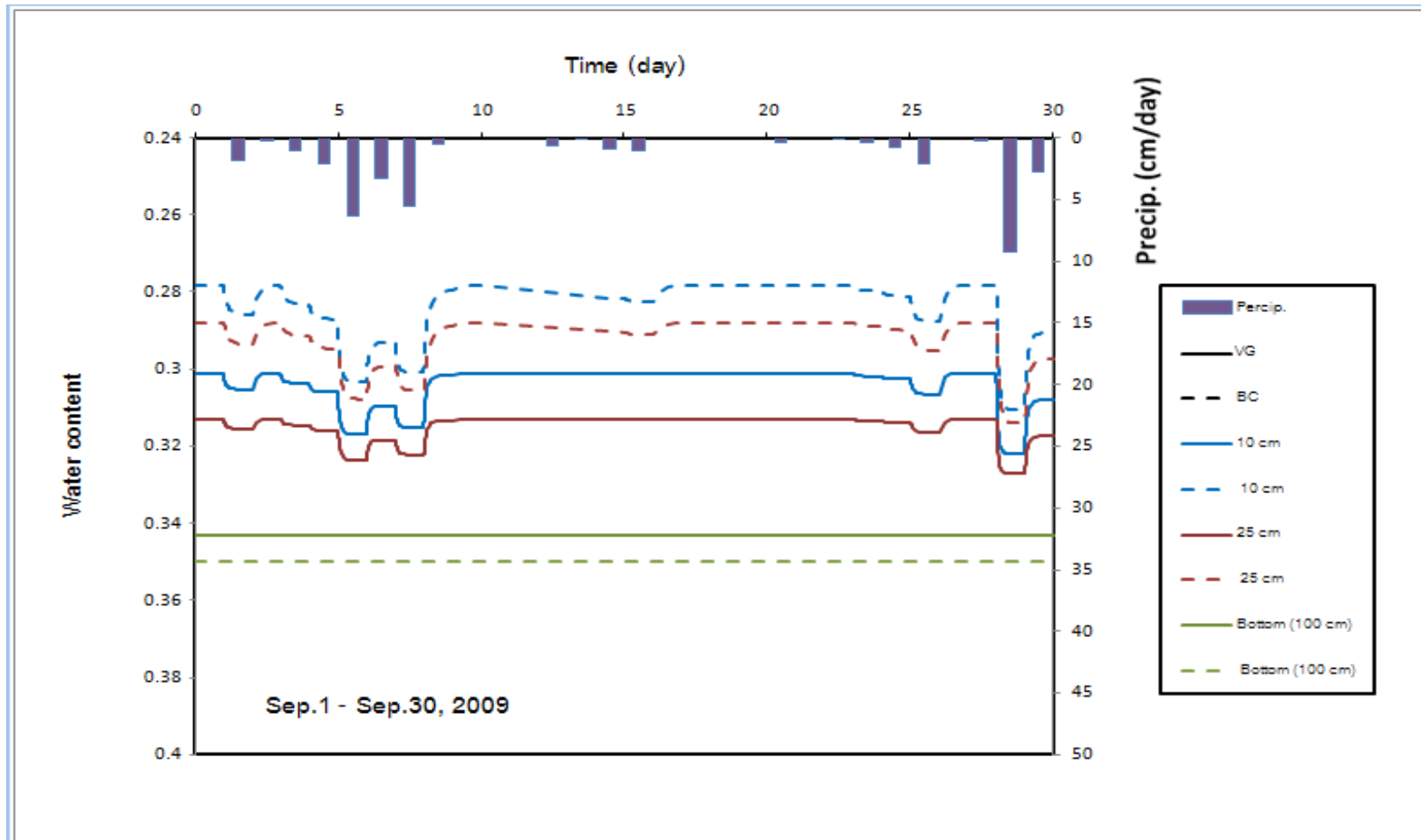
รูปที่ 3.20 แสดงการลดลงของปริมาณสารฆ่าแมลงตามความลึก หลังการฉีดพ่นสารฆ่าแมลง 15 วัน



รูปที่ 3.21 แสดงการลดลงของปริมาณสารฆ่าแมลงตามความลึก หลังการฉีดพ่นสารฆ่าแมลง 30 วัน

