



รายงานการวิจัย

การเพิ่มเสถียรภาพของดินเหนียวกระจายตัว
เพื่อต้านการถูกกัดเซาะโดยน้ำ
(Stabilizing of dispersive clay to resist erosion by water)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การเพิ่มเสถียรภาพของดินเหนียวกระจายตัว เพื่อต้านการถูกกัดเซาะโดยน้ำ (Stabilizing of dispersive clay to resist erosion by water)

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ ต้นเส็ง

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2550

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2558

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2550 งานวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลือจากทีมนักศึกษาด้านวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ช่วยงานเก็บตัวอย่างและงานทดสอบโดยเฉพาะคุณพลอนันต์ สดโคกรวด อีกทั้งเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการแนะนำวิธีใช้เครื่องมือทดสอบและในการทดสอบตลอดระยะเวลาในการวิจัยซึ่งได้แก่ คุณนवलประค์ อุทัยดา, คุณสมยศ พิมพิพรรม, และคุณจรรจิรา รุจิวรรณ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

กันยายน 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

รายงานนำเสนอการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มเสถียรภาพความต้านทานการถูกกัดเซาะของดินเหนียวกระจายตัวโดยใช้ปูนขาว งานวิจัยได้ศึกษาปัญหาการกัดเซาะบริเวณท่อลอดและการกัดเซาะลาดดินในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งตั้งอยู่ในตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการกัดเซาะบริเวณท่อลอดทำให้เกิดการสูญเสียมวลดินและสามารถคำนวณกลับได้โดยใช้ทฤษฎีการสูญเสียมวลดินเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์ พบว่าดินที่ถูกกัดเซาะคิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ของหน้าตัดท่อ ส่วนการกัดเซาะลาดดินเป็นการกัดเซาะแบบอุโมงค์และเมื่ออุโมงค์พังทลายลงเนื่องจากการกัดเซาะที่เพิ่มขึ้นได้กลายเป็นร่องกัดเซาะขนาดใหญ่ การทดสอบดินที่เก็บจากบริเวณลาดดินพบว่าดินเป็นดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ และลาดดินที่ถูกกัดเซาะเป็นดินเหนียวกระจายตัวที่มีปฏิกริยารุนแรงเมื่อทดสอบโดยวิธี crumb test เมื่อทดสอบด้วยวิธี Double hydrometer ดินมีระดับการกระจายตัวเป็น 85.65 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจัดเป็นดินเหนียวกระจายตัว ส่วนการทดสอบ pinhole ได้ผลการจำแนกดินเหนียวเป็นดินเหนียวกระจายตัวประเภท D1 การศึกษาเชิงเคมี พบว่าดินเหนียวมีปริมาณ โซเดียมไม่สูงแต่ยังจัดเป็นดินเหนียวกระจายตัวตามผลการทดสอบ pinhole ในการทดสอบเพิ่มเสถียรภาพความต้านทานการกระจายตัวโดยใช้ปูนขาวในห้องปฏิบัติการพบว่าต้องใช้ปูนขาวอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจึงจะปรับปรุงจากดินเหนียวกระจายตัวให้เป็นดินเหนียวไม่กระจายตัวเมื่อทดสอบด้วยวิธี pinhole และดินที่ใช้วิธีบดอัดเพียงอย่างเดียวโดยไม่ผสมปูนขาวไม่สามารถลดการกระจายตัวของดินได้ การทดสอบการกัดเซาะแบบร่องกับคันดินในแปลงทดสอบที่สร้างขึ้นจากดินเหนียวกระจายตัวบดอัดให้มีความชื้น 45 องศา โดยใช้ตุ้มน้ำทดสอบเป็นน้ำฝนพบว่าคันดินที่ปรับปรุงด้วยปูนขาวถูกกัดเซาะลดลงอย่างชัดเจนแม้ว่าจะใช้ปูนขาวในปริมาณที่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

