

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาเส้นอรรถลักษณะของน้ำมันดีเซลในทราย

สัญญาเลขที่ ๑๕/๒๕๕๕

เริ่มบริการ

ผู้วิจัย

- 3 มี.ค. ๒๕๕๖

สยาม ยิ้มศิริ

๒๕๐๓๕๘๘๔๗

พฤศจิกายน ๒๕๕๕

๕ 7 มิ.ย. 25๕๖

399426

สนับสนุนโดยทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา
เพื่อส่งเสริมความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของน้ำมันดีเซลในตัวกลางพรุนชนิดไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการใช้วิธีเคราะห์ด้วยภาพถ่ายจะใช้คอลัมน์หนึ่งมิติในการทดลอง การทดลองจะเป็นลักษณะการถ่ายภาพและนำมาใช้วิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย การศึกษานี้จะแบ่งออกเป็นสองการทดลอง คือ การทดลองระหว่างของเหลวและอากาศ และการทดลองระหว่างน้ำ น้ำมัน และอากาศ การทดลองจะมีการบันทึกภาพถ่ายทุกๆ ครึ่งชั่วโมง จากนั้นนำภาพถ่ายมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันตกค้าง ตัวอย่างทรายที่ใช้ในการทดลองคือ ทรายออกตาวาเบอร์ 3820 ทรายออกตาวาเบอร์ 3821 และทรายออกตาวาแบ่งเป็นชั้นระหว่างเบอร์ 3820 และ 3821 โดยแบบจำลองนี้จะแสดงพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของน้ำมันดีเซลในตัวกลางพรุนที่ไหลผ่านทรายและมีปริมาณการตกค้าง จากการศึกษาในทรายชนิดเดียวพบว่า น้ำมันดีเซลมีการตกค้างอยู่ภายใต้้ำที่อยู่ในชั้นใต้ดิน และจากการศึกษาในทรายแบ่งชั้นพบว่า น้ำมันดีเซลมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณการสะสมในทรายที่เป็นชั้นดินละเอียด

คำนำ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำมันดีเซลผ่านทรายที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการศึกษาลักษณะ saturation-pressure relationship (ดังแสดงในรูปที่ 2) ของน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับของน้ำ โดยการเปรียบเทียบจะกระทำโดยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ van Genuchten (1980) และ Brooks & Corey (1964) เพื่อศึกษาค่า parameter ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยค่าที่สนใจเป็นพิเศษจากการทดลองนี้คือ residual liquid content และ air entry pressure เพื่อบอกได้ว่าน้ำมันดีเซลจะตกค้างในดินทรายด้วยปริมาณเท่าใดเมื่อเกิดการรั่วไหล สิ่งที่จะได้รับจากโครงการนี้คือความเข้าใจดังต่อไปนี้ (i) ทราบลักษณะ saturation-pressure relationship ของน้ำมันดีเซล, (ii) ทราบความแตกต่างของพฤติกรรมของน้ำมันดีเซลกับของน้ำ, (iii) ทราบปริมาณการตกค้างของน้ำมันดีเซลเมื่อเกิดการรั่วไหล, และ (iv) ข้อมูลนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำมันดีเซลผ่านชั้นดิน

โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการระดับปริญญาตรีที่ดำเนินการโดย นายศราวุธ ไชยรัตน์สัมพันธ์ และ นางสาวโสภิตา เพชรรัตน์ โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาเพื่อส่งเสริมความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2555 (สัญญาเลขที่ 15/2555)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
คำนำ	ii
สารบัญ	iii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1-1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1-2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 Light Non-Aqueous Phase Liquid (LNAPL)	2-1
2.1.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของ LNAPL ในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Vadose zone)	2-1
2.1.2 การปนเปื้อนของ LNAPL	2-2
2.2 ชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Vadose zone)	2-2
2.3 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve)	2-4
2.4 Soil Water Characteristic Curve (SWCC) modeling parameters	2-6
2.5 ทฤษฎีการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย (Image Analysis Method)	2-7
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-7
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	3-1
3.1.1 ทราย	3-1
3.1.2 ของเหลว	3-1
3.2 การทดสอบหาความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ย	3-2
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองคอลัมน์หนึ่งมิติ (Column Test)	3-2
3.4 ขั้นตอนการทดลองคอลัมน์หนึ่งมิติ (Column Test)	3-3
3.4.1 การทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างของเหลวและอากาศ	3-3
3.4.2 การทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างน้ำ, น้ำมัน, และอากาศ	3-5
3.5 การเปรียบเทียบรูปร่างของคอลัมน์	3-6

บทที่ 4 อภิปรายผลการทดลอง

4.1	ผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ย	4-1
4.2	ผลการทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างของเหลวและอากาศ	4-3
4.2.1	ผลการทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างน้ำและอากาศ	4-3
4.2.2	ผลการทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างน้ำมันดีเซลและอากาศ	4-4
4.2.3	วิเคราะห์ผลการทดลองระหว่างของเหลวและอากาศ	4-6
4.3	ผลการทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่าง น้ำ น้ำมัน และอากาศ	4-7

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5-1

เอกสารอ้างอิง

R-1

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ทำให้มีความต้องการในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรม ครุภัณฑ์ คมนาคม และขนส่ง โดยอัตราการบริโภคน้ำมันในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี (กรมธุรกิจพลังงาน, 2555) จากอัตราการบริโภคน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สถานีบริการน้ำมันมีเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยปัจจุบันประเทศไทยมีสถานีให้บริการน้ำมันน้ำมันขึ้นจดทะเบียนทั้งหมด 14,338 แห่ง (กรมธุรกิจพลังงาน, ไตรมาส 3/2554) ซึ่งการจัดเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกจัดเก็บไว้ในถังเก็บน้ำมันใต้ดิน (Underground Storage Tank, UST) โดยส่วนมากในประเทศไทยถังเก็บน้ำมันเหล่านี้ทำมาจากเหล็ก เมื่อใช้ถังเก็บน้ำมันเป็นเวลานานและขาดการบำรุงรักษาที่ดี ถังเก็บน้ำมันเหล่านี้อาจเกิดการผุกร่อนก่อให้เกิดปัญหาการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงลงสู่ชั้นดิน เกิดการปนเปื้อนและเกิดปัญหาการสะสมของน้ำมันในชั้นดินโดยหากประเมินว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของถังเก็บน้ำมันใต้ดินทั่วประเทศมีการรั่วไหลจะมีการปนเปื้อนของดินจากน้ำมันเชื้อเพลิงกว่า 1,500,000 ลูกบาศก์เมตร (วรรณัฐ, 2554) ปัญหาดังกล่าวอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำมันในชั้นดิน เพื่อเข้าใจถึงพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันในชั้นดิน นำไปสู่การออกแบบระบบป้องกันการรั่วไหลและระบบการบำบัดดินปนเปื้อนที่มีประสิทธิภาพ

น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญในภาคอุตสาหกรรม ครุภัณฑ์ คมนาคม และขนส่ง จึงทำให้มีอัตราการบริโภคของน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้สถานีจัดเก็บและให้บริการน้ำมันนั้นมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยสถานีน้ำมันจะสร้างถังเก็บน้ำมันอยู่ใต้ดิน และเกือบจะทั้งหมดของโครงสร้างถังเก็บน้ำมันที่ใช้กันอยู่นั้นไม่มีระบบป้องกันการรั่วซึมของน้ำมันที่อาจจะไปปนเปื้อนกับดินหรือชั้นน้ำใต้ดิน

ดินที่ปนเปื้อนน้ำมันดีเซลจะต้องนำไปเข้ากระบวนการบำบัดทางทั้งเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพก่อน จึงจะนำไปใช้ในการเพาะปลูกหรือเลี้ยงสัตว์ได้ และยังเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศวิทยา สำหรับเรื่องความอันตรายของน้ำมันดีเซลต่อสุขภาพนั้นเนื่องจากน้ำมันดีเซลนั้นมีอัตราการละลายน้ำต่ำก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินเป็นเวลานานส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพในระยะยาว ดังนั้นการปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดิน ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงต่อสุขภาพของประชากรในด้านระบบทางเดินหายใจระบบประสาท ความเสี่ยงในการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมและการเกิดมะเร็ง

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำมันดีเซลในชั้นดิน เนื่องจากอัตราการบริโภคน้ำมันดีเซลมีปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น และดินทรายที่ใช้ในการศึกษาคือดินทรายออตาวา ทำการศึกษาโดยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Simplified Image Analysis Method) (Flores, 2010) เพื่อหาค่าระดับการอิ่มตัวของน้ำและน้ำมันดีเซลในชั้นดิน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยมีดังนี้

- เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเส้นอัตราลักษณ์ของน้ำและน้ำมันดีเซลในดินทราย
- เพื่อศึกษาพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันดีเซลในชั้นดินทรายที่มีขนาดเม็ดดินที่แตกต่างกัน
- เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินที่มีต่อพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันดีเซลในชั้นดินทราย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาความสัมพันธ์ของเส้นอัตราลักษณ์ของน้ำและน้ำมันดีเซลในดินทราย โดยทรายที่ใช้ในการทดลองคือ ทรายออกตาวา เบอร์ 3820 และ เบอร์ 3821 ดำเนินการทดลองในช่วงความดันต่ำ (0-10 kPa) ในคอลัมน์อะครีลิก (ขนาด 3.5 ซม. x 3.5 ซม. x 110 ซม.) ทำการประมาณระดับการอิมตัวของน้ำและน้ำมันดีเซลที่ระดับความสูงต่างๆ กันโดยการวิเคราะห์ภาพถ่าย และจากการเก็บตัวอย่างจริง

ศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินที่มีต่อพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันดีเซลในชั้นดินทราย โดยทรายที่ใช้ในการทดลองคือ ทรายออกตาวา เบอร์ 3820 และเบอร์ 3821 ดำเนินการทดลองในคอลัมน์อะครีลิก (ขนาด 3.5 ซม. x 3.5 ซม. x 110 ซม.) ทำการประมาณระดับการอิมตัวของน้ำและน้ำมันดีเซลที่ระดับความสูงต่างๆ กันโดยการวิเคราะห์ภาพถ่าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบพฤติกรรมการไหลของน้ำและน้ำมันดีเซลที่สภาวะความดันต่างๆ กันจากเส้นอัตราลักษณ์ของน้ำและน้ำมันดีเซล
- ทราบพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันดีเซลในชั้นดินทรายที่มีขนาดเม็ดดินที่แตกต่างกัน
- ทราบถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินที่มีต่อพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันดีเซลในชั้นดินทราย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

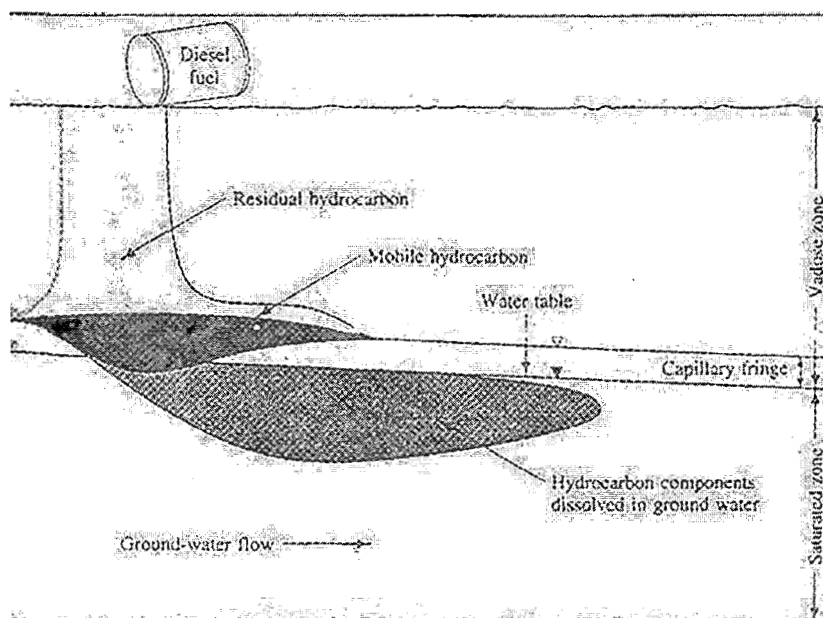
2.1 Light Non-Aqueous Phase Liquid (LNAPL)

ในการทดลองการซึมผ่านของเชื้อเพลิงผ่านดินทรายจะมีสารหรือของเหลวที่มีความสำคัญต่อการปนเปื้อนของดินตัวหนึ่งก็คือ Light Non-Aqueous Phase Liquid (LNAPL) ซึ่งเป็นของเหลวที่ไม่สามารถผสมกับน้ำได้ มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ และมีอัตราการละลายน้ำต่ำ LNAPL เป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น น้ำมันดิบ (Crude Oil) น้ำมันเชื้อเพลิง (Gasoline) เป็นต้น LNAPL เป็นสารที่ไม่มีขั้วคือ จะไม่สามารถละลายในน้ำได้ สารจำพวกนี้มีความอันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม ความอันตรายมากน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีหรือของเหลวว่ามีจำนวนและปริมาณที่มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด

2.1.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของ LNAPL ในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Vadose zone)

การเคลื่อนตัวของ LNAPL จะเคลื่อนตัวในลักษณะที่ตกลงสู่ชั้นดินตามแรงโน้มถ่วงของโลก และจะค่อยๆ ไหลซึมผ่านเข้าไปแทนที่ช่องว่างบางส่วนของช่องคาпилลารี เมื่อเกิดการไหลซึมผ่านมากขึ้น LNAPL ก็จะเริ่มสะสมแล้วกดทับถมกันจนเกิดเป็นแถบความหนาบริเวณชั้นผิวหน้าของเขตอิ่มตัวเหนือระดับน้ำใต้ดิน (capillary fringe) ที่เรียกว่า “Oil table” เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันที่ไม่สามารถจะละลายน้ำได้ จนเมื่อมีการรวมตัวกันมากถึงจุดอิ่มตัวแล้วน้ำมันจะเริ่มแพร่กระจายไปตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน หรือ ตามความลาดชันของพื้นที่ และน้ำมันบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ตามช่องว่างของอนุภาคดิน (Fetter, 1999) จนในที่สุดแล้ว ชั้นคาพิลลารีทั้งหมดก็จะเกิดความเสียหาย ซึ่งในส่วนของตกค้างจากบริเวณ oil table นั้นจะถูกน้ำหนักการกดทับของ LNAPL ลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในทันที

จากการศึกษาของ A.C.Gangadharan et al. (1988)พบว่าถ้าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดินเป็นแบบเนื้อเดียวกันทุกทิศทาง (Homogeneous and Isotropic) แล้วนั้นการเคลื่อนตัวของน้ำมันผ่านชั้นดินนี้จะมีรูปร่างเป็นรูปกรวยคว่ำ แต่ถ้าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านของชั้นดินไม่เป็นเนื้อเดียวกัน รูปร่างการเคลื่อนตัวนั้นจะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2-1 แสดงรูปร่างของ LNAPL เมื่อเกิดการรั่วซึมของสารและเกิดการตกค้างในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัว ไม่ได้มีเพียงแค่การเคลื่อนตัวไปตามแรงโน้มถ่วงและความลาดชันของดินเท่านั้นที่ทำให้เกิดการไหลซึมผ่านในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (vadose zone) ได้ ขนาดของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ชนิดของดิน และชนิดของของเหลวก็มีผลต่อการไหลซึมผ่านด้วยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2-1 การเคลื่อนตัวของ LNAPL ผ่านชั้นดิน (Fetter, 1999)

2.1.2 การปนเปื้อนของ LNAPL

การปนเปื้อนของ LNAPL ในดินอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น การรั่วไหลจากถังเก็บน้ำมันใต้ดิน ถังเก็บในคลังน้ำมัน และท่อส่งน้ำมัน การรั่วไหลอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการกดทับและการทรุดตัวของฐานราก เป็นต้น เป็นสาเหตุให้เกิดการแพร่มลพิษสู่ชั้นน้ำใต้ดิน นอกจากนี้การปนเปื้อนอาจเกิดจากการเทน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วทิ้งบนผิวดิน บนแม่น้ำลำคลอง การเกิดอุบัติเหตุบนถนนของรถบรรทุกน้ำมัน การปนเปื้อนของน้ำมันนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณที่ปนเปื้อน คุณสมบัติของน้ำมัน โครงสร้างของชั้นดินหรือชั้นหินบริเวณที่เกิดการปนเปื้อน ก่อนที่น้ำมันจะเกิดการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้นั้นจะต้องผ่านชั้นต่างๆ คือ ชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (vadose zone), ชั้นคาปิลลารี (Capillary zone) และ ชั้นน้ำใต้ดิน (Saturated zone) การเกิดการรั่วไหลจากถังเก็บน้ำมันใต้ดิน (Underground Storage Tank: UST) นั้น เริ่มแรกจะเกิดการซึมลงสู่ชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (vadose zone) โดยถ้าการรั่วไหลเกิดขึ้นปริมาณเพียงเล็กน้อย น้ำมันจะถูกดูดซับไว้ตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน และไม่สามารถไหลซึมผ่านลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินหรือชั้นดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated zone) เว้นแต่อนุภาคของดินมีคุณสมบัติในการดูดซับไว้ได้ไม่ดี หรือมีการนำพาลงไปพร้อมกับน้ำฝน และในกรณีที่มีการรั่วไหลออกมามากการปนเปื้อนสู่ชั้นน้ำใต้ดินก็มีโอกาสมากเช่นกัน

2.2 ชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Vadose zone)