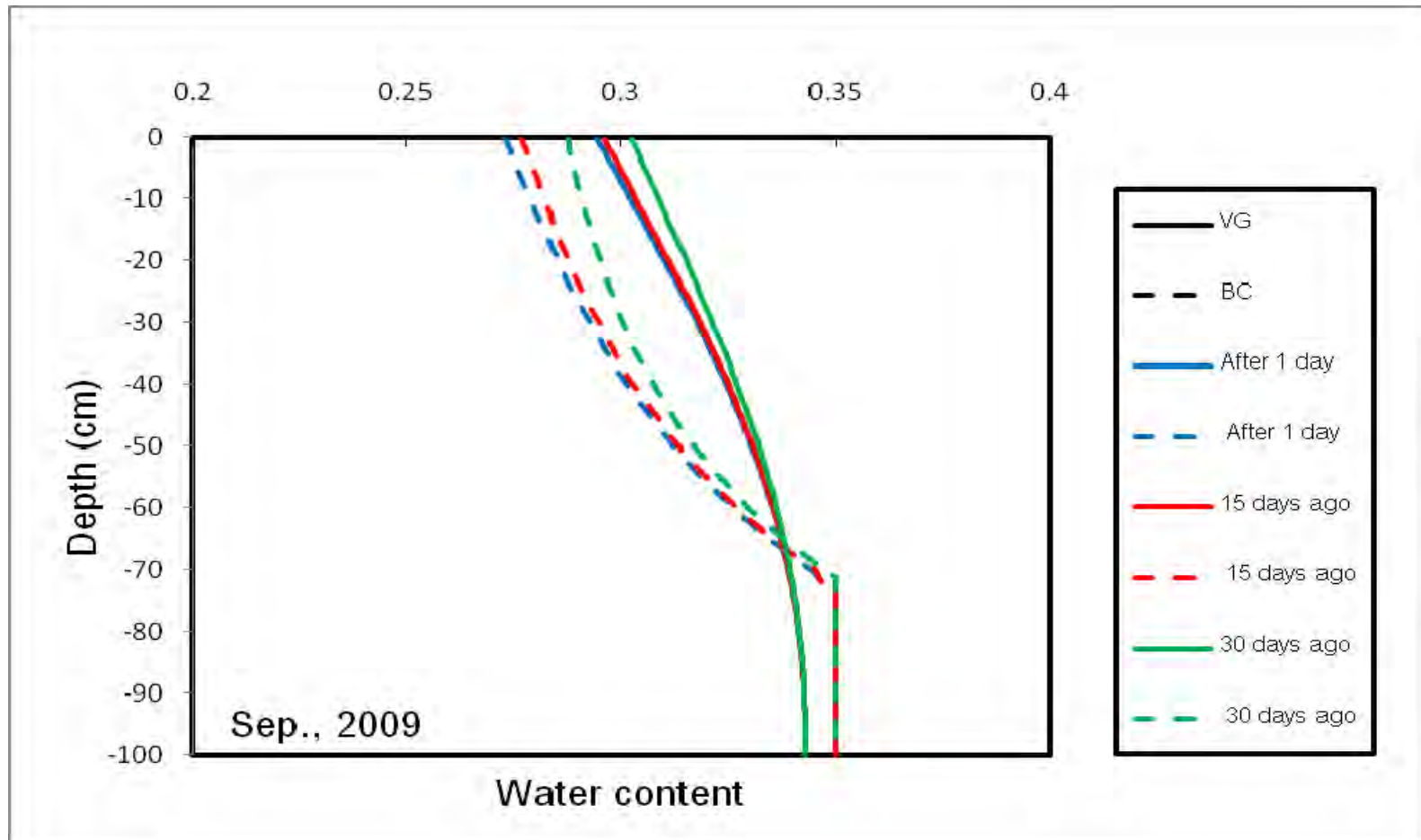
จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 30 วันหลังการฉีดพ่น (รูปที่ 3.21) พบว่าที่ระดับความลึกที่ 1 เมตรพบสารฆ่าแมลงที่มีความเข้มข้น 0.038 mg/L ดังนั้นถ้าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ระดับ 1 เมตร หรือน้อยกว่า 1 เมตร อาจมีการพบการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสในน้ำใต้ดินบริเวณดังกล่าวได้

3.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของน้ำในดิน (water content) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน ถึง 30 กันยายน)



รูปที่ 3.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของน้ำในดิน (water content) ที่ความลึก 10, 25, และ 100 เซนติเมตรจากผิวดิน ตลอดเดือนกันยายนปี 2552

3.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของน้ำในดิน (water content) ที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก