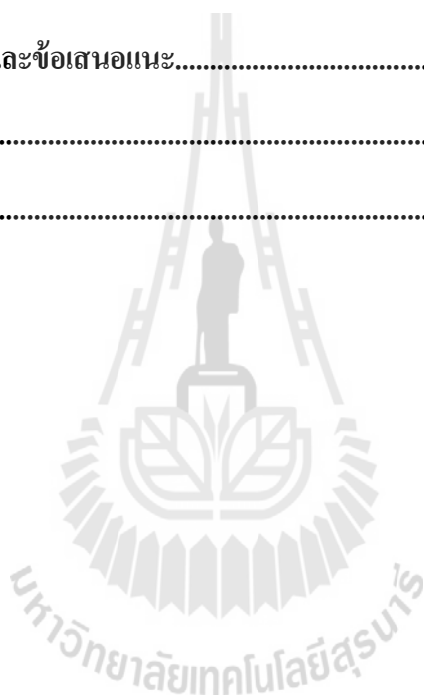
Abstract

The report presents research on the stabilization of dispersive soil to resist water erosion by using lime. The research observed two problem areas where the pipe culvert is located under the road embankment and eroded slope located in Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima. The erosion around pipe culvert causes losing of soil around the pipe. The amount of erosion is calculated with ground loss theory due to tunneling. The ground loss volume is 95 percent of the pipe cross section. The erosion on the slope is the tunnel erosion type and some gully erosion are found after the tunnel collapse. The laboratory tests on the sample collected from slope indicate that the soil sample reacts severely when test with the crumb test. The double hydrometer test indicates that the percent dispersion is 85.65 which is in the range of dispersive soil. The soil sample is classified as dispersive clay type D-1 which is the most severe reaction. The chemical analysis of the extraction from the sample shows that the amount of sodium is low; however, the soil is still classified as dispersive clay according to the pinhole test. The treatments of dispersive soil with lime in laboratory show that the minimum lime content is 1 percent by weight is needed to improve dispersive soil and the compaction alone cannot improve dispersive soil. The test plots constructed by using the compacted dispersive clay with 45 degree slope are used for field test. The rain water is used as an erosion medium. The slope improved with lime less than 1 percent by weight can reduce erosion significantly.

สารบัญเรื่อง

กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อ.....	II
ABSTRACT	III
สารบัญเรื่อง.....	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 ภูมิหลังหรือที่มา ความจำเป็นที่จะต้องศึกษา	3
1.3 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง.....	1
2.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินเหนียวกระจายตัว.....	3
2.2 ปัญหาการกัดเซาะของดิน	4
2.3 การคำนวณปริมาณดินที่ถูกกัดเซาะแบบอูโมงค์.....	5
2.4 การทดสอบการกระจายตัวของดินเหนียวเชิงเคมี	9
2.5 การลดการกระจายตัวของดินด้วยปูนขาว	10

บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	13
3.1	แหล่งตัวอย่างดิน.....	14
3.2	การทดสอบดิน.....	15
3.3	การทดสอบการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพความต้านทานการกัดเซาะ.....	19
บทที่ 4	ผลการวิจัย.....	20
4.1	การสำรวจพื้นที่ประสบปัญหาการกัดเซาะ	20
4.2	คุณสมบัติของดินกระจายตัวในพื้นที่ศึกษา.....	24
4.3	การปรับปรุงดินกระจายตัว	37
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	45
	บรรณานุกรม.....	47
	ผลงานวิจัยตีพิมพ์.....	50