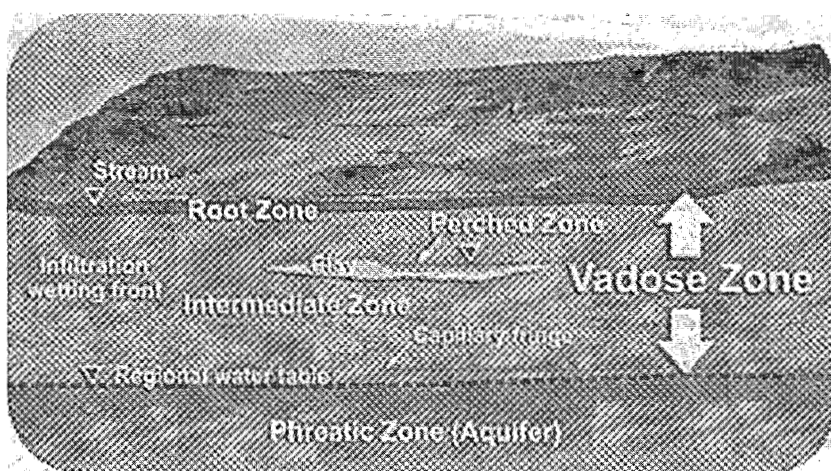
ชั้นดินที่อยู่เหนือเส้นระดับน้ำใต้ดินเรียกว่าชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Vadose Zone) ซึ่งหมายถึง ส่วนที่อยู่ติดกับพื้นผิวดิน ช่องว่างบางส่วนของเม็ดดินจะมีน้ำและฟองอากาศแทรกอยู่ เรียกรวมกันว่า น้ำแขวนลอย (Vadose or suspended water) ปริมาณน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างช่องว่างเหล่านี้อาจมีปริมาณมาก แต่น้ำเหล่านี้ไม่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ เนื่องจากน้ำจะถูกยึดอยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดดินด้วยแรงคาปิลลารี (Capillary

force) เนื่องจากในชั้นดินนี้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินประกอบด้วยอากาศและน้ำ จึงนิยมเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า aeration zone น้ำที่อยู่ในชั้นดินนี้ เรียกว่า vadose water หรือ soil moisture ความหนาของชั้นดินชนิดนี้จะแปรผันไปตามลักษณะโครงสร้างทางธรณีของดิน กล่าวคือในบริเวณ บ่อ หนอง บึง ความหนาจะเท่ากับศูนย์และจะหนาเป็นหลายร้อยฟุตที่บริเวณอยู่เหนือระดับน้ำทะเลหลายๆ เป็นต้น ถัดจาก aeration zone ลงมาหรือชั้นดินที่อยู่ใต้เส้นระดับน้ำใต้ดินเรียกว่า phreatic zone หรือ ground water zone เนื่องจากช่องว่างในระหว่างอนุภาคของดินจะเต็มไปด้วยน้ำ จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า saturation zone น้ำที่อยู่ในชั้นนี้ยังลึกลงไปจะมี ปริมาณน้อยลงตามลำดับทั้งนี้เพราะช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน (pore space) จะมีขนาดเล็กลงเนื่องจากน้ำหนักดินที่อยู่ข้างบนกดทับลงมา ชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำสามารถแยกเป็นส่วนย่อยได้ 3 ส่วนคือ

Belt of soil water เป็นส่วนที่อยู่ชั้นบนสุดของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ประกอบด้วยดิน วัสดุอินทรีย์ และอนินทรีย์ต่าง ๆ น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในส่วนนี้ เรียกว่า ความชื้นในดิน (Soil moisture or soil water) เป็นน้ำที่ใช้สำหรับการเกษตรและยังชีพของพืชและต้นไม้ต่างๆ น้ำบางส่วนอาจจะสูญเสียกลับคืนสู่บรรยากาศโดยตรง โดยกระบวนการระเหยและการคายน้ำ

Capillary fringe เป็นส่วนที่อยู่เหนือถัดขึ้นมาจากชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated zone) ขึ้นไปจนถึงจุดที่สูงที่สุดที่น้ำซึมขึ้นไปด้วยแรงคาปิลลารี (Capillary rise) น้ำที่อยู่ในบริเวณนี้เรียกว่าน้ำซับ (Capillary water) ความหนาของชั้นนี้จะขึ้นอยู่กับแรงคาปิลลารี ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างของเม็ดดิน ดินถ้าช่องว่างมีขนาดเล็กส่วนนี้จะหนามาก

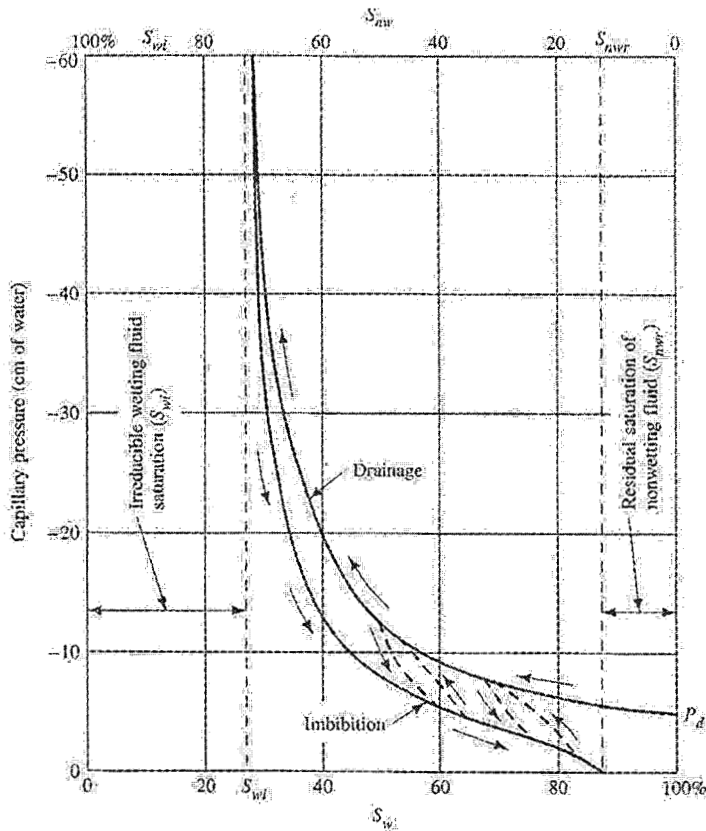
Intermediate belt เป็นส่วนที่อยู่ระหว่าง Belt of soil water กับ Capillary fringe ไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก เพราะเป็นเพียงทางผ่านของน้ำที่ซึมผ่านลงไปเท่านั้น น้ำในส่วนนี้เรียกว่า Intermediate Vadose water ส่วนนี้อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับความลึกของชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ กล่าวคือ ถ้าชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ไม่ลึกจากผิวดิน ส่วนของ Intermediate belt อาจจะไม่มีเลย เพราะชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีความหนาไม่มาก ในขณะที่ถ้าชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ลึกลงไปจากผิวดิน ความหนาของชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำก็จะมากไปด้วย ทำให้ส่วนของ Intermediate belt ก็จะมีมีความหนามากไปด้วย



รูปที่ 2-2 ภาพตัดขวางของชั้นดิน ที่มา; www.dbstephens.com/images/vz_model_.jpg

2.3 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve)

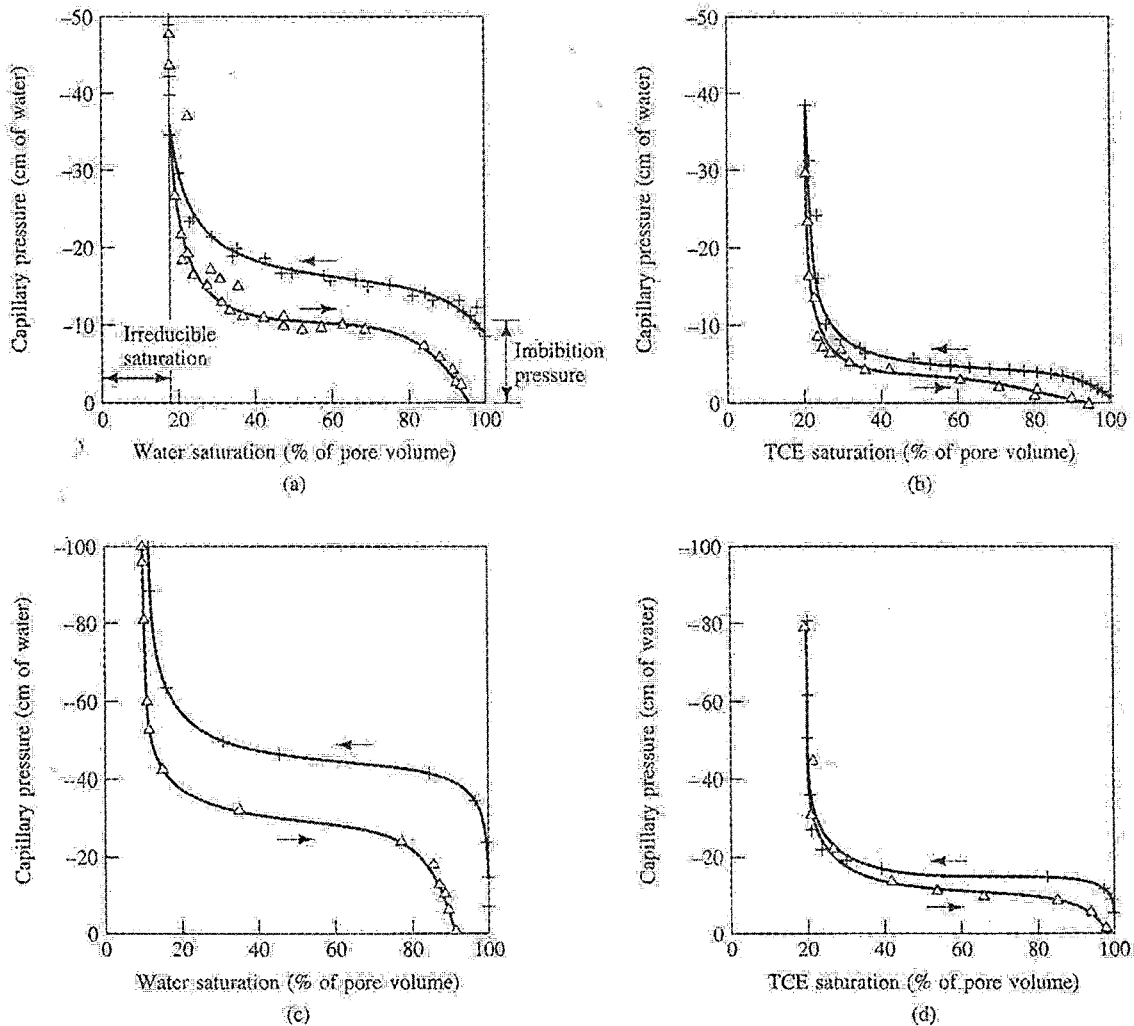
เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (SWCC) เป็นส่วนสำคัญของการแสดงความสัมพันธ์ในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (vadose zone) โดยจะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง soil suction และ soil water content เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของดินกับน้ำ (SWCC) ยังได้แสดงความสัมพันธ์ช่องว่างของเม็ดดินไปจนถึงค่าการดูดซึมของน้ำโดยกระบวนการของดิน ณ ที่สภาวะความสัมพันธ์ที่มีปริมาณ water content ต่ำ จะมีค่าความสัมพันธ์ต่างไปด้วย ส่วนสภาวะที่มีปริมาณ water content สูง จะมีความแตกต่างระหว่างช่องว่างของเม็ดดินและน้ำอิสระที่ลดต่ำลง ค่าความสัมพันธ์ของ soil suction จะลดต่ำลง เมื่อช่องว่างระหว่างเม็ดดินสามารถเข้าสู่ความสมดุลแล้ว น้ำอิสระกับ soil suction จะเกิดสมดุลจนถึงช่วงจุดที่เป็นค่า 0 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำยังสามารถอธิบายความแตกต่างของ wetting characteristic curve and drying characteristic curve ที่เกิดขึ้นได้อีกดังนี้



รูปที่ 2-3 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Fetter, 1999)

จากรูปที่ 2-3 สามารถเรียกอีกอย่างว่ากราฟ Soil water retention curve หรือกราฟ Capillary pressure curve เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Capillary pressure และการอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) ของดิน ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลองโดยทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรืออยู่ในสภาวะที่เปียก หรือเรียกว่า Wetting fluid saturation, S_w จากนั้นจึงค่อยๆ ทำให้ดินอยู่ในสภาวะแห้ง โดยเพิ่มความดันเพื่อให้น้ำไหลออก(Drainage) จุด P_d คือจุดที่ความดันสามารถทำให้น้ำเริ่มไหลออกเรียกว่า Displacement

imbibitions bubbling pressure หรือ Air entry value เมื่อน้ำเริ่มไหลออกก็จะทำให้ค่าของ Wetting fluid saturation, S_w น้อยลงเรื่อยๆ และสภาพของดินจะเปลี่ยนจากสถานะจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นสถานะที่ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ หรือเรียกว่า Nonwetting fluid saturation, S_{nw} จนเส้นการแห้ง (Drying curve) ขึ้นเป็นแนวตั้ง แสดงว่าที่ความดันสูงกว่านี้ ก็ไม่สามารถทำให้น้ำไหลได้ เนื่องจากมีแรงดันคาปิลลารี ทำให้มีน้ำเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดดิน โดยระยะของแนวตั้งถึงเส้นแกน Y เรียกว่า Irreducible wetting fluid saturation, S_{wi} ส่วนเส้นการเปียก (Imbibitions or wetting curve) คือการทำที่ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เปลี่ยนเป็นสถานะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการทำให้น้ำซึมเข้าไปในชั้นดินดินอิ่มตัว แต่ค่าของ Wetting fluid saturation, S_w จะได้น้อยกว่าเดิมเนื่องจากน้ำที่เข้าไปแทนที่ในช่องว่างของเม็ดดินไม่สามารถไล่อากาศที่ขังอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้ทั้งหมด จึงไม่สามารถทำให้ค่า Wetting fluid saturation, S_w กลับเป็นเหมือนสภาพเดิม โดยค่าความแตกต่างนี้เรียกว่า Residual saturation of nonwetting fluid saturation, S_{nwr}



รูปที่ 2-4 ตัวอย่างกราฟ Soil water characteristic curve (Fetter, 1999)

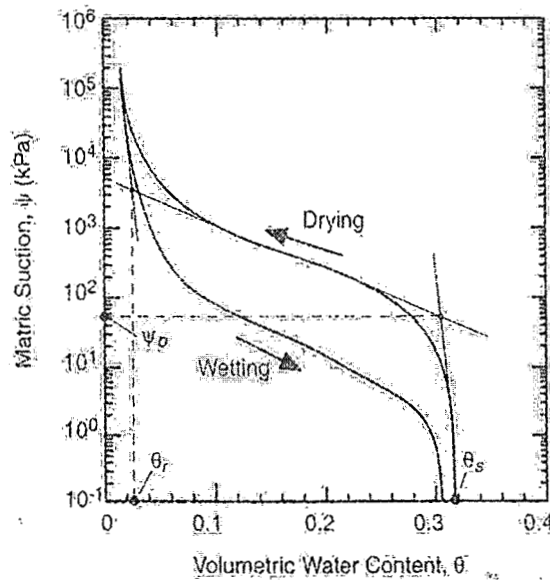
399426

628.55
 ๓๓/๑๗

จากรูปที่ 2-4 เป็นตัวอย่างกราฟ Soil Water Characteristic Curve กราฟ (a) น้ำและอากาศใน Medium sand (b) อากาศและสาร LNAPL (Trichloroethylene) ใน Medium sand (c) น้ำและอากาศ ใน Fine sand และ (d) อากาศและสาร LNAPL (Trichloroethylene) ใน Fine sand

2.4 Soil Water Characteristic Curve (SWCC) modeling parameters

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Capillary pressure และปริมาณความชื้นในดิน (Water content) สามารถหาได้จากตัวแปรที่ได้จากการทดลองโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Soil Water Characteristic Curve ประกอบด้วยตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับ Water content หรือ Suction ที่สภาวะความถ่วงจำเพาะและตำแหน่งที่ได้จากการทดลองหลายๆครั้ง โดยทำการกำหนดเป็นค่าคงที่ นั่นคือ เลือกรายการจับกลุ่มของสมการของเส้นโค้งโดยทั่วไปที่ทำการกำหนดจุด โดยที่ Saturated water content (θ_s) จะบรรยายถึงส่วนประกอบทั้งหมดที่ช่องว่างโพรงอากาศในดินถูกแทนที่ด้วยน้ำ ส่วนใหญ่จะเหมือนกับการดูดซึมที่แสดงในเส้นโค้งของกราฟ ส่วน Air entry หรือ Bubbling (ψ_b) ความดันส่วนนี้ จะบรรยายถึงแรงดูดที่ทำให้น้ำเริ่มเกิดการไหล โดยที่ปริมาณของ Air entry และ ปริมาณการตกค้าง (Residual water content, θ_r) จะสอดคล้องกันในการสร้างเส้นที่ผ่านระหว่างจุดต่อจุด



รูปที่ 2-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Capillary pressure และปริมาณความชื้นในดิน

สมการที่ได้จากกราฟมีดังนี้

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \tag{2-1}$$

จุดประสงค์ของโมเดลเพื่ออธิบายถึงตัวแปรทั้งหมดซึ่งสามารถนิยามโดย แบบจำลอง Normalizing water content (Θ) หรือค่าความอิ่มตัว (Degree of saturation) ที่ดินอิ่มตัวเพื่อทำการประเมินถึง

เปอร์เซ็นต์คงเหลือของของเหลวจึงสามารถกล่าวได้ว่าปริมาณคงเหลือของ Water content นั้นมีนัยสำคัญต่อปริมาณคงเหลือใน Degree of saturation (S_e)

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} \quad (2-2)$$

โดยที่ $\Theta = S_e$

2.5 ทฤษฎีการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย (Image Analysis Method)

ความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ย (AOD) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2-3 (Flores et al., 2010)

$$D_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N d_{ji} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(-\log_{10} \left(\frac{I_{ji}^r}{I_{ji}^o} \right) \right) \quad (2-3)$$

โดยที่ N คือ จำนวนพิกเซลในรูปภาพที่ทำการวิเคราะห์ (พิกเซล)

i คือ ความถี่ของแสงที่ใช้ในการทดลอง (นาโนเมตร)

D_i คือ ความหนาแน่นเชิงแสงของแต่ละพิกเซล (ไม่มีหน่วย)