รูปที่ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของน้ำในดิน (water content) ที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก ในวันที่ 1, 15 และ 30 กันยายน 2552

จากรูปที่ 3.22 และ 3.23 พบว่าสมการของ van Grunuchten (VG) ให้ค่าของปริมาณร้อยละของน้ำในดินที่มากกว่าสมการของ Brooks และ Corey ประมาณ 2 % ในช่วงความลึกที่ 0-70 เซนติเมตร และจากรูปที่ 3.23 พบว่าที่ระดับความลึก 70 เซนติเมตรจากผิวดินจนถึงที่ระดับ 1 เมตรซึ่งกำหนดให้เป็นระดับของน้ำใต้ดินในพื้นที่จะเห็นได้ว่าในช่วงความลึกดังกล่าวค่าปริมาณร้อยละของน้ำในดินมีค่าค่อนข้างคงตัว ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าช่วงระยะความลึก 70 เซนติเมตรจากผิวดินจนถึงที่ระดับ 1 เมตรเป็นชั้นที่ดินที่มีเริ่มมีการอิ่มตัวด้วยน้ำ

บทที่ 4

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

4.1.1 ลักษณะของความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดิน (soil water characteristics curve) โดยสมการของ van Genuchten (VG) และสมการของ Brooks และ Corey (BC)

ในการศึกษาหาค่าความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับความดันของน้ำในดินครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าจากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการของ van Genuchten (VG) และสมการของ Brooks และ Corey (BC) ซึ่งจากผลการทดลอง (รูปที่ 3.11-3.14) พบว่าค่าจากการทดลองมีความสัมพันธ์กับสมการของ van Genuchten (VG) มากกว่าสมการของ Brooks และ Corey (BC) กล่าวคือค่าสหสัมพันธ์ (r^2) ที่ได้จากสมการ van Genuchten (VG) สูงกว่าสมการของ Brooks และ Corey (BC)

4.1.2 ค่าปริมาณความชื้น (water content) กับลักษณะการเคลื่อนตัวของสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

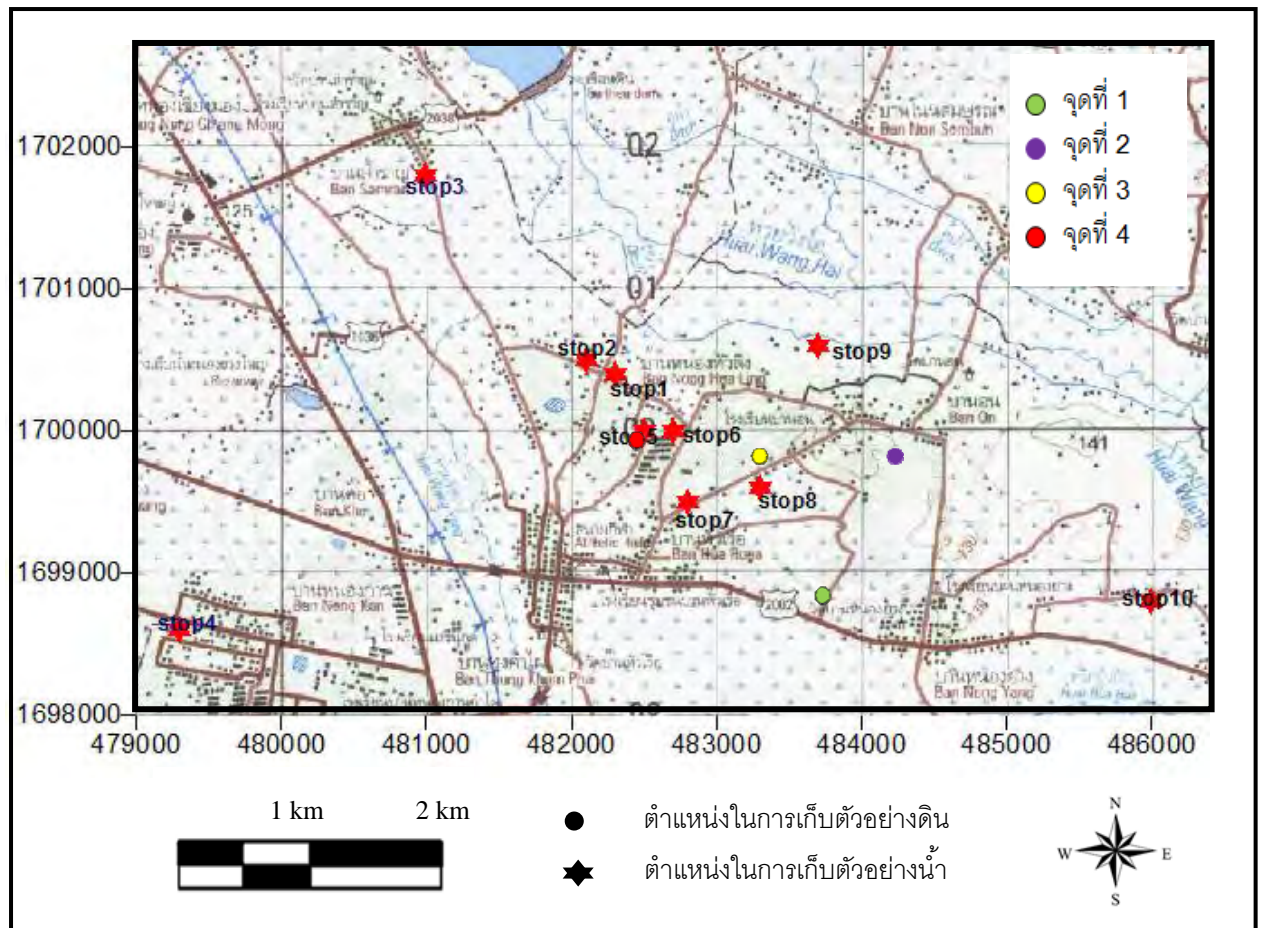
จากรูปที่ 3.17 และ 3.22 พบว่าค่าปริมาณความชื้น (water content) มีผลต่อการเคลื่อนตัวของสารฆ่าแมลงในชั้นดินโดยพบว่าเมื่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้นมากในช่วง 5 วันแรกหลังการฉีดพ่นมีผลทำให้สารฆ่าแมลงมีการเคลื่อนที่ในชั้นดินได้ลึกขึ้นกว่าปกติจะเห็นได้จากปริมาณของสารฆ่าแมลงที่มีค่าต่ำมาก แต่พอผ่านไปประมาณ 2 ถึง 3 วันต่อมาจะเห็นได้ว่าสารฆ่าแมลงมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่โดยระยะเวลาที่สารฆ่าแมลงมีปริมาณคงที่นั้นจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณน้ำฝนน้อยมาก