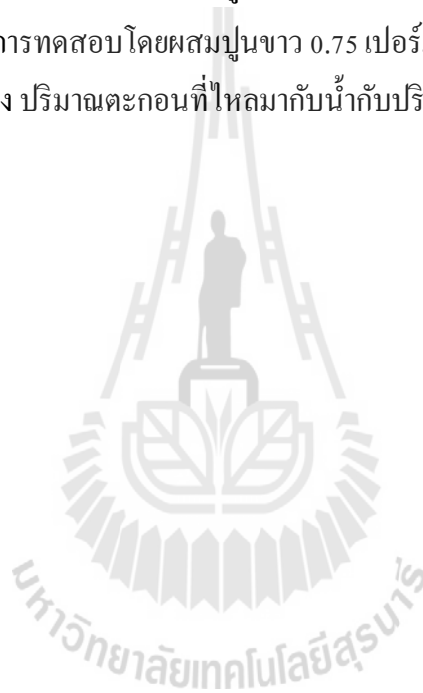


สารบัญรูป

รูปที่ 1-1 การถูกกัดเซาะของคันดินรอบอ่างเก็บน้ำในบริเวณ ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จัง.....	1
รูปที่ 1-2 การถูกกัดเซาะลาดดินจนเกิดเป็น โพรงบนลาดดิน พบในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.....	2
รูปที่ 1-3 การถูกกัดเซาะโดยน้ำจนเกิด โพรงขนาดใหญ่ใต้คันทางรถไฟ ข้างเขื่อนลำตะคอง (วันชัย เทพ รักษ์ และคณะ, 2553).....	3
รูปที่ 2-1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ Pinhole (EM1110-2-1906 1980)	2
รูปที่ 2-2 ผลการทดสอบ Pinhole ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สำหรับการกระจายตัว (EM1110-2-1906 1980).....	2
รูปที่ 2-3 กระบวนการกัดเซาะจนเป็นอุโมงค์ (Vacher, R. et al. 2004).....	5
รูปที่ 2-4 สมมุติฐานการทรุดตัวของผิวทางเนื่องจากดินรอบท่อถูกกัดเซาะโดยน้ำ.....	6
รูปที่ 2-5 ช่องว่างระหว่างดินกับหัวเจาะอุโมงค์ซึ่งก่อให้เกิดการทรุดตัวของผิวดินเหนืออุโมงค์ (Peck 1969).....	6
รูปที่ 2-6 การประมาณการทรุดของผิวดินเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์ (Peck 1969)	7
รูปที่ 2-7 การทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากการวางอุโมงค์ในดินเหนียวแบบสมมาตร(Peck 1969).....	8
รูปที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมในดินกับการกระจายตัว (Sherard, R. et al. 1976).....	10
รูปที่ 3-1 แผนผังการดำเนินการวิจัย	13
รูปที่ 3-2 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่วิจัย.....	14
รูปที่ 3-3 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างบนลาดดินที่ถูกกัดเซาะรุนแรง	15
รูปที่ 3-4 แผนภาพแสดงการทำงานของ XRD	18
รูปที่ 3-5 เครื่องมือทดสอบ XRD.....	18
รูปที่ 3-6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ตรวจสอบพื้นผิวของอนุภาคดิน.....	19
รูปที่ 4-1 ปัญหาการกัดเซาะแบบอุโมงค์ในพื้นที่ศึกษา.....	21

รูปที่ 4-2 ปัญหาการกัดเซาะแบบอุโมงค์ดิน หลังจากเกิดการพังทลายของอุโมงค์.....	21
รูปที่ 4-3 ร่องน้ำที่เกิดจากการกัดเซาะแบบอุโมงค์แล้วอุโมงค์พังทลายเป็นร่องกัดเซาะขนาดใหญ่	22
รูปที่ 4-4 ปัญหาการทรุดตัวของผิวทางบริเวณที่เกิดการกัดเซาะรอบท่อลอด.....	23
รูปที่ 4-5 ระดับผิวทางทรุดตัวที่วัดได้และผลการประมาณการทรุดตัวของถนนที่มีท่อระบายน้ำลอดผ่าน	24
รูปที่ 4-6 การแตกร้าวของผิวทางคอนกรีตถนนเนื่องจากการกัดเซาะของดินรอบท่อระบายน้ำ	24
รูปที่ 4-7 แหล่งดินที่ใช้ในงานวิจัยเป็นดินที่เกิดปัญหาดินกระจายตัว.....	25
รูปที่ 4-8 ตัวอย่างดินเหนียวกระจายตัวที่เวลาทดสอบ 5 นาที	26
รูปที่ 4-9 ตัวอย่างดินเหนียวกระจายตัวที่เวลาทดสอบ 10 นาที	26
รูปที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของดินด้วยวิธี Double hydrometer.....	27
รูปที่ 4-11 ตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านออกจากเครื่องมือทดสอบ Pinhole ซึ่งชุ่มมาก.....	28
รูปที่ 4-12 การวิเคราะห์การกระจายตัวโดยใช้ผลการทดสอบทางเคมีของดิน เทียบกับข้อมูลเชิงประจักษ์ของ Sherard, R. et al. (1976).....	30
รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบปริมาณโซเดียมไอออนที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างส่วนบน ส่วนกลาง, และส่วนล่างของคันดิน	30
รูปที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ตัวอย่าง F1-T.....	31
รูปที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ตัวอย่าง F1-M.....	32
รูปที่ 4-16 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ตัวอย่าง F1-B.....	32
รูปที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยวิธี XRD ของดินเหนียวกระจายตัวสีน้ำตาลแดงและดินเหนียวสีขาวที่แทรกอยู่ในดิน.....	33
รูปที่ 4-18 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-T กำลังขยาย 500 เท่า.....	34
รูปที่ 4-19 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-T กำลังขยาย 20000 เท่า.....	34
รูปที่ 4-20 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-M กำลังขยาย 500 เท่า.....	35
รูปที่ 4-21 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-M กำลังขยาย 20000 เท่า.....	35
รูปที่ 4-22 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-B กำลังขยาย 500 เท่า.....	36
รูปที่ 4-23 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-B กำลังขยาย 20000 เท่า.....	36
รูปที่ 4-24 ผลการทดสอบการบดอัดดินกระจายตัวด้วยวิธีมาตรฐาน	38
รูปที่ 4-25 ขนาดของรูหลังสิ้นสุดการทดสอบ โดยขนาดของรูที่เจาะไว้เริ่มต้นมีขนาด 1 มิลลิเมตร ...	38