I_{ji}^r คือ ความเข้มของแสงที่สะท้อนจากวัตถุในแต่ละพิกเซล (candela)

I_{ji}^o คือ ความเข้มของแสงที่สะท้อนจากสีขาวสมบูรณ์ (candela)

เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพถ่ายเชิงซ้อน (Multi-spectral Image Analysis Method) จะใช้กล้องดิจิทัลจำนวน 2 ตัว โดยกล้องแต่ละตัวทำการติดตั้งฟิลเตอร์กรองแสงให้ผ่านที่ 2 ความถี่คือ 450 นาโนเมตร และ 640 นาโนเมตร ค่าความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ยในแต่ละความถี่สามารถหาได้จากสมการที่ 2-4 และ 2-5 ตามลำดับ (Sudsang et al., 2010)

$$D_{450} = a \cdot S_w + b \cdot S_o + c \quad (2-4)$$

$$D_{640} = d \cdot S_w + e \cdot S_o + f \quad (2-5)$$

โดยที่ D_{450} คือ ค่าความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ยที่ความถี่ 450 นาโนเมตร (ไม่มีหน่วย)

D_{640} คือ ค่าความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ยที่ความถี่ 640 นาโนเมตร (ไม่มีหน่วย)

S_w คือ ระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำในดิน (ไม่มีหน่วย)

S_o คือ ระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำมันในดิน (ไม่มีหน่วย)

a, b, c, d, e และ f คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุวสันต์ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ยและระดับการอิ่มตัวด้วยของเหลวในทรายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย ทำการศึกษาโดยวิเคราะห์ค่าระดับ

การอิมิตัวของของเหลวชนิด LNAPLs จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายเชิงซ้อน (Multispectral Image Analysis Method, MIAM) (Kechavarzi *et al.*, 2000) ของเหลวที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำและน้ำมันดีเซล ทรายที่ใช้ในการทดลองคือทรายโทยูระ จากประเทศญี่ปุ่น ทำการทดลองโดยผสมดิน น้ำ และน้ำมันในอัตราส่วนที่ต่างกัน จากนั้นทำการถ่ายภาพตัวอย่างดิน โดยใช้กล้องถ่ายรูป 2 ตัว แต่ละตัวทำการติดตั้ง ฟิวเตอร์เพื่อกรองแสงให้ผ่านในช่วง 450 นาโนเมตร และ 640 นาโนเมตร ตามลำดับ ทำการคำนวณหาระดับการอิมิตัวของน้ำและน้ำมันในดินทรายเพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ยซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย จากการศึกษาพบว่าระดับการอิมิตัวของของเหลวมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ยเป็นแบบเส้นตรง

ศศิธร และ สุขุมภรณ์ (2552) ได้ทำการศึกษาการศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมผ่านของแก๊สโซฮอล์ผ่านทราย โดยใช้อุปกรณ์อัดความดัน (Tempe Pressure Cell) ตัวอย่างทรายที่ใช้ในการทดลองทำการเก็บตัวอย่างจากมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ที่ระดับความลึก 0.70 เมตร ความหนาแน่นของดินทราย 1.56 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การทดลองจะทำให้ทรายอยู่ในสภาวะอิมิตัวด้วยของเหลวทั้ง 4 ชนิด จากนั้นให้ความดันแก่ของเหลวที่สภาวะต่างๆ จนทรายอยู่ในสภาวะไม่อิมิตัว และนำทรายไปอบเพื่อหาค่าความชื้น จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปเขียนเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมผ่าน และ ปริมาณการตกค้างของของเหลวแต่ละชนิด จากการศึกษาพบว่าที่ดินทรายที่มีความหนาแน่นมากกว่า จะมีการตกค้างของของเหลวมากกว่าดินทรายที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า ในทุกของเหลวที่ใช้ในการทดลอง และ ที่ความหนาแน่นของทรายเท่ากัน น้ำกลั่นมีการตกค้างมากที่สุด อันดับรองลงมาคือ แก๊สโซฮอล์ E85 แก๊สโซฮอล์ E20 และ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 ตามลำดับ

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ทราย

ทรายออตตาวาเบอร์ 3820 และออตตาวาเบอร์ 3821 คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินทรายที่ใช้ในการทดลองสามารถทำการทดสอบตามมาตรฐานในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของดินทรายตัวอย่าง

คุณสมบัติ	ทรายออตตาวาเบอร์ 3820	ทรายออตตาวาเบอร์ 3821
ความหนาแน่นของดิน [Soil particle density ρ_s (g/cm ³)]	2.64	2.63
สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ [Uniformity coefficient C_u]	2.64	1.56
ขนาดของเม็ดดิน [Mean grain size (D_{50}), mm]	0.643	0.422
สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน [Hydraulic conductivity k (cm/s)]	2.02×10^{-2}	1.80×10^{-2}
สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำมันดีเซล [Diesel hydraulic conductivity, k_{diesel} (cm/s)]	1.91×10^{-2}	1.58×10^{-2}

3.1.2 ของเหลว

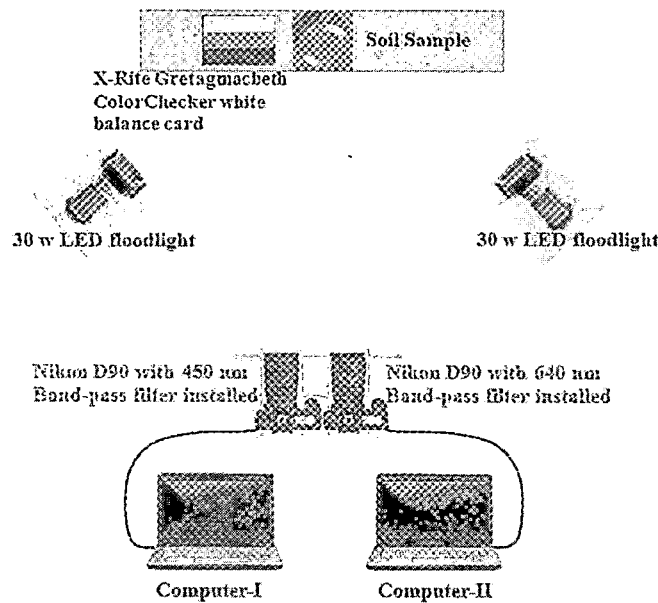
ของที่ใช้ในการศึกษาการไหลซึมผ่านประกอบไปด้วย น้ำกลั่น และน้ำมันดีเซล (โดยที่น้ำมันดีเซลจะถูกย้อมด้วยสีแดงด้วยเรดซูดานสาม (Red Sudan III) ด้วยอัตราส่วน 1:10,000 โดยน้ำหนัก) คุณสมบัติของเหลวที่ใช้แสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติของของเหลว ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการทดสอบ

ของเหลว	ความถ่วงจำเพาะ (g/cm ³)	แรงตึงผิว(N/m)	ความหนืด (mm ² /s)	ความดันไอ (mmHg)
น้ำ	0.998	0.0728	0.000789	17.54
น้ำมันดีเซล	0.865	0.0289	0.000342	0.40

3.2 การทดสอบหาความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ย

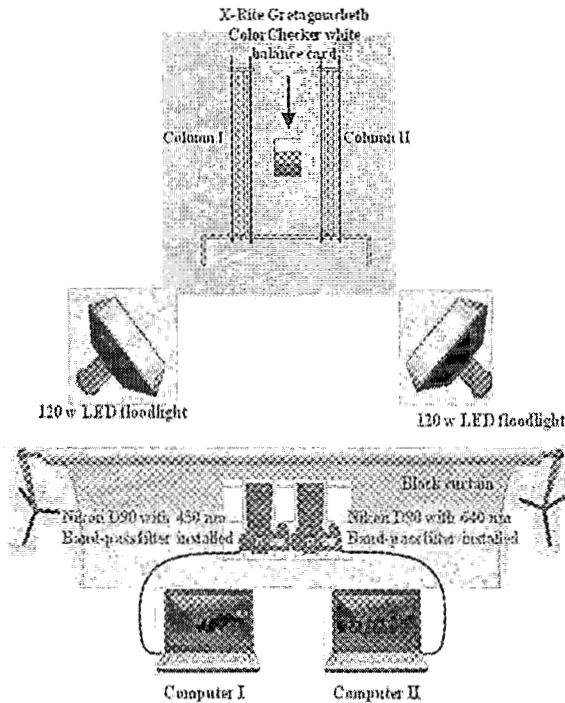
ตัวอย่างดินเฉพาะจำนวน 30 ตัวอย่างถูกนำมาทดสอบความพรุนในแต่ละส่วนมีศักยภาพที่จะใช้การวิเคราะห์รูปแบบย่อยที่มีรูพรุนรวม ทราयोอดตาวาเบอร์ 3820 และทราयोอดตาวาเบอร์ 3821 จะใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้เพื่อใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ที่มีอยู่ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นของแสง การสอบเทียบเครื่องมือวัดของวิธีการวิเคราะห์ภาพที่จำเป็นมากกว่า 40 ตัวอย่าง ด้วยส่วนผสมที่แตกต่างกันของ LNAPL ความอืดตัวของออกซิเจนและน้ำ (ตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ระดับความถูกต้องมากกว่า) 135 ตัวอย่าง สำหรับการทดสอบความพรุนในแต่ละส่วน (ทราโยอดตาวาเบอร์ 3820 และทราโยอดตาวาเบอร์ 3821) ทำการผสมกันในจำนวนรวมที่เหมาะสมในการผสมของน้ำ น้ำมัน และสีที่มีรูพรุน น้ำสีย้อมที่ไม่ถูกนำมาใช้ในส่วนนี้ เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของการใช้สีย้อมจากน้ำที่ไม่ใช่ในคอลัมน์หนึ่งมิติ ในการทดสอบนี้ใช้แสงสว่างจากไฟ LED 120 วัตต์ ผลทดสอบจะแสดงในรูปที่ 3-1 และรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-1 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบหาความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ย

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองคอลัมน์หนึ่งมิติ (Column Test)

คอลัมน์หนึ่งมิติ ขนาด 3.5 x 3.5 เซนติเมตร ความสูง 110 เซนติเมตร ผลิตจากอะครีลิก (Acrylics) โดยมีรูด้านหลังเพื่อเก็บตัวอย่างดิน (Sampling port) มาทดสอบความชื้นของดิน ด้านล่างของคอลัมน์ติดตั้งรูระบายของเหลว เพื่อให้สามารถระบายของเหลวออกจากคอลัมน์ได้ และใช้กล้องถ่ายรูปดิจิทัล Nikon D90 กับฟิลเตอร์กรองแสงสองสี คือ ความถี่ที่ 450 นาโนเมตร (สีแดง) และความถี่ที่ 640 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน) โดยใช้คอมพิวเตอร์ใช้ควบคุมกล้องถ่ายรูปแต่ละเครื่องให้ถ่ายอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม Nikon Camera Control Pro 2 และโดยใช้ไฟ LED 120 วัตต์ ในการให้แสงสว่าง เพราะสามารถควบคุมประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างได้ เมื่อจบการทดลองนำภาพถ่ายที่ได้มาทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม MATLAB 2007a

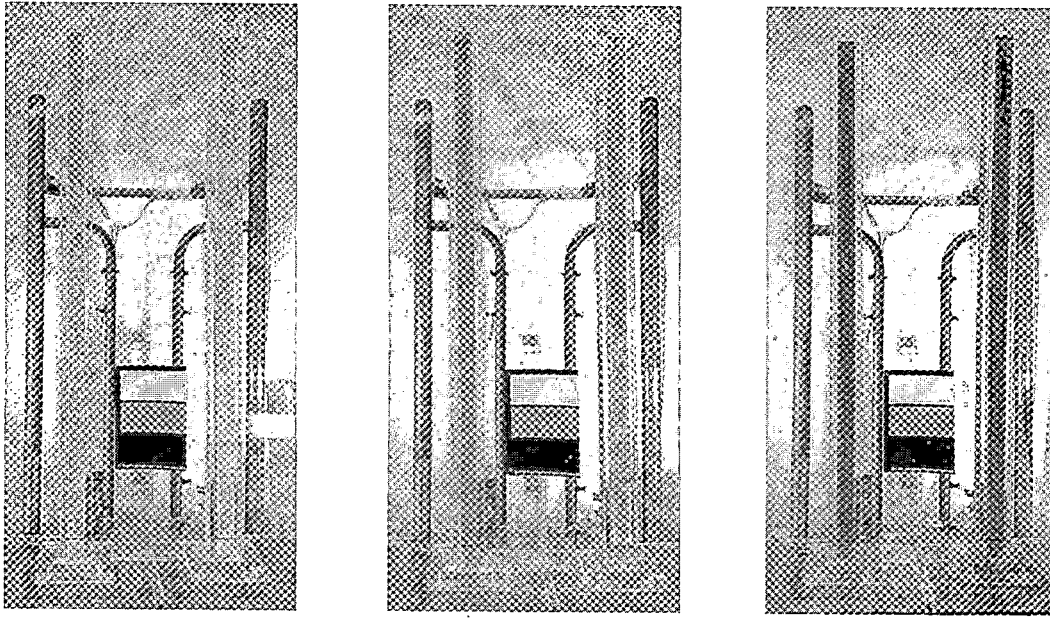


รูปที่ 3-2 การติดตั้งอุปกรณ์ใช้ในการทดลองคอลัมน์หนึ่งมิติ

3.4 ขั้นตอนการทดลองคอลัมน์หนึ่งมิติ (Column Test)

3.4.1 การทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างของเหลวและอากาศ

นำทรายแห้งออกตาวาเบอร์3820 ใส่คอลัมน์ด้านซ้ายและทรายแห้งออกตาวาเบอร์3821 ใส่คอลัมน์ด้านขวา (รูปที่ 3-2 a) ในแต่ละคอลัมน์ทรายจะมีความสูง100 เซนติเมตรและมีความหนาแน่นของดินคือ 1.76 g/cm^3 ทำการถ่ายรูปทรายแห้ง โดยไฟ LED 120 วัตต์ จะถูกเปิด 30 วินาทีก่อนทำการถ่ายรูป เพื่อควบคุมความเข้มของแสงในการทดลอง และทำการใส่ของเหลวเข้าไปในคอลัมน์จากด้านล่างทำให้ดินในคอลัมน์อึดตัวด้วยของเหลว โดยระดับน้ำจะอยู่ที่ 105 เซนติเมตร (รูปที่ 3-3) และถ่ายรูปทรายอึดตัวด้วยของเหลว ทำการปล่อยของเหลวออกจากคอลัมน์ทันทีหลังจากถ่ายรูปทรายอึดตัวด้วยของเหลว และทำการถ่ายรูปทุกๆ ครึ่งชั่วโมง โดยไฟ LED 120 วัตต์จะถูกตั้งค่าให้เปิดก่อนทำการถ่ายรูปทุกๆ 30 วินาทีและเปิดทิ้งไว้ 1 นาที เพื่อควบคุมความเข้มของแสงให้รูปภาพแต่ละรูปมีความเข้มของแสงเท่ากัน ตั้งแต่เริ่มทำการปล่อยน้ำใช้ระยะเวลาในการถ่ายรูปทั้งหมด 48 ชั่วโมง รูปที่ได้จากการถ่ายทั้งหมดจะเป็นไฟล์นามสกุล NEF (Nikon proprietary RAW version files) ทำการแปลงไฟล์เปลี่ยนเป็นนามสกุล TIFF (Tagged Image File Format) โดยใช้โปรแกรม ViewNX 2.0 TIFF และนำภาพที่แปลงไฟล์แล้วมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB 2007a จะทำการทดลองจะทำตามตารางที่ 3-3

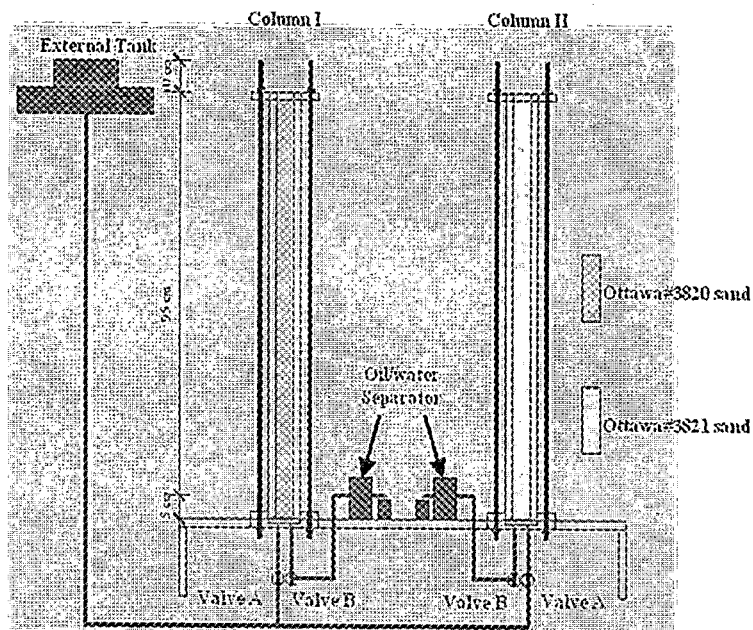


(a)

(b)

(c)

รูปที่ 3-3 รูปอ้างอิงที่ใช้วิเคราะห์ผลการทดลอง (a) รูปทรายแห้ง (b) รูปทรายอิ่มตัวด้วยน้ำ (c) รูปทรายอิ่มตัวด้วยน้ำมัน



รูปที่ 3-4 การติดตั้งคอลัมน์หนึ่งมิติระหว่างของเหลวและอากาศ

ตารางที่ 3-3 การทดลองระหว่างของเหลวและอากาศ

การทดลองที่	คอลัมน์	ชนิดของดิน	ของเหลว
1	I	ทรายออกตาวาเบอร์3820	น้ำ
1	II	ทรายออกตาวาเบอร์3821	น้ำ
2	I	ทรายออกตาวาเบอร์3820	น้ำมันดีเซล
2	II	ทรายออกตาวาเบอร์3821	น้ำมันดีเซล

3.4.2 การทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างน้ำ, น้ำมัน, และอากาศ