4.1.3 ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับปริมาณสารฆ่าแมลงคลอโรไพริฟอสที่มีการปนเปื้อนอยู่จริงในน้ำใต้ดินและดินในบริเวณที่ทำการศึกษา

จากผลการทดลองพบว่าดินตัวอย่างที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นทรายนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแบบ Freundlich เท่ากับ 157.398 L/kg และ n เท่ากับ 4.4 และจากการจำลองการเคลื่อนตัวของสารฆ่าแมลงคลอโรไพริฟอสโดยทำการกำหนดความลึกของระดับน้ำใต้ดินที่ความลึก 100 เซนติเมตร จากผิวดิน พบว่าสารฆ่าแมลงคลอโรไพริฟอสสามารถเคลื่อนตัวในชั้นดินทรายของบริเวณที่ทำการศึกษาลึกสุดมากกว่า 100 เซนติเมตร โดยมีปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 0.1 mg/L (รูปที่ 3.21) (ทำการจำลองการเคลื่อนตัวโดยใช้ข้อมูลฝนและอัตราการระเหยของเดือนกันยายน เป็นเวลาทั้งหมด 30 วัน)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษามาทำการส่งวิเคราะห์หาสารฆ่าแมลงที่ตกค้างอยู่ในน้ำใต้ดิน แต่จากผลการวิเคราะห์พบว่าไม่พบสารฆ่าแมลงตกค้างอยู่ในน้ำใต้ดินบริเวณนี้ โดยผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลของแบบจำลอง ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากสาเหตุของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ เนื่องจากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าบ่อน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 8 และ 9 ซึ่งอยู่ใกล้กับตำแหน่งดินทราย (จุดที่ 2) ที่นำมาศึกษามากที่สุดมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่า 100 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.1) หรืออาจเกิดจากผลของการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในดินทำให้ปริมาณของสารฆ่าแมลงคลอโรไพริฟอสไม่พบในน้ำใต้ดิน