รูปที่ 4-26 การผ่าตัวอย่างออกเพื่อตรวจสอบขนาดของรูเจาะพบว่ารูเจาะถูกกัดเซาะจนมีขนาดเป็น 3 มิลลิเมตร จากรูเจาะเดิมขนาด 1 มิลลิเมตร.....	39
รูปที่ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด	39
รูปที่ 4-28 ตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านออกจากเครื่องมือทดสอบ Pinhole ซึ่งมีความขุ่นมาก และจำแนกดินได้เป็น D1	40
รูปที่ 4-29 กราฟการบดอัดที่แปรผันปริมาณปูนขาว.....	41
รูปที่ 4-30 แปลงทดสอบการปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวด้วยปูนขาว ที่ความชัน 45 องศา	43
รูปที่ 4-31 ปริมาณตะกอนหลังการทดสอบโดยผสมปูนขาว 0 เปอร์เซ็นต์.....	44
รูปที่ 4-32 ปริมาณตะกอนหลังการทดสอบโดยผสมปูนขาว 0.75 เปอร์เซ็นต์.....	44
รูปที่ 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณตะกอนที่ไหลมากับน้ำกับปริมาณปูนขาว	44



สารบัญตาราง

ตารางที่ 3-1 เกณฑ์จำแนกการกระจายตัว.....	16
ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวกระจายตัว.....	25
ตารางที่ 4-2 ระดับการกระจายตัวเมื่อจำแนกด้วยเกณฑ์อ้างอิง	27
ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบความจุแคะไอออนที่แลกเปลี่ยนได้.....	29
ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบแคะไอออนที่แลกเปลี่ยนได้.....	29
ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัดเพื่อเป็นลาดดิน.....	42
ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบความนำไฟฟ้าของน้ำฝนที่ใช้ทดสอบกับน้ำกลั่นและน้ำประปา.....	42



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ซึ่งประสบปัญหาภัยแล้งเป็นประจำ เพื่อขจัดปัญหานี้จึงมีความจำเป็นจะต้องมีการสร้างพื้นที่เก็บน้ำในฤดูฝนเพื่อเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กักเก็บน้ำมักจะเป็นเขื่อน, ฝาย, หรืออ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นโดยใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้าง ปัญหาที่มักพบเนื่องจากการใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้าง โครงสร้างกักเก็บน้ำก็คือ การถูกกัดเซาะของดินโดยน้ำซึ่งมักพบเห็นได้โดยทั่วไปในภูมิภาคนี้ดังรูปที่ 1-1 และรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-1 การถูกกัดเซาะของคันดินรอบอ่างเก็บน้ำในบริเวณ ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จัง