การทดลองจะเป็นการจำลองลักษณะพฤติกรรมการรั่วไหลของน้ำมัน โดยจะเป็นการจำลองการไหลแบบคอลัมน์หนึ่งมิติ ซึ่งทำการทดลองดังตารางที่ 3-4 เริ่มต้นใส่ทรายลงในคอลัมน์ให้มีความสูง 45 เซนติเมตร มีความหนาแน่นของดิน 1.76 g/cm^3 ถ่ายรูปทรายแห้ง โดยไฟ LED 120 วัตต์ จะถูกเปิด 30 วินาทีก่อนทำการถ่ายรูป เพื่อควบคุมความเข้มของแสงในการทดลอง ปล่อยน้ำเข้าในคอลัมน์ให้ระดับน้ำอยู่ที่ 45 เซนติเมตร และทำการทดลองซึ่งจะมีขั้นตอนการทำอยู่ 4 ขั้นตอนในการเปลี่ยนระดับน้ำดังนี้ (ตาราง 3-4)

ตารางที่ 3-4 การทดลองระหว่างน้ำ น้ำมัน และอากาศ

การทดลอง	เวลา	ระดับน้ำ	หมายเหตุ
สภาวะเริ่มต้น	0 hr	50 cm	
น้ำลงครั้งที่1	0 hr - 18 hr	5 cm	เทน้ำมันดีเซล 15 กรัมลงในคอลัมน์
น้ำขึ้นครั้งที่1	18 hr - 30 hr	35 cm	จากด้านบนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
น้ำลงครั้งที่2	30 hr - 42 hr	5 cm	
น้ำขึ้นครั้งที่2	42 hr - 54 hr	35 cm	

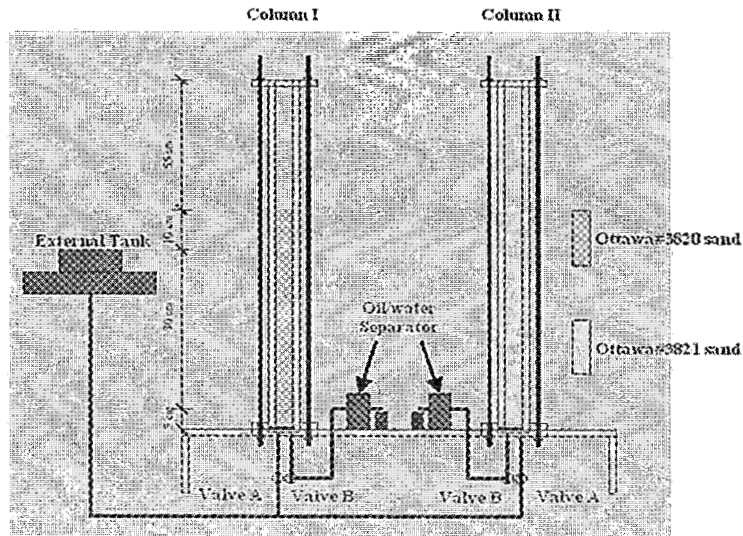
น้ำลงครั้งที่ 1: ปล่อยน้ำที่อยู่ในคอลัมน์ไหลออก หลังจากเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมงเทน้ำมันดีเซลปริมาณ 15 กรัมลงในคอลัมน์จากด้านบน ขั้นตอนนี้ใช้เวลา 18 ชั่วโมง

น้ำขึ้นครั้งที่ 1: ปิดวาล์ว B และเปิดวาล์ว A ปล่อยน้ำเข้าไปในคอลัมน์จากด้านล่างเพื่อเพิ่มระดับน้ำให้น้ำมันดีเซลที่แทรกซึมลงมาเกิดการขยับตัวขึ้น ขั้นตอนนี้ใช้เวลา 12 ชั่วโมง

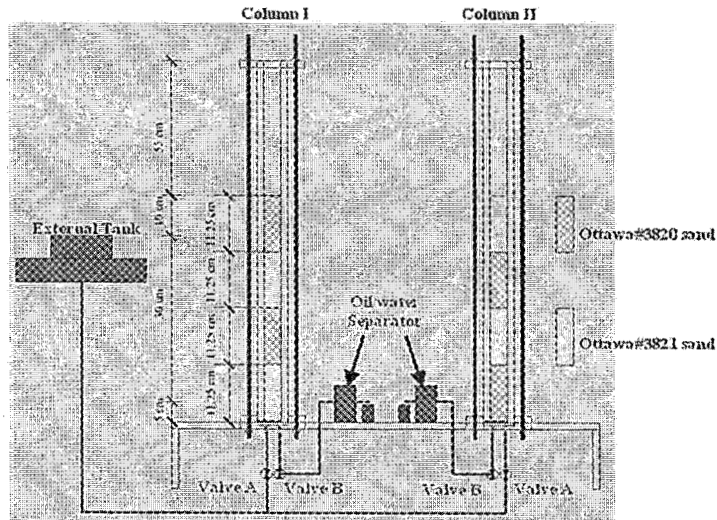
น้ำลงครั้งที่ 2: ปิดวาล์ว A และเปิดวาล์ว B เพื่อปล่อยน้ำที่อยู่ในคอลัมน์ไหลออกอีกครั้ง ขั้นตอนนี้ใช้เวลา 12 ชั่วโมง

น้ำขึ้นครั้งที่ 2: ปิดวาล์ว B และเปิดวาล์ว A ปล่อยน้ำเข้าไปในคอลัมน์จากด้านล่างเพื่อเพิ่มระดับน้ำให้น้ำมันดีเซลที่แทรกซึมลงมาเกิดการขยับตัวขึ้น ขั้นตอนนี้ใช้เวลา 12 ชั่วโมง

การทดลองนี้จะต้องมีรูปทรายที่อัดตัวด้วยน้ำมัน เพื่อนำไปในการวิเคราะห์ผลการทดลองจึงจำเป็นต้องใส่ทรายที่ระดับ 45 เซนติเมตรแล้วจึงนำน้ำมันใส่จากด้านล่างแล้วทำการถ่ายรูป ซึ่งกระบวนการการวิเคราะห์จะเหมือนกับการวิเคราะห์ในการทดลองแรก



(a)

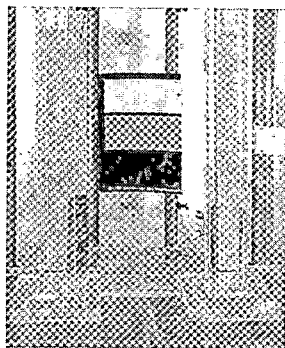


(b)

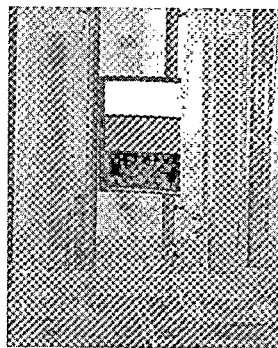
รูปที่ 3-5 การติดตั้งคอลัมน์หนึ่งมิติ (a) ทรายที่เป็นเนื้อเดียว (b) ทรายที่แบ่งชั้น

3.5 การเปรียบเทียบรูปร่างของคอลัมน์

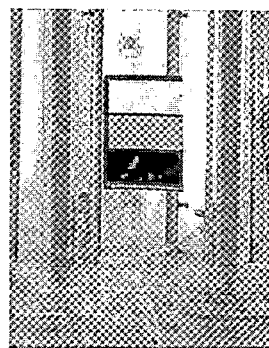
การทดลองคอลัมน์ระหว่างน้ำ น้ำมัน และอากาศ ต้องการรูปภาพ 3 ภาพ ของกล้องทั้งสองตัว โดยภาพที่ใช้ในการเปรียบเทียบมี ภาพทรายแห้ง ภาพทรายที่มีการอิ่มตัวด้วยน้ำ และภาพทรายที่มีการอิ่มตัวด้วยน้ำมัน ภาพทรายอิ่มตัวด้วยน้ำมันแสดงในรูปที่ 3-5 นำมาใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์



(a)



(b)

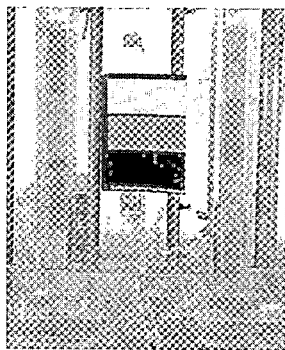


(c)

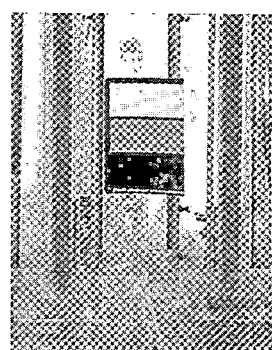
รูปที่ 3-6 การเปรียบเทียบรูปภาพที่มีความพรุนเหมือนกันในทรายชั้นเดียว (a) คอลัมน์ที่เติมทรายแห้ง (b) คอลัมน์ทรายที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และ (c) คอลัมน์ที่ทรายอิ่มตัวด้วยน้ำมัน



(a)



(b)

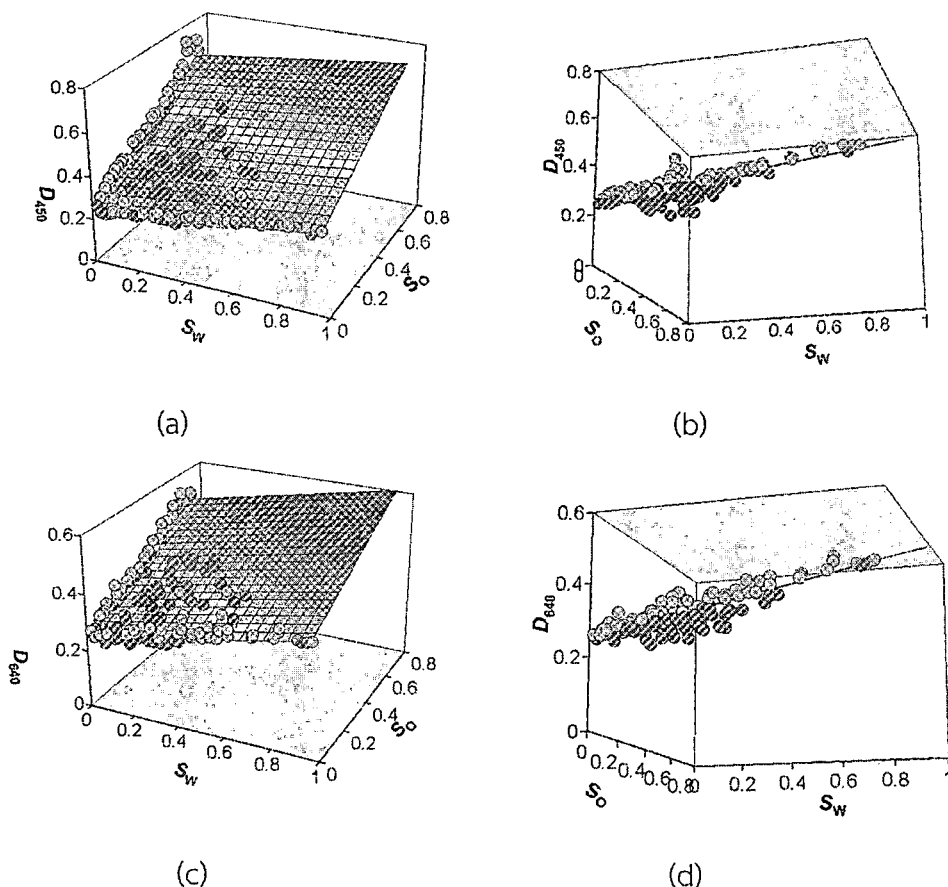


(c)

รูปที่ 3-7 การเปรียบเทียบรูปภาพที่มีความพรุนเหมือนกันในทรายแบ่งชั้น (a) คอลัมน์ที่เติมทรายแห้ง (b) คอลัมน์ทรายที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และ (c) คอลัมน์ที่ทรายอิ่มตัวด้วยน้ำมัน

บทที่ 4 อภิปรายผลการทดลอง

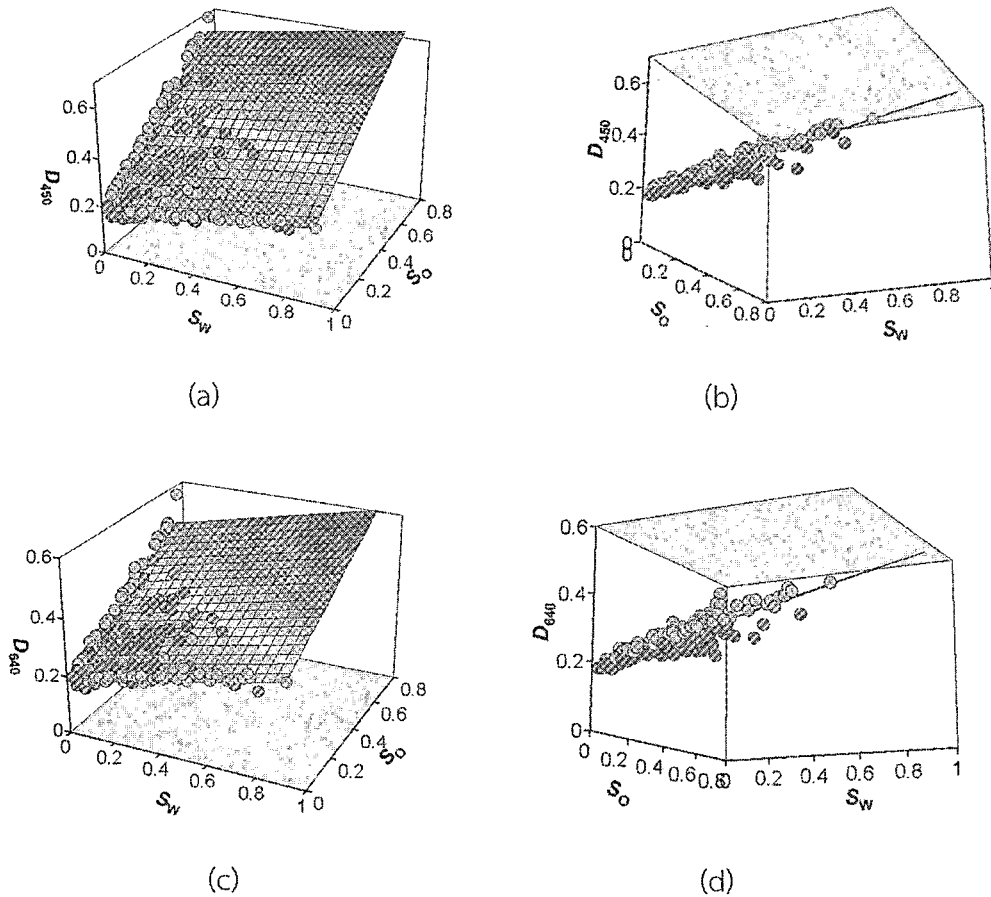
4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ย



รูปที่ 4-1 แสดงความหนาแน่นของแสงในทรายออกตาวาเบอร์ 3820 โดยมีความสัมพันธ์ที่อิมิตัวของน้ำและน้ำมันในแต่ละส่วน (a) ความหนาแน่นของแสงที่ $\lambda = 450$ นาโนเมตร (D_{450}) ความอิมิตัวของน้ำมัน (S_o) และความหนาแน่นของน้ำ (S_w) ความสัมพันธ์ (b) แสดงเป็นภาพมุมฉากในแนวระนาบของ D_{450} , S_o and S_w (c) ความหนาแน่นของแสงที่ $\lambda = 640$ นาโนเมตร (D_{640}), ความอิมิตัวของน้ำมัน (S_o) และความหนาแน่นของน้ำ (S_w) ความสัมพันธ์ (d) แสดงเป็นภาพมุมฉากในแนวระนาบของ D_{640} , S_o and S_w

$$D_{450} = 0.242 + 0.127S_w - 0.528S_o \quad (R^2 = 0.86) \quad (4-1)$$

$$D_{640} = 0.250 + 0.157S_w - 0.322S_o \quad (R^2 = 0.78)$$



รูปที่ 4-2 แสดงความหนาแน่นของแสงในทรายออกตาวาเบอร์ 3821 โดยมีความสัมพันธ์ที่อิมิตัวของน้ำและน้ำมันในแต่ละส่วน (a) ความหนาแน่นของแสงที่ $\lambda = 450$ นาโนเมตร (D_{450}) ความอิมิตัวของน้ำมัน (S_o) และความหนาแน่นของน้ำ (S_w) ความสัมพันธ์ (b) แสดงเป็นภาพมุมฉากในแนวระนาบของ D_{450} , S_o and S_w (c) ความหนาแน่นของแสงที่ $\lambda = 640$ นาโนเมตร (D_{640}) ความอิมิตัวของน้ำมัน (S_o) และความหนาแน่นของน้ำ (S_w) ความสัมพันธ์ (d) แสดงเป็นภาพมุมฉากในแนวระนาบของ D_{640} , S_o and S_w

$$D_{450} = 0.176 + 0.145S_w - 0.590S_o \quad (R^2 = 0.93) \quad (4-2)$$

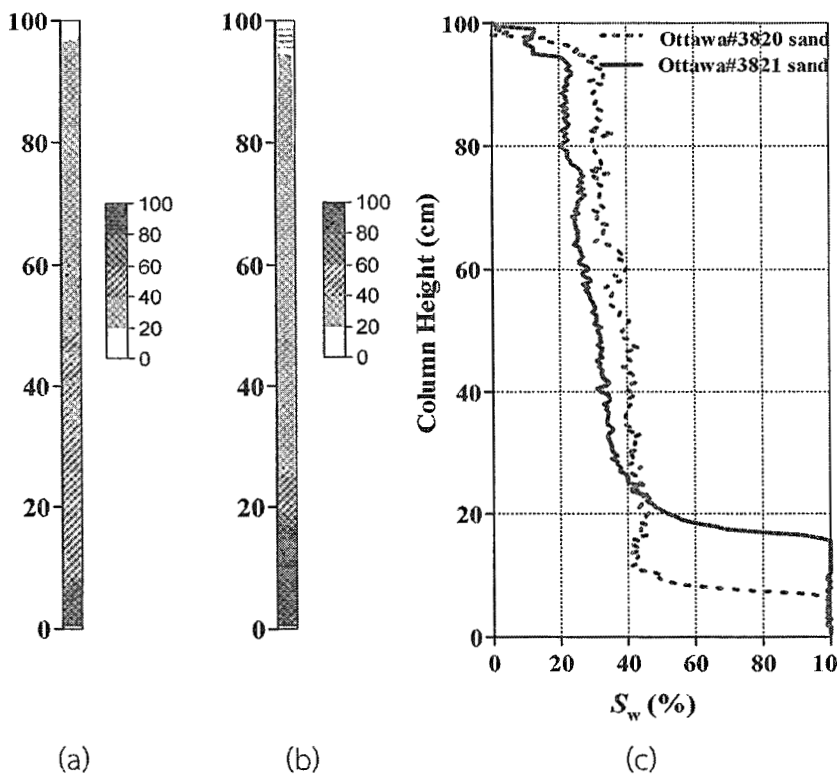
$$D_{640} = 0.183 + 0.174S_w - 0.373S_o \quad (R^2 = 0.83)$$

ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความหนาแน่นของแสงและความอิมิตัวของน้ำน้ำมันในทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และทรายออกตาวาเบอร์ 3821 ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.78 and 0.93 ดังนั้นสมการที่ทำขึ้นมานั้นยอมรับได้

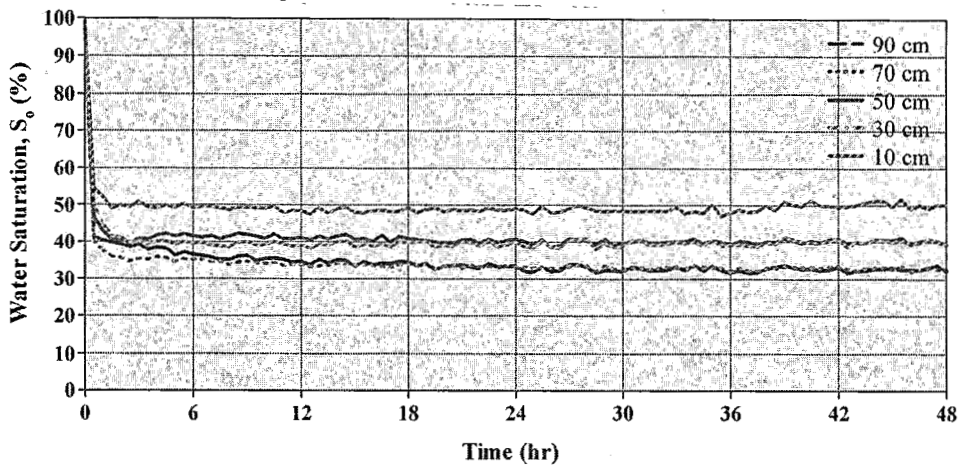
4.2 ผลการทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างของเหลวและอากาศ

4.2.1 ผลการทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างน้ำและอากาศ

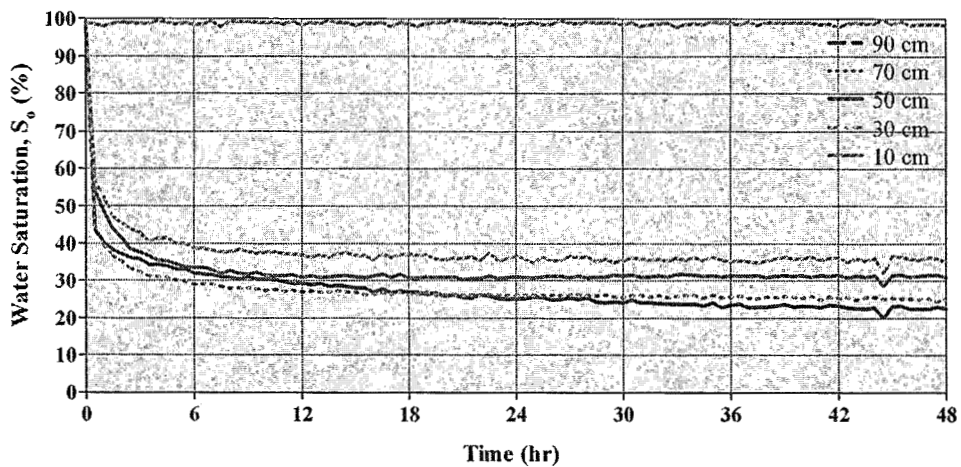
การกระจายตัวของน้ำในช่วงท้ายของการทดลอง (ที่เวลา 48 ชั่วโมง) และระดับการอิ่มตัวของน้ำเทียบกับความสูงของคอลัมน์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-3 พฤติกรรมแบบการเคลื่อนที่ของการระบายน้ำภายในคอลัมน์ โดยนำมาวิเคราะห์หาค่าความอิ่มตัวของน้ำที่ระดับ 10 ซม. , 30 ซม. , 50 ซม. , 70 ซม. และ 90 ซม. จากด้านล่างของคอลัมน์เทียบกับเวลา แสดงดังรูปที่ 4-4 และรูปที่ 4-5 ทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และรูปที่ 4-6 ทรายออกตาวาเบอร์ 3821



รูปที่ 4.3 (a) ปริมาณความชื้นของน้ำในทรายออกตาวาเบอร์3820 (b) ระดับความชื้นของน้ำในทรายออกตาวาเบอร์3821 และ (c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความอิ่มตัวของน้ำเทียบกับความสูงคอลัมน์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ($t = 48$ ชั่วโมง)



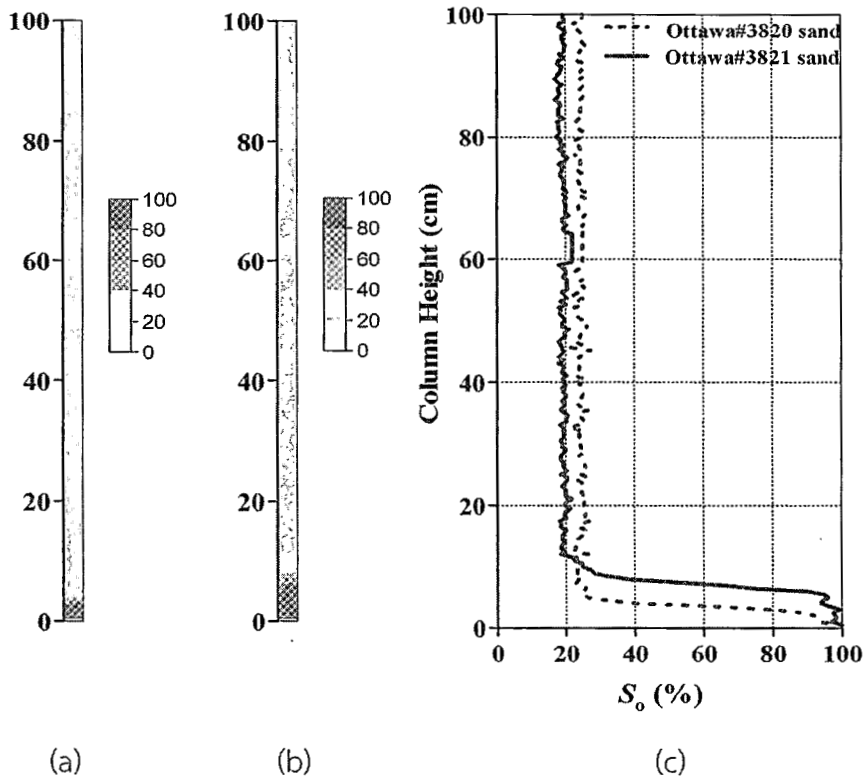
รูปที่ 4-4 ปริมาณความอิ่มตัวของน้ำในทรายออกตาวาเบอร์3820 เมื่อเทียบกับเวลา



รูปที่ 4-5 ปริมาณความอิ่มตัวของน้ำในทรายออกตาวาเบอร์3821 เมื่อเทียบกับเวลา

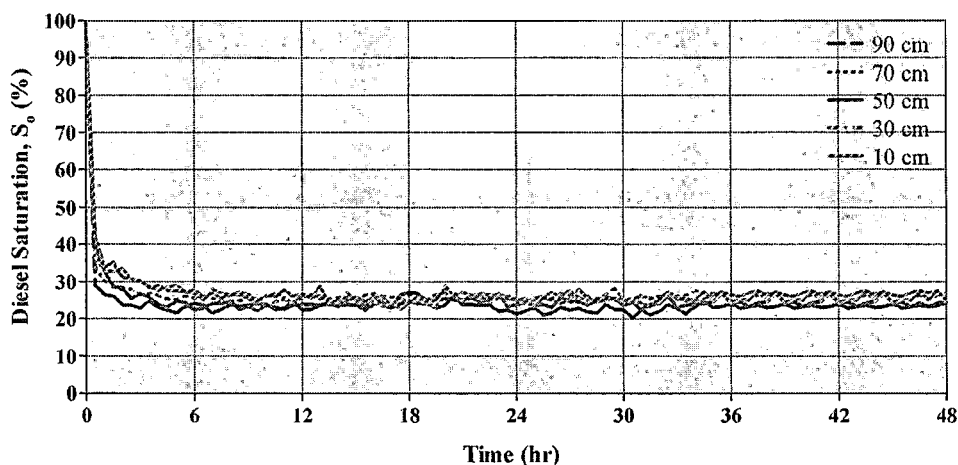
4.2.2 ผลการทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่างน้ำมันดีเซลและอากาศ

การกระจายตัวของน้ำมันดีเซลในช่วงท้ายของการทดสอบ (ที่เวลา = 48 ชั่วโมง) และระดับการอิ่มตัวของน้ำน้ำมันดีเซลเทียบกับความสูงของคอลัมน์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-6 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของการระบายน้ำมันดีเซลภายในคอลัมน์ โดยนำมาวิเคราะห์ศึกษาหาค่าความอิ่มตัวของน้ำมันดีเซลที่ 10 ซม. 30 ซม. 50 ซม. 70 ซม. และ 90 ซม. จากด้านล่างของคอลัมน์เทียบกับเวลา แสดงดังรูปที่ 4-7 ทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และรูปที่ 4-8 ทรายออกตาวาเบอร์ 3821

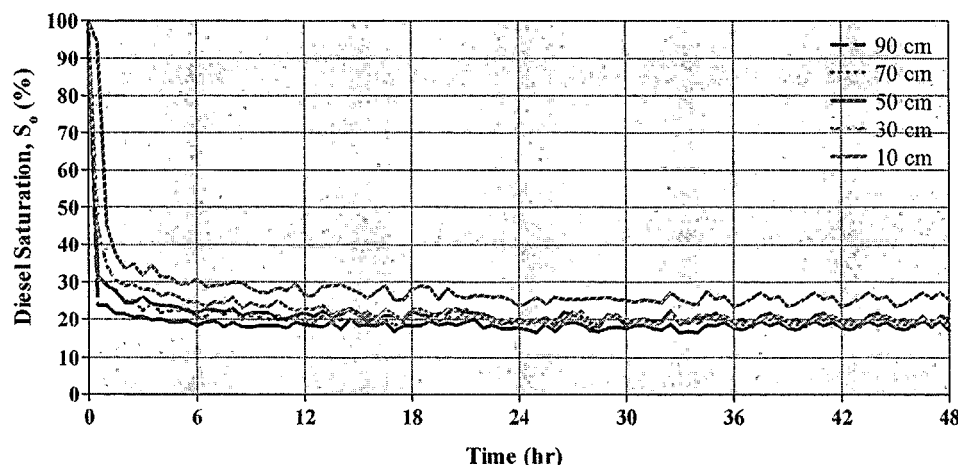


รูปที่ 4-6 (a) ปริมาณความชื้นของน้ำมันดีเซลในทรายออกตาวาเบอร์3820 (b) ระดับความชื้นของน้ำมันดีเซลในทรายออกตาวาเบอร์3821 และ (c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความอิมตัวของน้ำเทียบกับความสูงคอลัมน์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ($t = 48$ ชั่วโมง)

ค่าเปอร์เซ็นต์ความอิมตัวของของเหลวที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ด้วยรูปภาพและวิธี Gravimetric เป็นการพล็อตเทียบกับความสูงของคอลัมน์ และแสดงในรูปที่ 4-9 ปริมาณความอิมตัวของของเหลวคำนวณได้จากวิธีการวิเคราะห์จากรูปภาพ พล็อตกราฟเทียบกับระดับความสูงของคอลัมน์ จะได้เส้นโค้งลักษณะของดิน (Liquid SLCC) สมการของ Van Genuchten's แสดงในรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-7 ปริมาณความอิ่มตัวของน้ำมันดีเซลในทรายออกตาวาเบอร์3820 เมื่อเทียบกับเวลา



รูปที่ 4-8 ปริมาณความอิ่มตัวของน้ำมันดีเซลในทรายออกตาวาเบอร์3821 เมื่อเทียบกับเวลา

4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองระหว่างของเหลวและอากาศ

จากรูป 4.4 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรายออกตาวาเบอร์ 3820(a) กับ ทรายออกตาวาเบอร์ 3821(b) ในของเหลวชนิดเดียวกัน (น้ำ) ทำให้พบว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3820 จะมีลักษณะการไหลที่เร็วกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3821 เนื่องจากทรายออกตาวาเบอร์ 3820 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำที่มากกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3821 และทรายออกตาวาเบอร์ 3821 จะมี Capillary fringe ที่สูงกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3820 เนื่องจากทรายออกตาวาเบอร์ 3821 จะมีขนาดของเม็ดดินที่เล็กกว่าทำให้มี Capillary pressure ที่มากกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3820

จากรูปที่ 4-6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรายออกตาวาเบอร์ 3820(a) กับ ทรายออกตาวาเบอร์ 3821(b) ในของเหลวชนิดเดียวกัน (น้ำมัน) ทำให้พบว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3820 จะมีลักษณะการไหลที่เร็วกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3821 เนื่องจากทรายออกตาวาเบอร์ 3820 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำที่มากกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3821 และทรายออกตาวาเบอร์ 3821 จะมี Capillary fringe ที่สูงกว่าทรายออกตาวาเบอร์

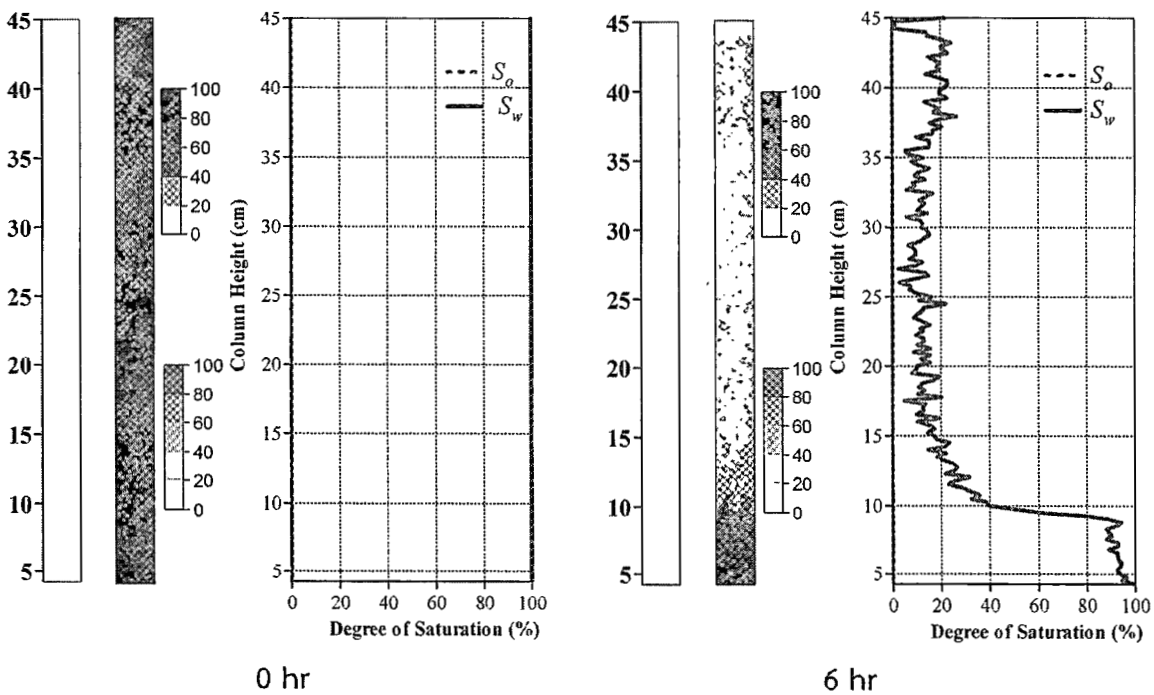
3820 เนื่องจากทรายออกตาวาเบอร์ 3821 จะมีขนาดของเม็ดดินที่เล็กกว่าทำให้มี Capillary pressure ที่มากกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3820

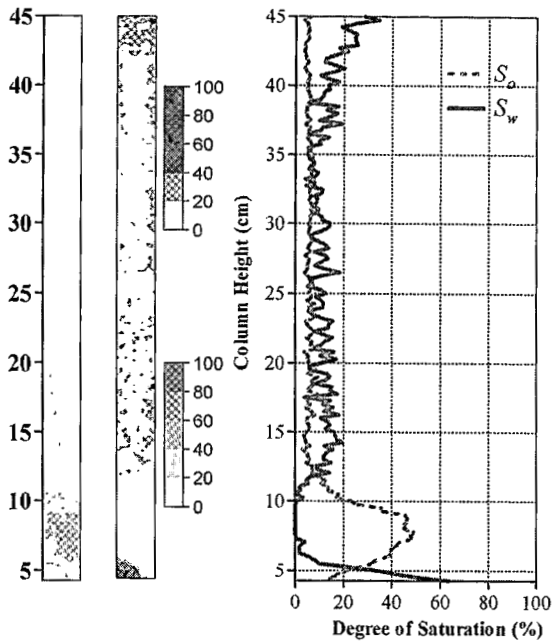
จากรูปที่ 4-4 และรูปที่ 4-6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรายออกตาวาเบอร์ 3821 ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (b) กับ ทรายออกตาวาเบอร์ 3821 ที่อิ่มตัวด้วยน้ำมัน (b) ทำให้พบว่าน้ำจะอยู่ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันเช่นเดียวกันกับ ทรายออกตาวาเบอร์ 3820 เพราะน้ำมีแรงตึงผิวที่มากกว่าน้ำมัน