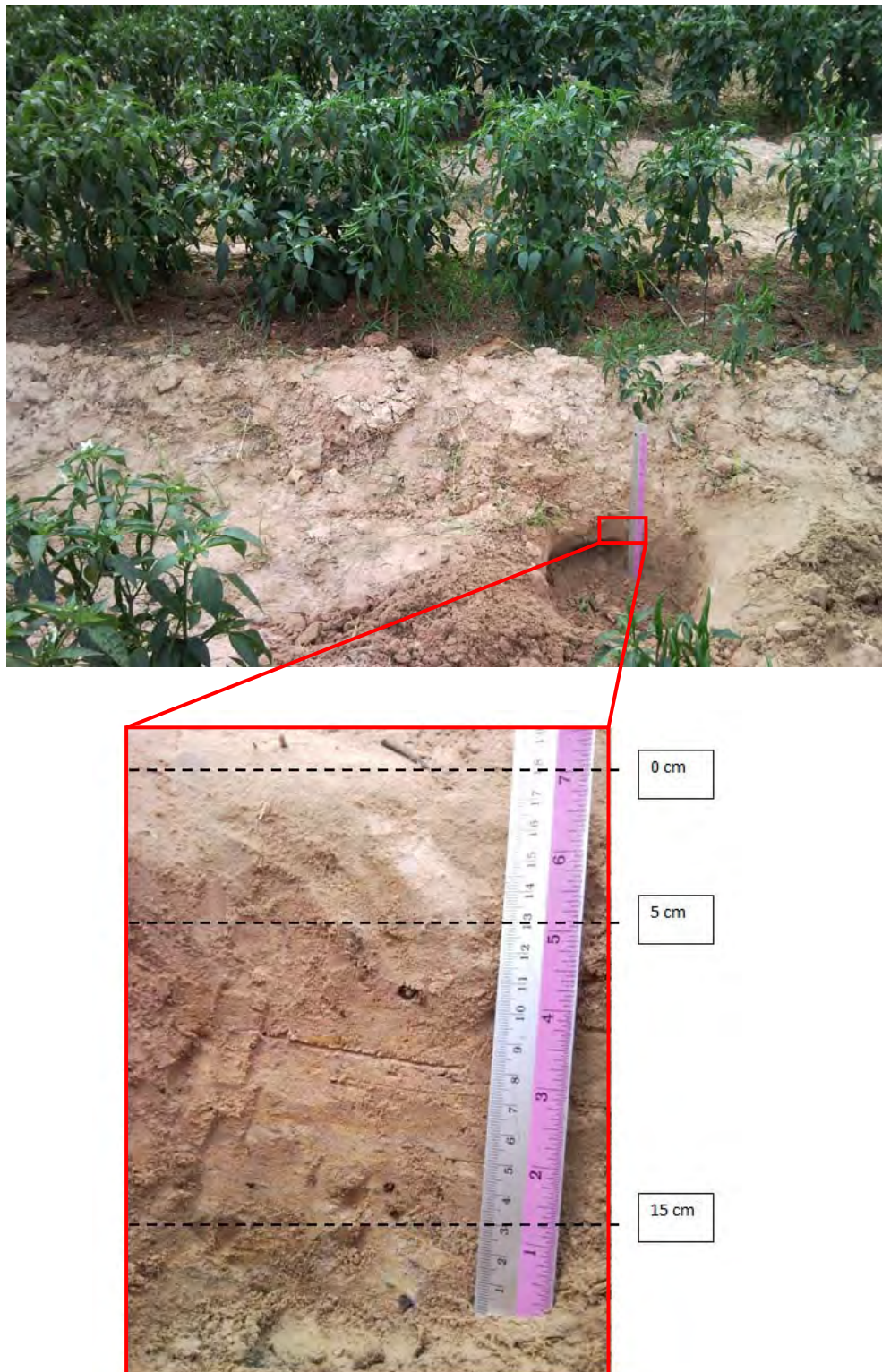
ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการเก็บตัวอย่างดินหลังจากทำการฉีดพ่นไปแล้ว 1 วัน ที่ความลึก 5-15 เซนติเมตรจากผิวดิน (รูปที่ 4.2) มาทำการส่งวิเคราะห์พบว่าไม่พบสารฆ่าแมลงตกค้างในดิน ซึ่งตรงกับผลของแบบจำลอง ดังรูปที่ 3.19 จะเห็นได้ว่าหลังการฉีดพ่นไปแล้ว 1 วัน สารฆ่าแมลงคลอโรไพริฟอสสามารถเคลื่อนตัวได้ต่ำสุดที่ระดับความลึก 1 เซนติเมตร