หัดนครราชสีมา



รูปที่ 1-2 การถูกกัดเซาะลาดดินจนเกิดเป็นโพรงบนลาดดิน พบในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ปัญหาการถูกกัดเซาะอย่างรุนแรงของโครงสร้างที่ก่อสร้างโดยใช้ดินเป็นวัสดุในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของดิน ซึ่งดินในภูมิภาคนี้จะเป็นดินซึ่งประกอบไปด้วย ดินพังง่าย (erodible soil) ซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำ จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินต่ำตามไปด้วย เมื่อมีน้ำไหลผ่านจะถูกกัดเซาะและถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำได้ง่าย ถึงแม้ว่าจะบดอัดดินชนิดนี้ให้แน่นมากเพียงใดก็ตาม ก็ไม่สามารถป้องกันการถูกกัดเซาะได้ ดินอีกชนิดหนึ่งก็คือดินกระจายตัว (dispersive soil) ดินชนิดนี้เป็นดินเหนียวมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินดีและน้ำซึมผ่านได้ยาก (Impervious) โดยดินชนิดนี้เมื่อไม่มีน้ำไหลชะล้างก็จะเป็นดินเหนียวที่เกาะตัวกันเป็นก้อน แต่เมื่อมีน้ำซึมผ่านเข้าไปในรอยแยกระหว่างดิน (fissure) ก็จะทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ของประจุบวกที่เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคดินเหนียว ระบบจึงมีการจัดเรียงตัวใหม่ทำให้เม็ดดินอยู่ในสภาพที่แยกออกจากกัน โดยง่าย ซึ่งเมื่อดินกระจายตัวออกแล้วน้ำก็จะสามารถไหลซึมผ่านเข้าไปในเนื้อดินได้เพิ่มขึ้น จนเกิดกระบวนการกัดเซาะและพัดพาซึ่งก่อให้เกิดปัญหาขึ้น

1.2 ภูมิหลังหรือที่มา ความจำเป็นที่จะต้องศึกษา

ปัญหาจากกระบวนการกัดเซาะนี้อาจจะเกิดอยู่ใต้ดินหรือผิวดิน เมื่อเกิดที่ผิวดินก็จะเห็นเป็นร่องรอยการถูกกัดเซาะอย่างชัดเจน แต่ถ้ากระบวนการกัดเซาะอยู่ใต้ผิวดินก็มักจะก่อให้เกิดปัญหาที่รุนแรงมากกว่า กระบวนการกัดเซาะใต้ดินมักเกิดขึ้นกับโครงสร้างเขื่อนกันดิน โครงสร้างท่อระบายน้ำลอดใต้ถนน ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะต้องรองรับน้ำที่มีแรงดันสูง ถ้าโครงสร้างนั้นมีรอยแยกในดินขนาดเล็กอยู่ จะทำให้น้ำไหลผ่านดินภายใต้แรงดัน ซึ่งจะขยายรอยแยกทำให้น้ำเกิดเป็นช่องทางน้ำไหลขนาดเล็กขึ้น (Piping) เมื่อดินเกิดเป็นโพรงขึ้นแล้วกระบวนการกัดเซาะก็จะทวีความรุนแรงขึ้นทำให้เกิดโพรงขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 1-3 และเกิดการพังทลายของเขื่อนกันดินตามมา ดังกรณีศึกษาจากเขื่อนลำสาข เขื่อนลำเชิงไกร และเขื่อนลำมูลบน ซึ่งได้รายงานไว้โดย นภคล วรรณศิลป์ และคณะ (2544) และการกัดเซาะโดยน้ำจนเกิดโพรงขนาดใหญ่ใต้คันทางรถไฟโดย วันชัย เทพรัักษ์ และคณะ (2547)



รูปที่ 1-3 การถูกกัดเซาะโดยน้ำจนเกิดโพรงขนาดใหญ่ใต้คันทางรถไฟ ข้างเขื่อนลำตะคอง (วันชัย เทพรัักษ์ และคณะ, 2553)

ปัญหาอีกประการหนึ่งซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากการกัดเซาะของดินก็คือการสะสมของตะกอนที่ก้นอ่างเก็บน้ำ ซึ่งดินที่ถูกน้ำกัดเซาะจะไหลลงสู่ที่ต่ำกว่านั้นก็คือบริเวณที่ใช้กักเก็บน้ำ

นั่นเอง เมื่อตะกอนสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ปริมาณน้ำที่กักเก็บได้ลดลง ทำให้มีน้ำไม่เพียงพอต่อการอุปโภคบริโภคในฤดูแล้ง