จากรูปที่ 4-4, 4-5, 4-7, และรูปที่ 4-8 พฤติกรรมของเหลว เมื่อปล่อยของเหลวออกจากคอลัมน์ใน ระยะเวลาช่วงหนึ่งระดับของเหลวจะเริ่มมีการคงที่

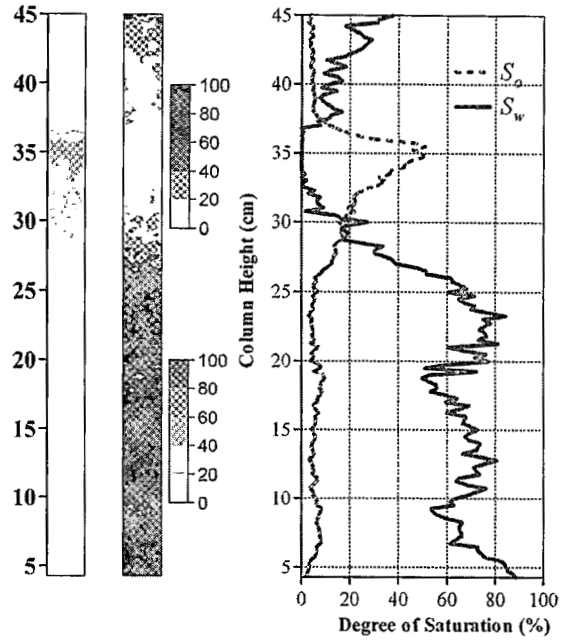
4.3 ผลการทดลองการซึมผ่านทรายในคอลัมน์ระหว่าง น้ำ น้ำมัน และอากาศ

การกระจายตัวของน้ำและน้ำมันดีเซลในคอลัมน์ ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงสิ้นสุดการทดลอง และระดับ ความอิ่มตัวของของเหลวเทียบกับความสูงของคอลัมน์ดังแสดง ดังแสดงในรูปที่ 4-9 ถึงรูปที่ 4-16 พฤติกรรม การเคลื่อนที่ของการระบายน้ำและน้ำมันดีเซลภายในคอลัมน์ และกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบของเหลว ระหว่างทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และทรายออกตาวาเบอร์ 3821 ในขั้นตอนน้ำลงในชั้นทราย ดังรูปที่ 4-17 ถึงรูปที่ 4-20

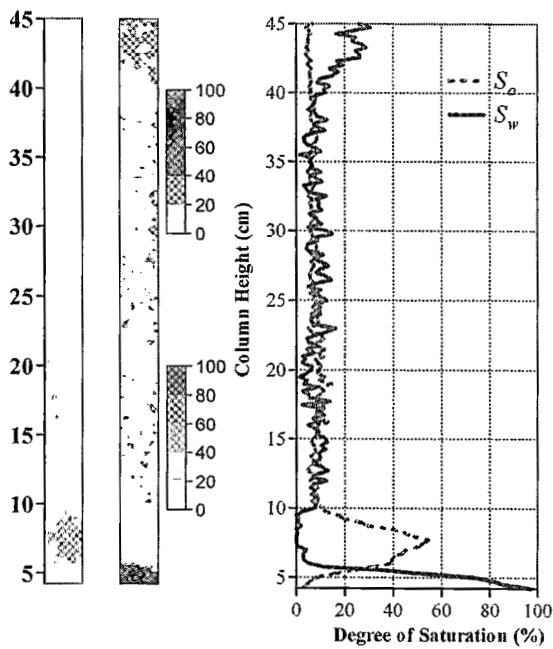




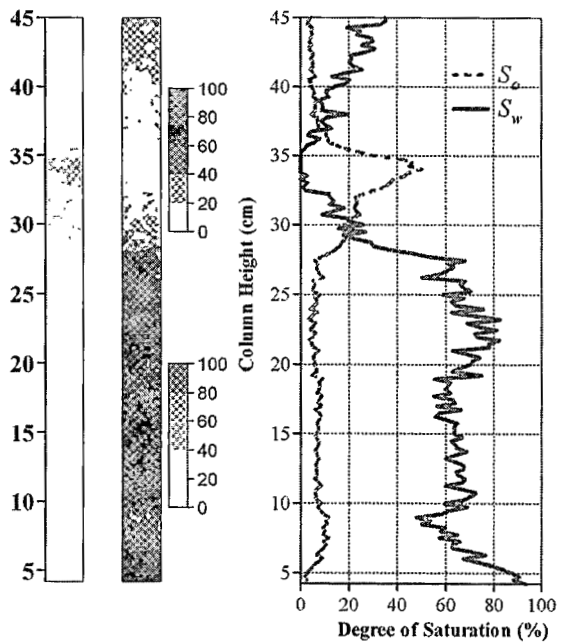
18 hr



30 hr

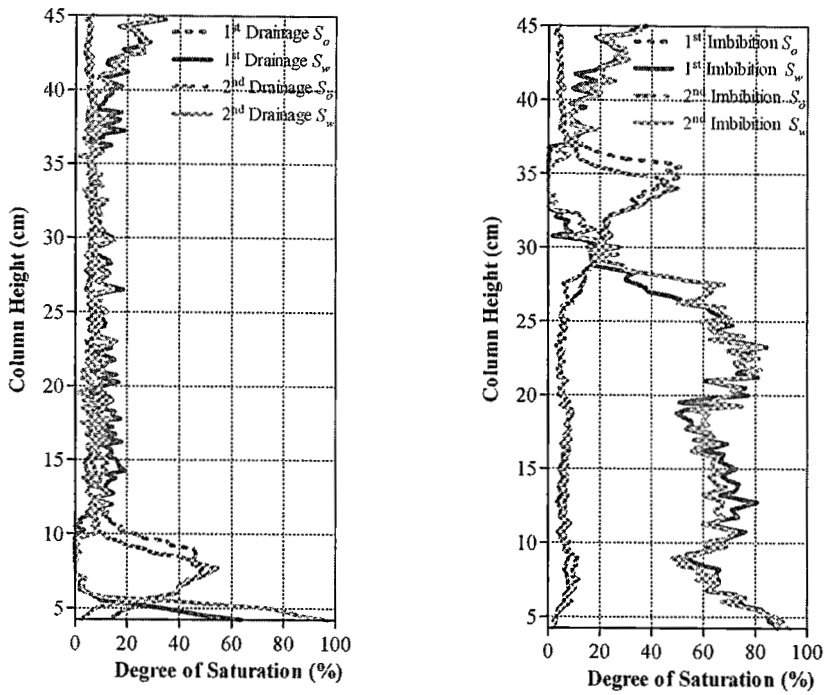


42 hr

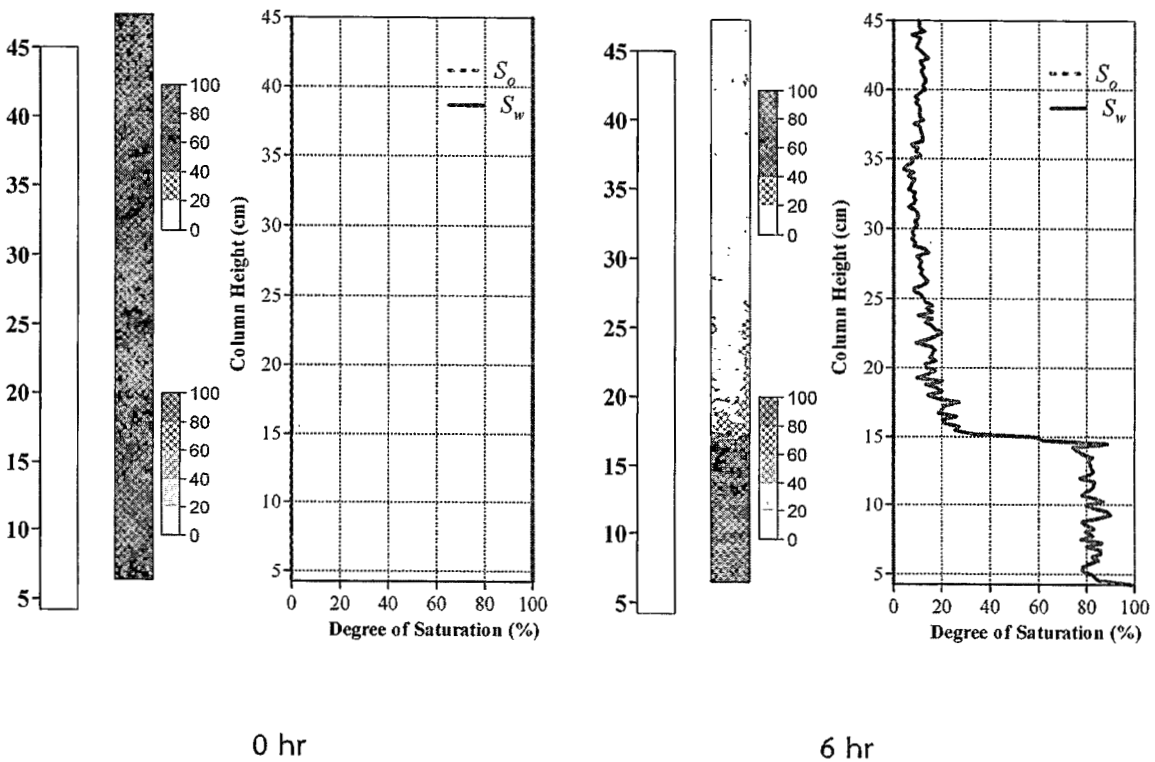


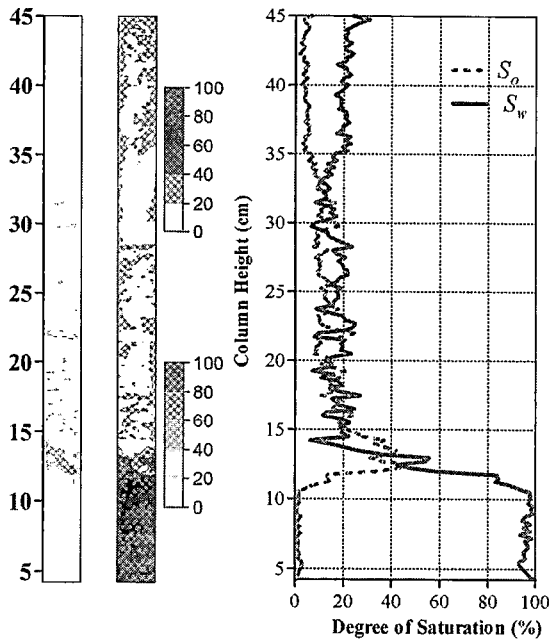
54 hr

รูปที่ 4-9 ปริมาณการอิ่มตัวด้วยน้ำมันดีเซล (สีแดง) และระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ (สีฟ้า) การทดลองที่ 1 คอลัมน์ที่ 1 (ทรายออกตาวาเบอร์ 3820)

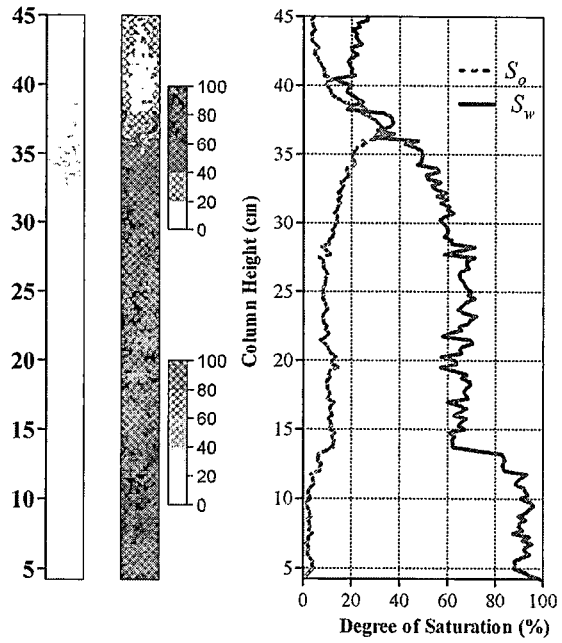


รูปที่ 4-10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเหลวระหว่างน้ำขึ้นและน้ำลง สองครั้งการทดลองที่ 1 คอลัมน์ที่ 1 (ทรายออกตาวาเบอร์ 3820)