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดินที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ และตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน

ตารางที่ 4.1 แสดงระดับน้ำใต้ดินที่วัดได้จากบ่อน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

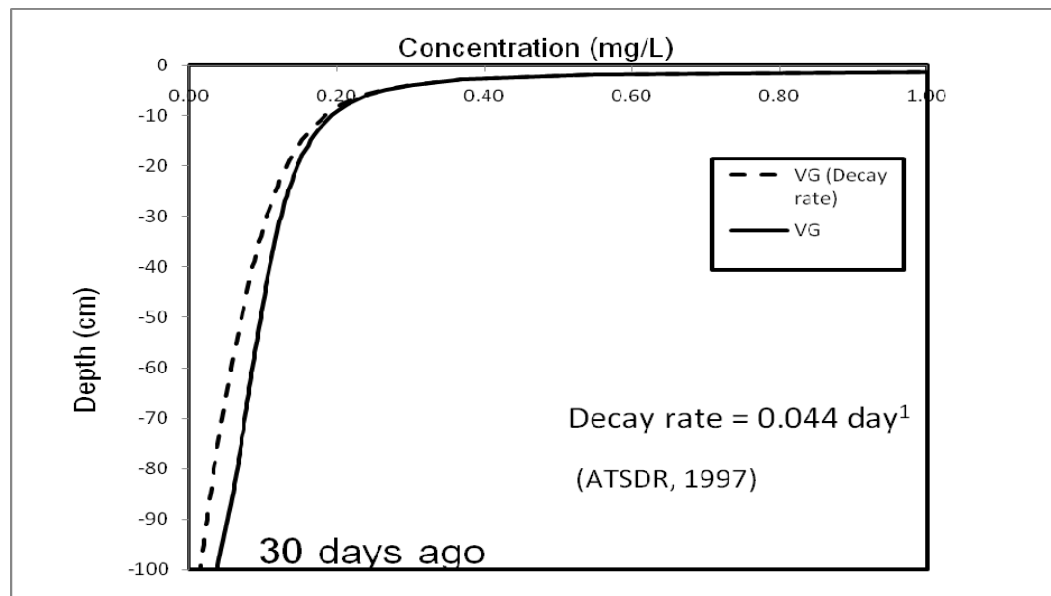
ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน	ระดับน้ำใต้ดิน (cm)			
	27 กรกฎาคม 2552	12 ตุลาคม 2552	13 ธันวาคม 2552	28 มกราคม 2553
1	124	125	124.5	123.5
2	128.52	131.5	129.75	127.8
3	126.75	128.5	126.86	126.75
4	134	135.4	134	134
5	129.25	130.4	129.4	129
6	128.5	131.35	130	129
7	126.5	128.25	128	128
8	125	125.2	123.8	123.6
9	120	121	120.2	119.5
10	128.25	128.75	128.3	127.5



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะและความลึกของดินในบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างดินสงวีเคราะห์

4.1.3 อัตราการสลายตัวของสารฆ่าแมลงคลอริไพริฟอสกับลักษณะการเคลื่อนตัวของสารฆ่าแมลงคลอริไพริฟอสในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

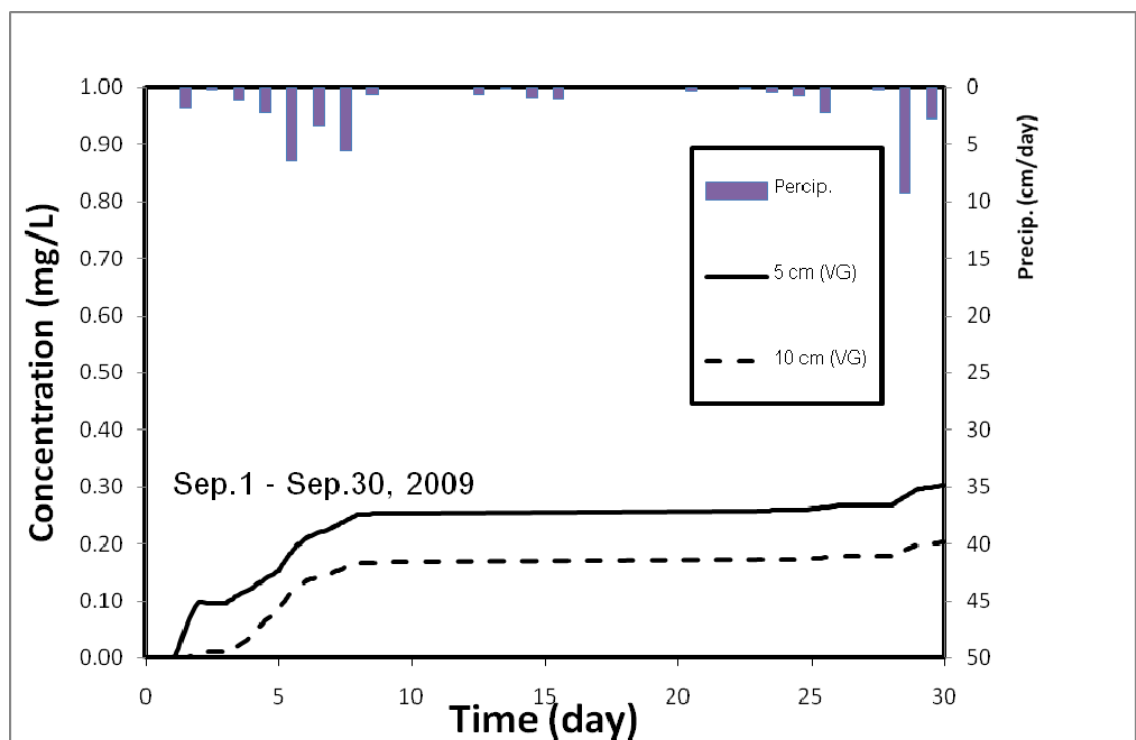
จากการศึกษาของ Chambers และ Levi (1992) พบว่าสารฆ่าแมลงออร์กาโนฟอสเฟสมีระยะเวลาการตกค้างในดินค่อนข้างสั้น เพราะมีขบวนการย่อยสลายเกิดขึ้น ขบวนการย่อยสลายอาจเป็นขบวนการทางเคมี เช่น ไฮโดรไลซิส หรือขบวนการทางชีวภาพที่เป็นการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และพบว่าสารออร์กาโนฟอสเฟสมีค่าครึ่งชีวิตที่มีระยะเวลาที่แตกต่างกันในดินชนิดต่างๆ ซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลายด้าน ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวได้มีการหาความสัมพันธ์ของอัตราการสลายกับผลการจำลองการเคลื่อนตัวในครั้งนี้ (รูปที่ 4.3) พบว่าคลอริไพริฟอสมีอัตราการสลายตัวอยู่ที่ 0.044 ต่อวัน (ATSDR, 1997) จะมีผลต่อการลดลงของปริมาณสารฆ่าแมลงเมื่อคำนึงถึงผลของการสลายตัว กล่าวคือที่ความลึก 1 เมตรพบความเข้มข้นของคลอริไพริฟอสเข้มข้น 0.016 mg/L ลดลง 58 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารฆ่าแมลงที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก โดยทำการเปรียบเทียบผลของอัตราการสลายตัวของคลอริไพริฟอส

4.1.4 ผลของการปนเปื้อนสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสในดิน

จากผลการจำลองการเคลื่อนตัวของสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าที่ความลึก 5 และ 10 เซนติเมตรพบสารฆ่าแมลงตกค้างอยู่ในดินตลอดเดือนกันยายน (รูปที่ 4.4) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่างๆตามมาได้ดังนี้คือ สารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสสามารถเคลื่อนตัวและตกค้างในชั้นดินที่ความลึกต่างๆ โดยเฉพาะที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร จากผิวดินตลอดเดือนกันยายนโดยที่ความลึกดังกล่าวเป็นความลึกที่รากของต้นพริกสามารถลงไปถึง และมีการดูดซับสารอาหาร ดังนั้นต้นพริกจึงมีโอกาสดูดซึมสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสและอาจเกิดการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงดังกล่าวในต้นพริกได้



รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฆ่าแมลงที่ความลึก 5 และ 10 เซนติเมตรจากผิวดินตามเวลา

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร และใช้ตัวอย่างดินที่ความลึกดังกล่าวเป็นตัวแทนของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำทั้งชั้นซึ่งเมื่อทำแบบจำลองอาจทำให้ได้ผลที่คาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นแล้วหากต้องการได้ผลที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาจึงควรทำการเก็บตัวอย่างดินในลักษณะของดินทั้งชั้น (Profile) ตลอดความลึกตั้งแต่ผิวดินจนถึงระดับน้ำใต้ในพื้นที่ศึกษาทำการทดลองและสร้างแบบจำลองซึ่งจะทำให้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในพื้นที่มากกว่า