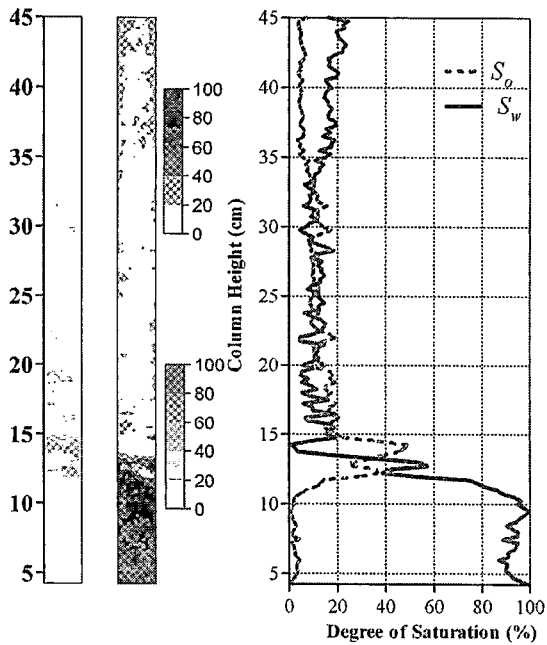




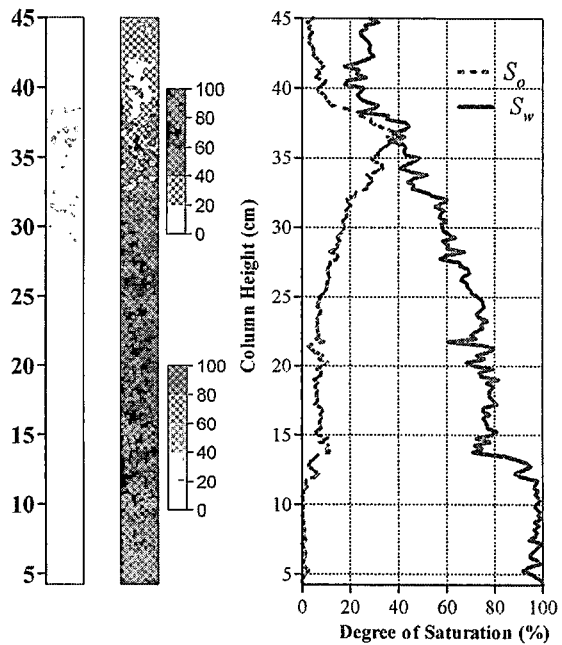
18 hr



30 hr

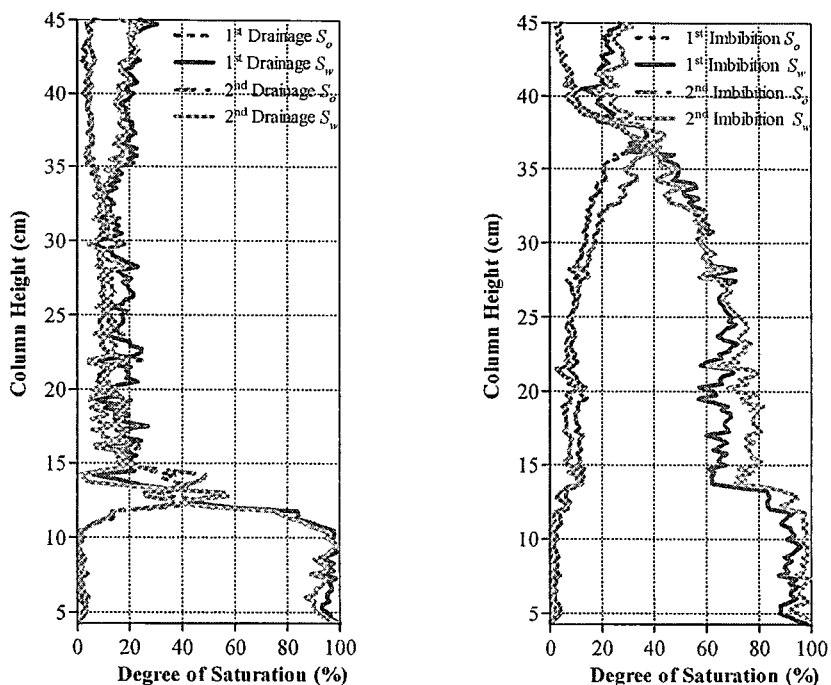


42 hr

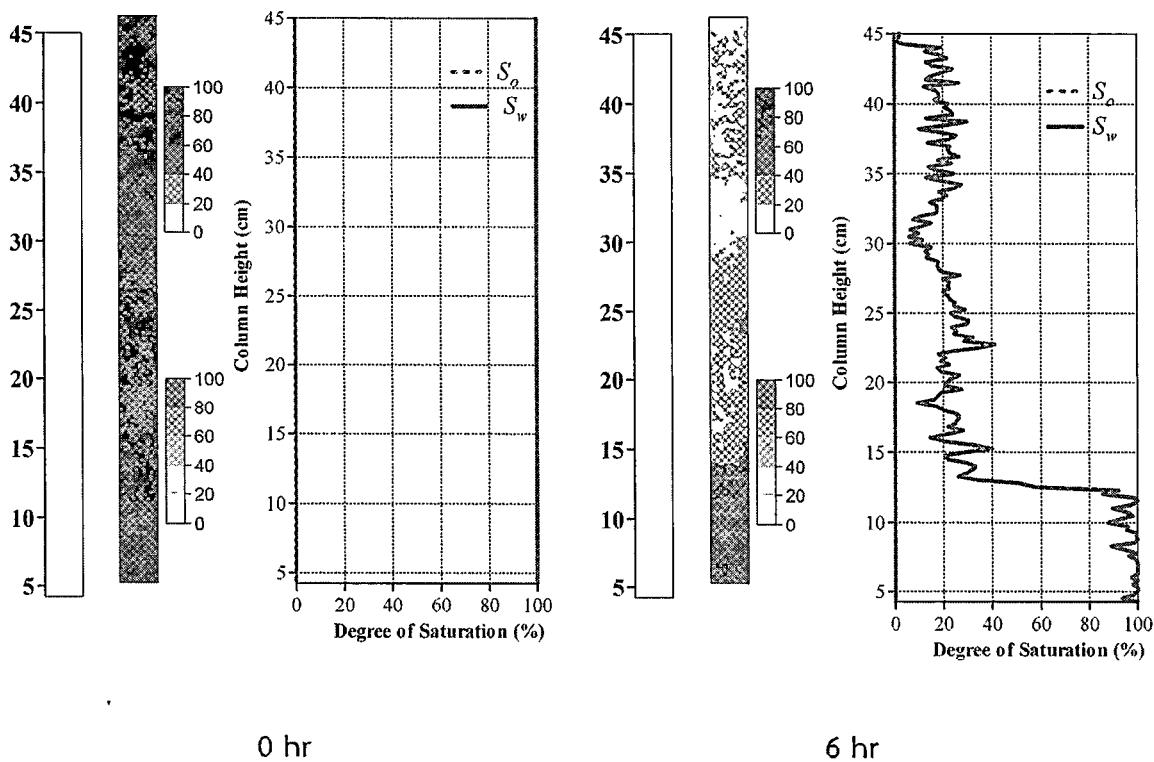


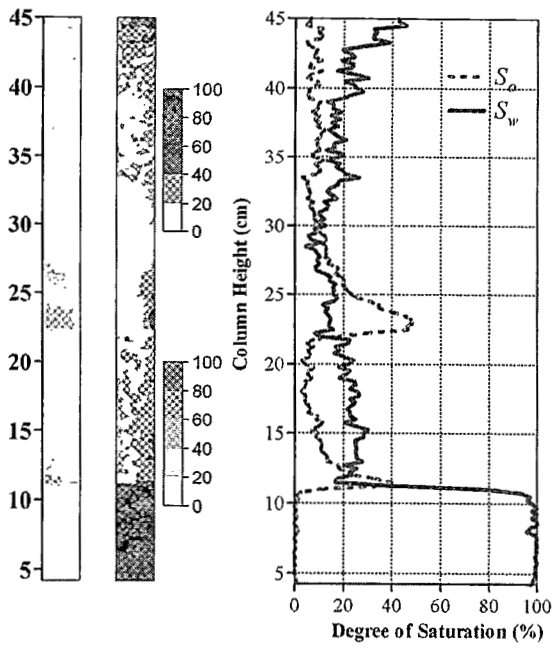
54 hr

รูปที่ 4-11 ปริมาณการอิ่มตัวด้วยน้ำมันดีเซล (สีแดง) และระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ (สีฟ้า) การทดลองที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 (ทรายออกตาวาเบอร์ 3821)

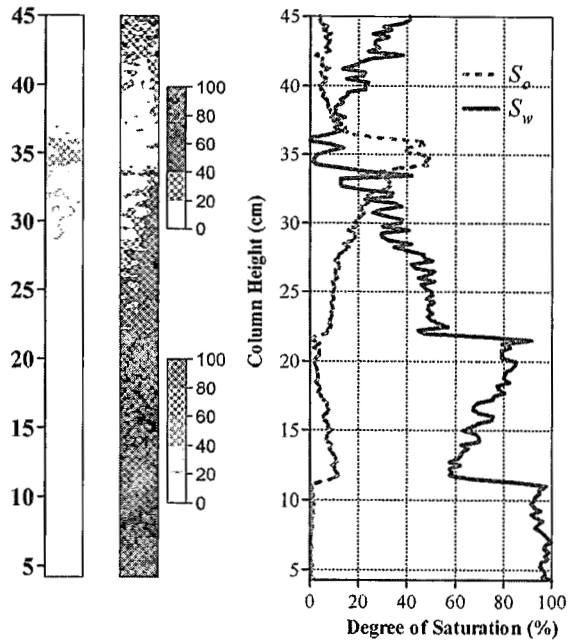


รูปที่ 4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเหลวระหว่างน้ำขึ้นและน้ำลงสองครั้งการทดลองที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 (ทรายออกตาวาเบอร์ 3821)

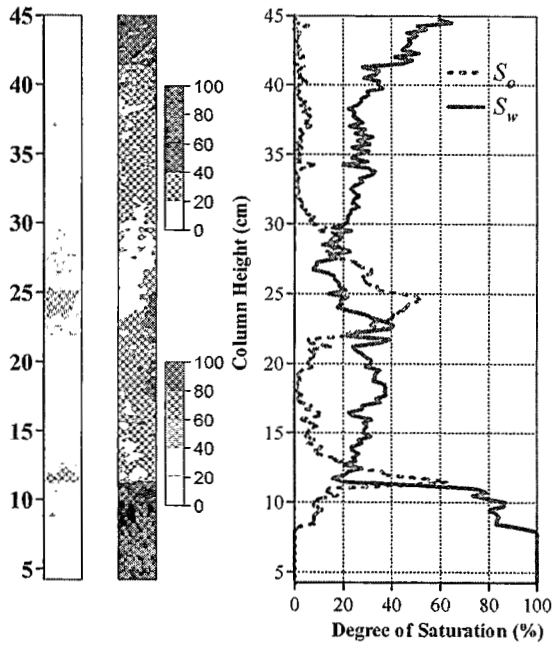




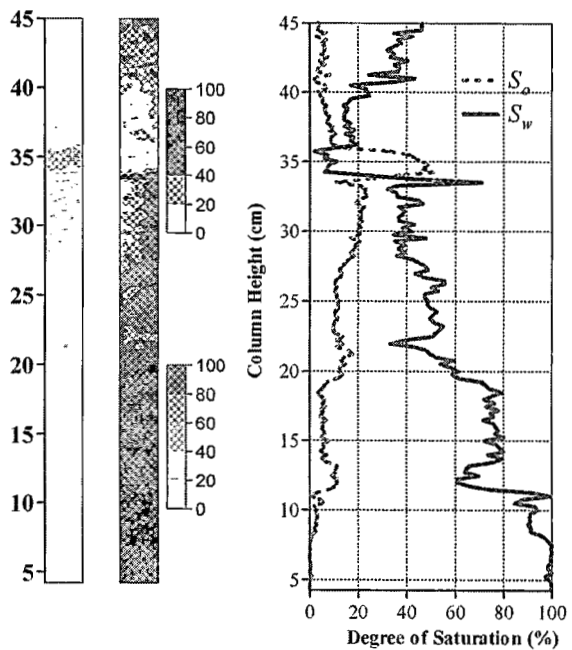
18 hr



30 hr

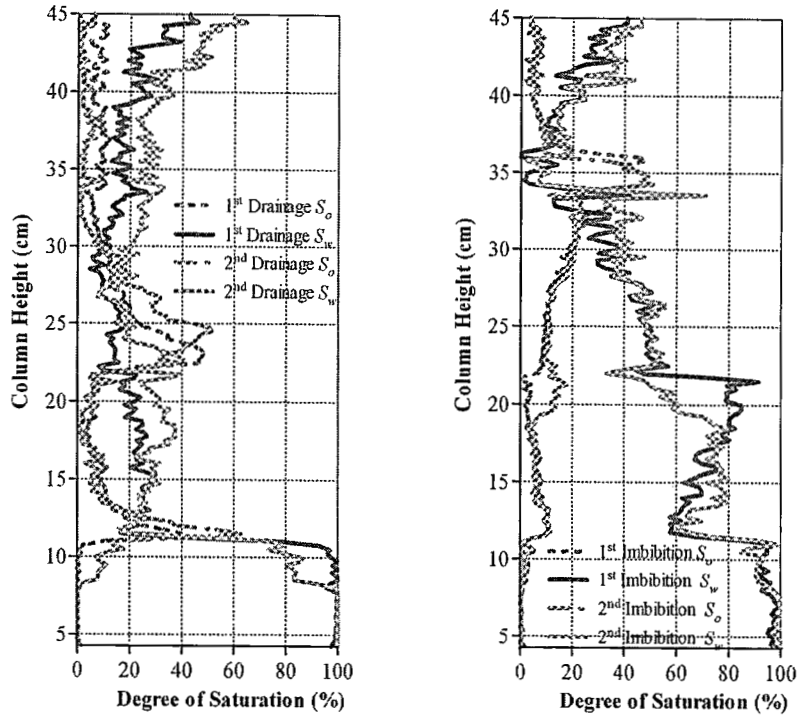


42 hr

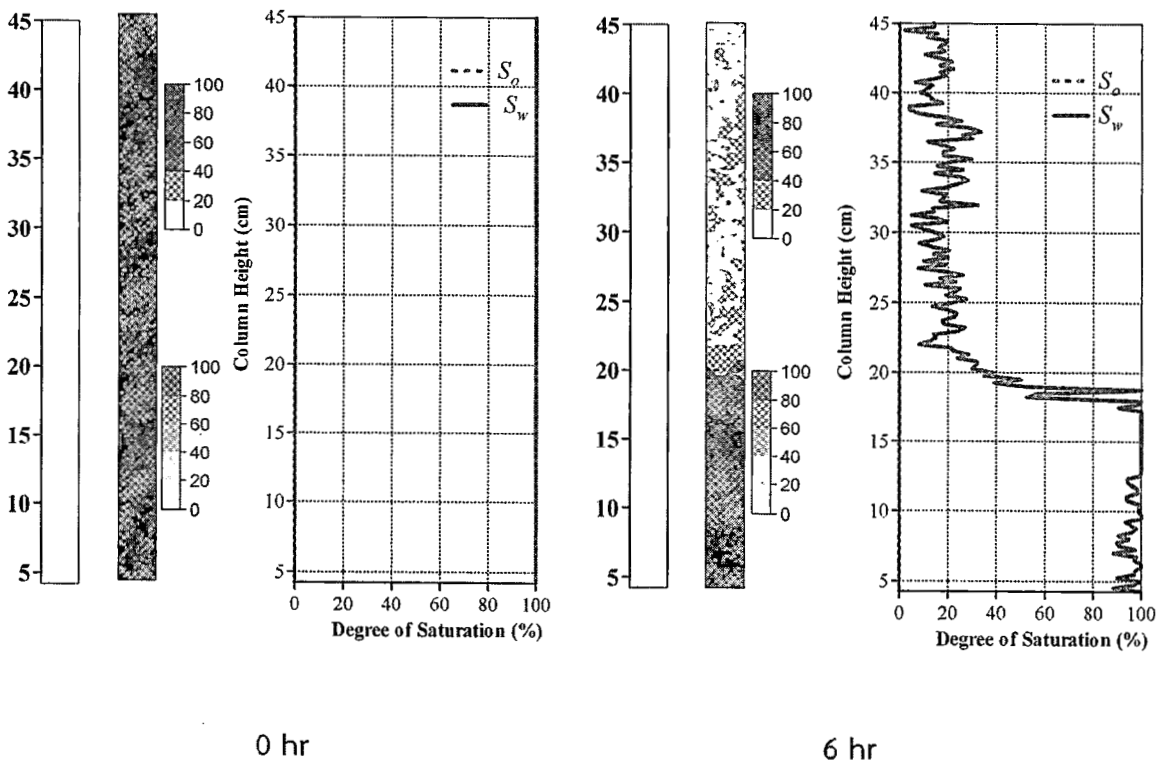


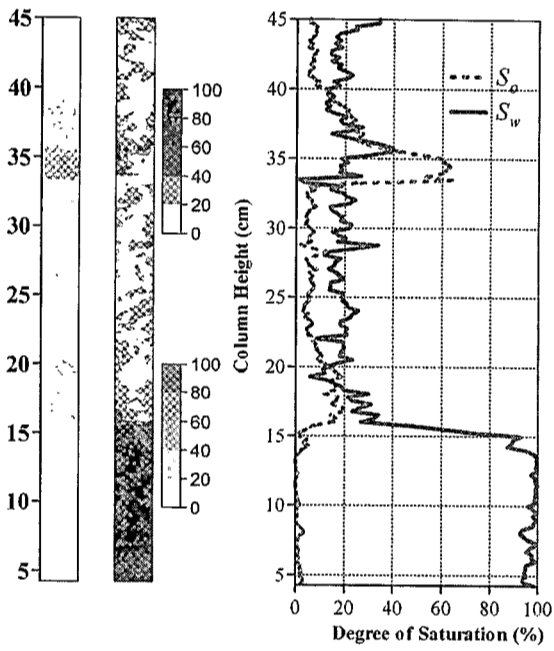
54 hr

รูปที่ 4-13 ปริมาณการอิ่มตัวด้วยน้ำมันดีเซล (สีแดง) และระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ (สีฟ้า) การทดลองที่ 2 คอลัมน์ที่ 1 (ทรายแบ่งชั้นทรายออกตาวาเบอร์ 3820/ทรายออกตาวาเบอร์ 3821)

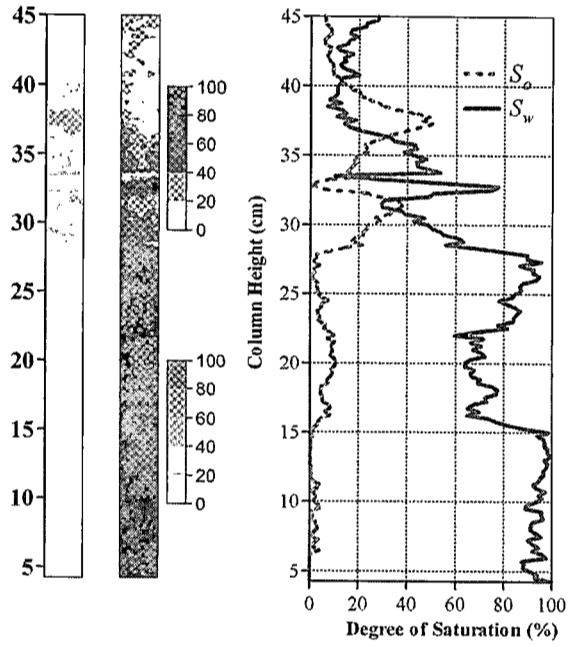


รูปที่ 4-14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเหลวระหว่างน้ำขึ้นและน้ำลงสองครั้งการทดลองที่ 2 คอลัมน์ที่ 1 (ทรายแบ่งชั้นทรายออกตาวาเบอร์ 3820/ทรายออกตาวาเบอร์ 3821)

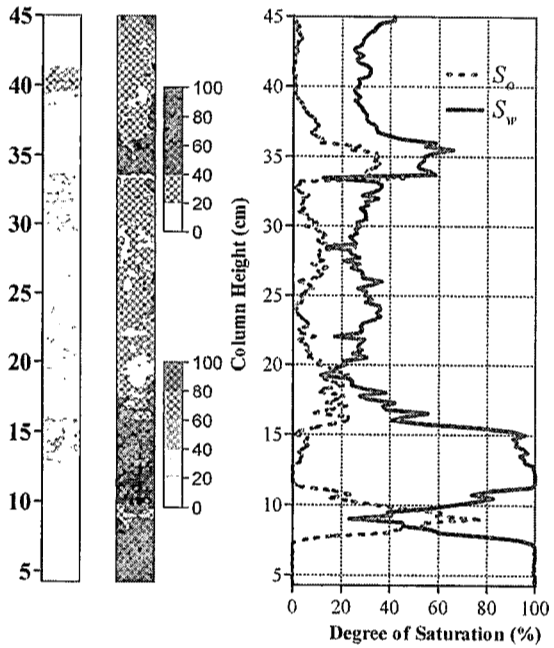




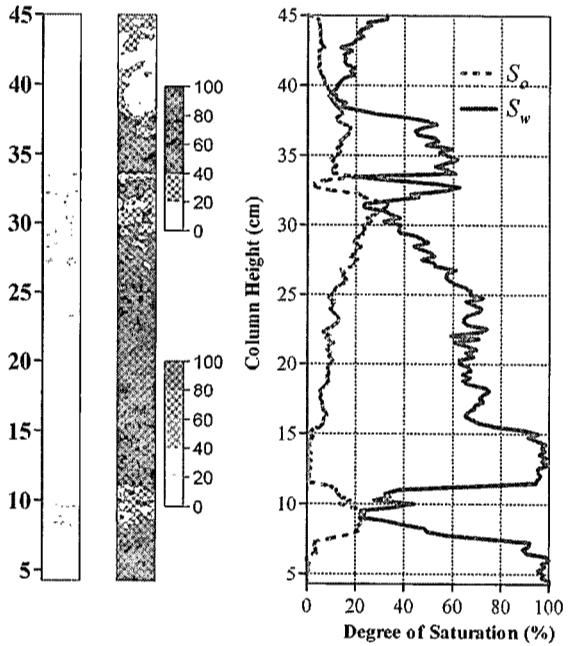
18 hr



30 hr

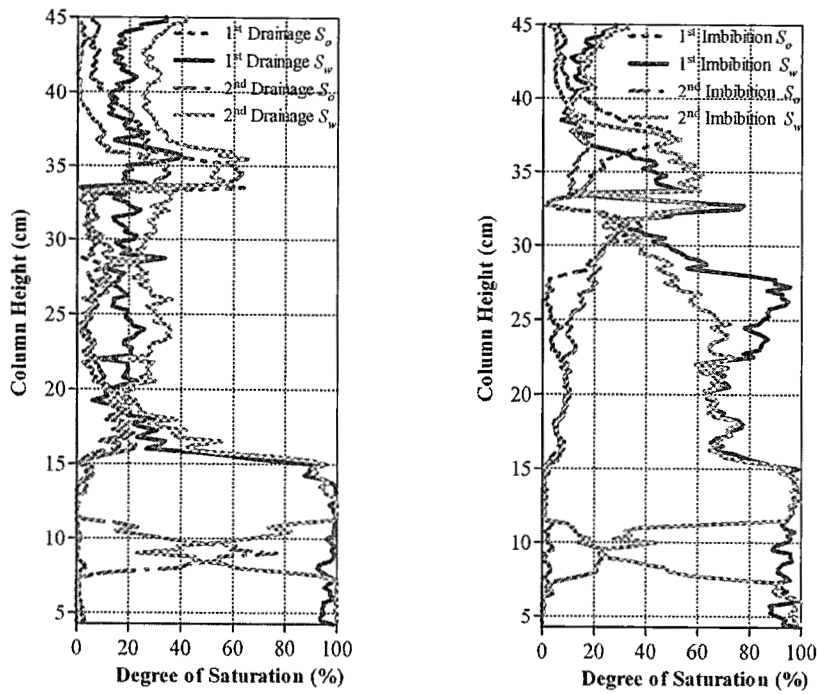


42 hr

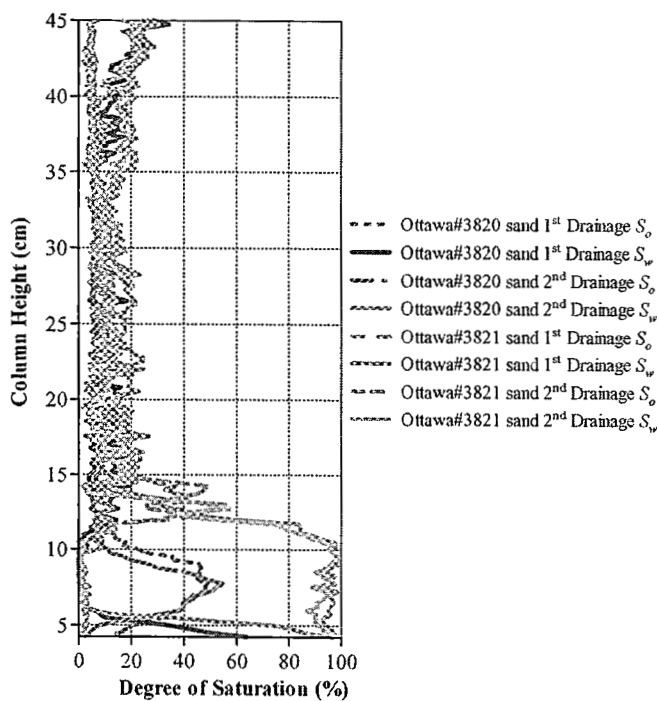


54 hr

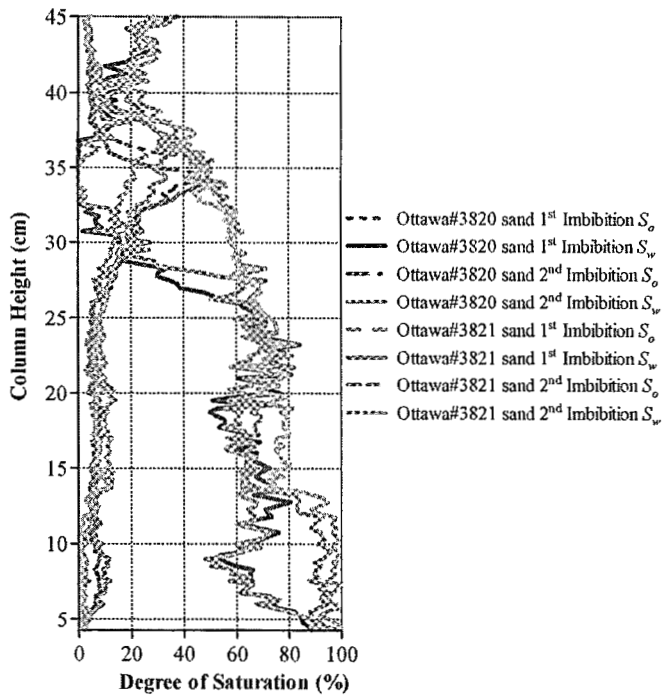
รูปที่ 4-15 ปริมาณการอิ่มตัวด้วยน้ำมันดีเซล (สีแดง) และระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ (สีฟ้า) การทดลองที่ 2 คอลัมน์ที่ 2 (ทรายแบ่งชั้นทรายออกตดาวาเบอร์ 3821/ทรายออกตดาวาเบอร์ 3820)



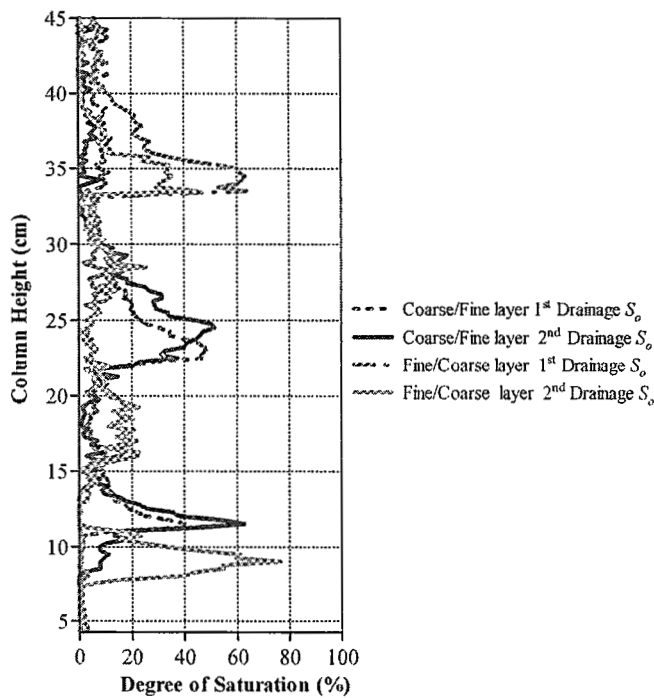
รูปที่ 4-16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเหลวระหว่างน้ำขึ้นและน้ำลงสองครั้งการทดลองที่ 2 คอลัมน์ที่ 2 (ทรายแบ่งชั้นทรายออกตาวาเบอร์ 3821/ทรายออกตาวาเบอร์ 3820)



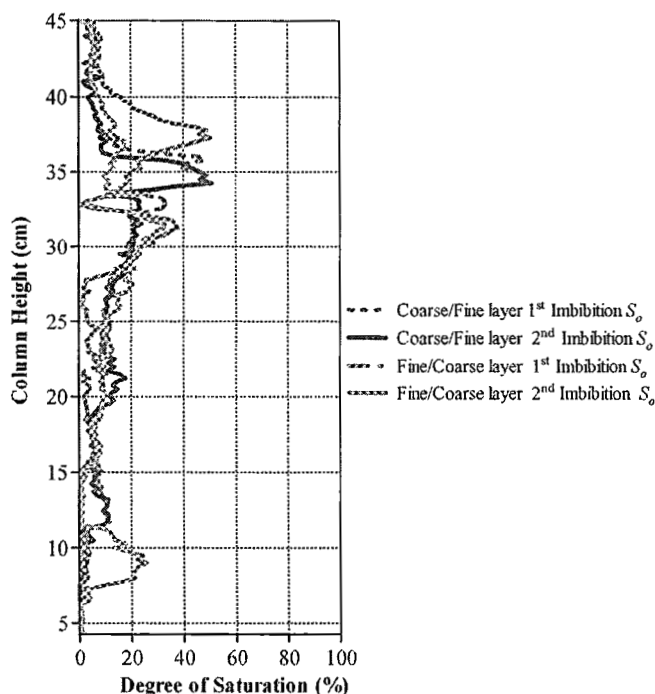
รูปที่ 4-17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเหลวระหว่างทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และทรายออกตาวาเบอร์ 3821 ในชั้นตอนน้ำลงในชั้นทรายชนิดเดียวกัน



รูปที่ 4-18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเหลวระหว่างทรายออตตาวาเบอร์ 3820 และทรายออตตาวาเบอร์ 3821 ในชั้นตอนน้ำขึ้นในชั้นทรายชนิดเดียวกัน



รูปที่ 4-19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับความอิ่มตัวของน้ำมันในชั้นทรายที่แบ่งชั้นระหว่างทรายออตตาวาเบอร์ 3820 และทรายออตตาวาเบอร์ 3821 ในชั้นตอนน้ำขึ้น



รูปที่ 4-20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับความอิ่มตัวของน้ำมันในชั้นทรายที่แบ่งชั้นระหว่างทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และทรายออกตาวาเบอร์ 3821 ในชั้นตอนน้ำขึ้น

จากรูปที่ 4.9 ที่เวลา 18 และ 42 ชั่วโมง พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของน้ำมันจะมีลักษณะที่เหมือนกัน โดยน้ำมันจะสะสมอยู่ที่ระดับ 10 เซนติเมตร และที่เวลา 30 และ 54 ชั่วโมงซึ่งเป็นพฤติกรรมที่เหมือนกันโดยน้ำมันจะสะสมอยู่ที่ระดับ 35 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.10 เปรียบเทียบระหว่างน้ำขึ้นสองรอบและน้ำลงสองรอบในทรายออกตาวาเบอร์ 3820 พบว่าพฤติกรรมน้ำขึ้นและลงสองครั้งมีพฤติกรรมที่คล้ายๆกัน

จากรูปที่ 4.11 ที่เวลา 18 และ 42 ชั่วโมง พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของน้ำมันจะมีลักษณะที่เหมือนกัน โดยน้ำมันจะสะสมอยู่ที่ระดับ 15 เซนติเมตร และที่เวลา 30 และ 54 ชั่วโมงซึ่งเป็นพฤติกรรมที่เหมือนกันโดยน้ำมันจะสะสมอยู่ที่ระดับ 35 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.12 เปรียบเทียบระหว่างน้ำขึ้นสองรอบและน้ำลงสองรอบในทรายออกตาวาเบอร์ 3821 พบว่าพฤติกรรมน้ำขึ้นและลงสองครั้งมีพฤติกรรมที่คล้ายๆกัน

จากรูปที่ 4.13 ที่เวลา 18 ชั่วโมง พฤติกรรมของน้ำมันจะมีการสะสมของน้ำมันที่ระดับ 25 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร ซึ่งน้ำมันจะสะสมอยู่ในทรายออกตาวาเบอร์ 3821 เนื่องจากการเกิด Capillary barrier effect ทรายจะดูดซับน้ำมันไว้ไม่ให้ไหลไปยังทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และจากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.15 ที่เวลา 30 ชั่วโมงลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำมันจะเคลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับ 35 เซนติเมตร ซึ่งน้ำมันก็จะยังคงอยู่ในทรายออกตาวาเบอร์ 3821 เป็นผลเนื่องจาก Capillary barrier effect เช่นกัน จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.15 ที่เวลา 42 และ 54 ชั่วโมง จะมีการสะสมของน้ำมันมากขึ้นในทรายออกตาวาเบอร์ 3821

จากรูปที่ 4.15 ที่เวลา 18 ชั่วโมง พฤติกรรมของน้ำมันจะมีการสะสมของน้ำมันที่ระดับ 35 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ซึ่งน้ำมันจะสะสมอยู่ในทรายออกตาวาเบอร์ 3821 เนื่องจากการเกิด Capillary barrier effect ทรายจะดูดซับน้ำมันไว้ไม่ให้ไหลไปยังทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และรูปที่ 4.15 ที่เวลา 30 ชั่วโมง ลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำมันจะเคลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับ 35 เซนติเมตร ซึ่งน้ำมันก็จะยังคงอยู่ในทรายออกตาวาเบอร์ 3821 เป็นผลเนื่องจาก Capillary barrier effect เช่นกัน รูปที่ 4.15 ที่เวลา 42 และ 54 ชั่วโมง จะมีการสะสมของน้ำมันมากขึ้นในทรายออกตาวาเบอร์ 3821

จากรูปที่ 4.14 รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบระหว่างน้ำขึ้นสองรอบและน้ำลงสองรอบในทรายแบ่งชั้น พบว่า พฤติกรรมน้ำขึ้นและลงสองครั้งมีพฤติกรรมต่างกันเนื่องจากลักษณะของการสะสมของน้ำมันจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จากรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 กราฟลักษณะของน้ำขึ้นและลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และทรายออกตาวาเบอร์ 3821 พบว่า ลักษณะของการไหลของของเหลว จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันไม่เกิดปริมาณการสะสม แต่ทรายออกตาวาเบอร์ 3821 จะมี Capillary fringe ที่สูงกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3820

จากรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ประมาณระดับความอิ่มตัวของน้ำมัน เมื่อมีลักษณะน้ำขึ้นและลงในทรายที่แบ่งชั้นดิน พบว่าปริมาณน้ำมันจะมีการสะสมที่ต่างระดับกันและขึ้นอยู่กับชั้นทราย ส่วนมากปริมาณสะสมน้ำมันนั้นจะอยู่ในชั้นดินทรายละเอียด

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรายออกตาวาเบอร์ 3820 และทรายออกตาวาเบอร์ 3821 น้ำมันที่ไหลขึ้นลงในทรายชนิดเดียวกัน พฤติกรรมของน้ำมันจะมีลักษณะที่อยู่เหนือผิวน้ำ ทำให้น้ำมันมีลักษณะการขึ้นลงตามพฤติกรรมของน้ำ พฤติกรรมของน้ำมันจะมีลักษณะที่เปลี่ยนไปเมื่อทรายมีลักษณะที่แบ่งเป็นชั้น ซึ่งน้ำมันที่ไหลผ่านชั้นทราย นั้นจะมีการสะสมอยู่บริเวณทรายออกตาวาเบอร์ 3821 เนื่องจากขนาดเฉลี่ยของเม็ดดินที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เปอร์เซ็นต์ (D_{50}) ทรายออกตาวาเบอร์ 3821 มีขนาดเท่ากับ 0.422 มิลลิเมตร จะมีขนาดเล็กเล็กกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3820 ที่มีขนาดเท่ากับ 0.643 มิลลิเมตรซึ่งจะทำให้ทรายออกตาวาเบอร์ 3821 มีแรง Capillary fringe มากกว่าทรายออกตาวาเบอร์ 3820 จึงทำให้น้ำมันถูกสะสมไว้ที่บริเวณทรายออกตาวาเบอร์ 3821 และการเกิด Capillary barrier effect และเมื่อน้ำขึ้นน้ำมันก็จะไหลขึ้น แต่ยังคงอยู่ในชั้นทรายออกตาวาเบอร์ 3821 เนื่องจากการเกิด Capillary barrier effect เช่นเดียวกัน

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

จากพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของน้ำมันดีเซลในตัวกลางพรุนชนิดไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ทำให้ทราบว่า เมื่อลักษณะของชั้นทรายที่แบ่งทรายเป็นชั้นๆ จะเกิด Capillary barrier effect เนื่องจากทรายละเอียดจะมีช่องว่างในทรายน้อยกว่าทรายหยาบ ทำให้มีแรงดูดของเหลวในช่องว่างมากกว่า ดังนั้นจึงทำให้น้ำมันเกิดการสะสมอยู่ในชั้นทรายละเอียด เมื่อน้ำมันมีลักษณะชั้นและลงน้ำมันจะมีการสะสมที่เพิ่มมากขึ้นภายในชั้นทรายละเอียด ซึ่งต่างจากทรายชนิดเดียวที่ไม่มีการแบ่งชั้นจะไม่เกิดการสะสมของน้ำมันในทราย แต่น้ำมันจะมีลักษณะที่ลอยเหนือน้ำตามพฤติกรรมของน้ำขึ้นน้ำลง

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าหากมีปริมาณการสะสมของน้ำมันในชั้นดินมากขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลกระทบต่อที่เป็นมลพิษภายในชั้นดิน และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของดิน หากมีการนำดินที่ปนเปื้อนไปใช้ในการเพาะปลูกโดยตรง อาจเป็นอันตรายต่อผู้ที่บริโภคได้ และผลกระทบอีกอย่างหนึ่งที่มาจากการตกค้ำงนั้นก็คือ การปนเปื้อนจากการไหลซึมผ่านไปยังแหล่งน้ำใต้ดินแทนจนเกิดเป็นมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน และเมื่อสูบน้ำขึ้นกลับมาใช้จึงทำให้เป็นอันตรายต่อผู้อุปโภคบริโภคได้โดยตรง ทั้งนี้หากมีการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ดินที่มีลักษณะชั้นดินที่แบ่งเป็นชั้น ก็จะสามารถการบำบัดดินที่มีการสะสมของน้ำมัน ดังนั้นจึงควรดูแลและตรวจสอบแหล่งกักเก็บน้ำมันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อไม่ให้เกิดมลพิษที่เพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต

399426

เอกสารอ้างอิง

- สุวสันต์ สุดแสง, สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง, และ สยาม ยิ้มศิริ (2554). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นเชิงแสงเฉลี่ยและระดับการอิ่มตัวของเหลวในทรายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ ๑๖, ๑๘-๒๐ พฤษภาคม ๒๕๕๔, จัดโดยมหาวิทยาลัยมหิดล ศศิธรและสุชумаภรณ์ (2552). “การไหลซึมผ่านของแก๊สโซฮอล์ผ่านทราย 2” ปรินญาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- วรรณัฐ ศรีพงษ์พิจิตร2549; “การศึกษาพฤติกรรมการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงในชั้นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำด้วยวิธีการวิเคราะห์จากภาพดิจิทัล” ปรินญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
- Giancarlo Flores, Takeshi Katsumi, Toru Inui and Masashi Kamon, “A Simplified Image Analysis Method to Study LNAPL Migration in Porous Media”, *Soil and Foundations*, Vol. 51, pp.835-847, 2011.
- Sudsang, S., Flores, G., Katsumi, T., Inui, T., Likitlersuang, S., and Yimsiri, S., “Study of Diesel Migration in Porous Media by the Simplified Image Analysis Method”, *The 23rd KCCNN Symposium on Civil Engineering*, Taiwan, pp. 379-382, 2010
- A.C.Gangadharan et al.1988. Leak Prevention and Corrective Action Technology for Underground Storage Tanks. Pollution Technology Review No.153. Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
- Kechavarzi, C., Soga, K. and Wiart, P. (2000). "Multispectral image analysis method to determine dynamic fluid saturation distribution in two-dimensional three-fluid phase flow laboratory experiments." *Journal of Contaminant Hydrology* 46(3-4): 265-293.
- Fetter, C.W. 1999. Contaminant Hydrogeology, 2 nd. Ed. Prentice Hall, New Jersey
- Ning Lu and William J. Likos “Unsaturated Soil Mechanics” Chapter12 , pp. 494-510