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการอ้างอิงค่าอัตราการย่อยสลายของดินและค่าเวลาที่ดินมีการอิ่มตัวด้วยสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอส ซึ่งค่าที่อ้างอิงมานั้นอาจมีความคาดเคลื่อนกับค่าที่เป็นจริงในพื้นที่ ดังนั้นแล้วหากต้องการให้แบบจำลองได้ผลที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาจึงควรทำการทดลองหาค่าดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- ASTM. 2004. Annual Book of ASTM Standards. Standard test method by soils and sediments (D 6836 – 02). Philadelphia: American Society for Testing and Materials,
- ASTM. 2002. Annual Book of ASTM Standards. Standard test method by soils and rock (D420–D5799). Philadelphia: American Society for Testing and Materials,
- ASTM. 1993. Annual Book of ASTM Standards. Standard test method for 24-h batch-type measurement of contaminant sorption by soils and sediments (D 4646-87). Philadelphia: American Society for Testing and Materials,
- ATSDR. 1997. Toxicological Profile for Chlorpyrifos. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta: GA.
- Chambers, J.E. and Levi, P.E. 1992. Organophosphates: Chemistry. Fate and Effects, Academic Press, San Diego, pp. 47-73.
- Chatupote, W. and Panapitukkul, N. 2005. Regional assessment of nutrient and pesticide leaching in the vegetable production area of Rattaphum Catchment. Thailand Water, Air, & Soil Pollution, 5:165.
- Du, Y.J. and Hayashi, S. 2006. A study on sorption properties of Cd²⁺ on Ariake clay for evaluating its potential use as a landfill barrier material. Applied Clay Science, 32:14-24.
- Fredlund, D.G. and Xing, A. 1994. Equation for the soil-water characteristic curve. Canadian Geotechnical. 31(3):521-532.
- Fredlund, M.D., Fredlund, D.G. and Wilson, G.W. 1997. Prediction of the soil-water characteristic curve from grain-size distribution and volume-mass properties. In Proceedings of the 3rd Brazilian Symposium on Unsaturated Soils, NONSAT '97, Rio de Janeiro, 22–25 April 1997, 1:13–23.
- Garcia, A.V., Viciano, M.S., Pradas, E.G. and Sanchez, M.V. 1992. Adsorption of chlorpyrifos on Almeria soils. The Science of the Total Environment, 123: 541–549.
- Kah, M. and Brown, C.D. 2007. Changes in pesticide adsorption with time at high soil to solution ratios. Chemosphere, 68:1335-1343.
- Kodesova, R., Kozak, J. and Vacek, O. 2004. Field and numerical study of chlorotoluron transport in the soil profile. Plant Soil Environ, 50: 333-338

- Kohne, J.M., Kohne, S. and Simunek, J. 2009. A review of model applications for structured soils: b) Pesticide transport. Contaminant Hydrology, 104:36-60.
- Kumar, M. and Philip, L. 2006. Adsorption and desorption characteristics of hydrophobic pesticide endosulfan in four Indian soils. Chemosphere, 62:1064-1077.
- Mathew, R.R. and William, T.S. 2009. Partitioning of chlorpyrifos to soil and plants in vegetated agricultural drainage ditches. Chemosphere, 75: 109-114
- Noorallah, G.J. 2009. Introduction to Soil Science and Soil Resources. Volume 01. USA: Salman Production Inc,
- Romyen, S., Luepromchai, E., Hawker, D. and Karnchanasest, B. 2007. Potential of agricultural by product in reducing chlorpyrifos leaching through soil. Journal of Applied Sciences, 7(18):2686-2690.
- Spark, K.M. and Swift, R.S. 2002. Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption. The Science of the Total Environment, 298:147-161.
- Tirado, R., Englande, J., Promakasikorn, L. and Novotny, G.W. 2008. Use of agrochemicals in Thailand and its consequences for the environment. Greenpeace Research Laboratories Technical, 3:1-17.
- กันทิมา ลีจันท์ก. 2552. <http://www.thaihealth.or.th/node/9135> สืบค้น 30 พ.ค 52
- โชติมา วิไลวัลย์. 2549. <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=4> สืบค้น 30 พ.ค 52
- สำนักพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจ. 2548. http://cm.nesdb.go.th/pop_summary60.asp?ClusterID=C0044 สืบค้น 30 พ.ค 52