ซึ่งถ้าได้มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของและพฤติกรรมของดินพังก่าย และดินเหนียวกระจายตัว ให้ละเอียดลึกซึ้งแล้ว ก็จะนำไปสู่แนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งจะสามารถลดความสูญเสียเนื่องจากการซำรุดของโครงสร้างที่ใช้กักเก็บน้ำ อีกทั้งยังสามารถช่วยลดปริมาณตะกอนที่ถูกระล้างและถูกพัดพาไปทับถมอันจะทำให้ได้ปริมาณน้ำกักเก็บไม่ลดลงตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างกักเก็บน้ำ

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- ศึกษารูปแบบและลักษณะของปัญหาเนื่องจากการถูกกัดเซาะ โดยน้ำของโครงสร้างดินที่สร้างขึ้นจากดินเหนียวกระจายตัว
- ศึกษาคุณสมบัติและพฤติกรรมของดินเหนียวกระจายตัว (Dispersive clay) ที่เกิดในพื้นที่ซึ่งประสบปัญหา
- ศึกษาถึงการใช้ปูนขาวในการเพิ่มเสถียรภาพการต้านทานการถูกกัดเซาะโดยน้ำของดินเหนียวกระจายตัวในพื้นที่ประสบปัญหา

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการศึกษาคุณสมบัติและพฤติกรรมของดินเหนียวที่เกิดปัญหาการถูกกัดเซาะอย่างรุนแรงในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งตั้งอยู่ในตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยการวิจัยศึกษาถึงพฤติกรรมการถูกกัดเซาะของดินเหนียวกระจายตัวโดยน้ำที่มีคุณลักษณะเทียบเท่าน้ำฝนซึ่งเป็นตัวกลางการกัดเซาะ ส่วนวิธีการเพิ่มเสถียรภาพความต้านทานการถูกกัดเซาะใช้ปูนขาวชนิด Calcium oxide

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อกลุ่มเป้าหมายได้แก่ เกษตรกรหรือประชาชนทั่วไปที่ก่อสร้างโครงสร้างดิน เช่น คันดินถม ลาดดินบ่อเก็บน้ำ ในดินเหนียวกระจายตัว ที่อาจเกิดการกัดเซาะจนโครงสร้างดินใช้งานไม่ได้

อีกทั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต เนื่องจากความรู้จากการวิจัย ช่วยให้การบำรุงรักษาและยืดอายุการใช้งานโครงสร้างดินที่สร้างในดินเหนียวกระจายตัว

และงานวิจัยนี้ยังเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยเกี่ยวกับดินเหนียวกระจายตัวต่อไป

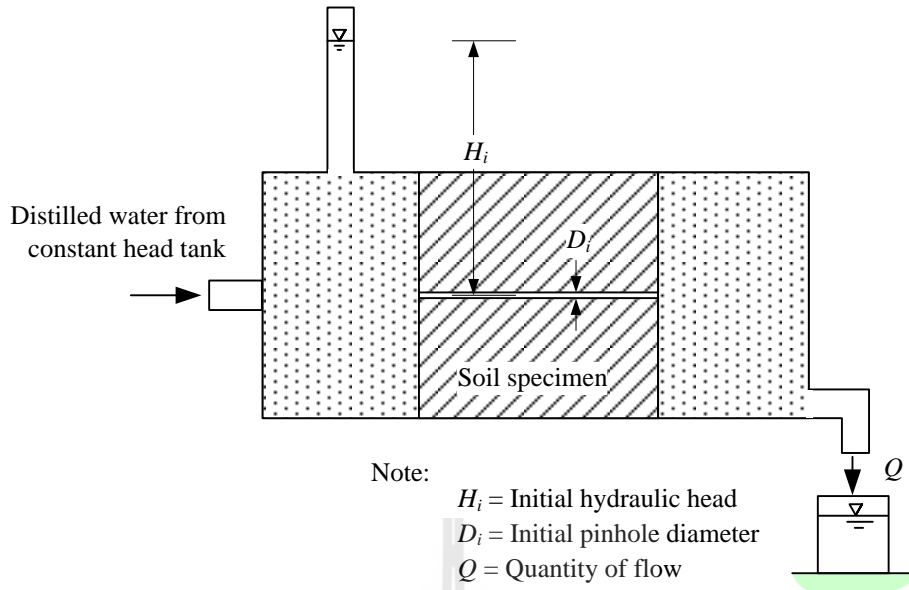


บทที่ 2

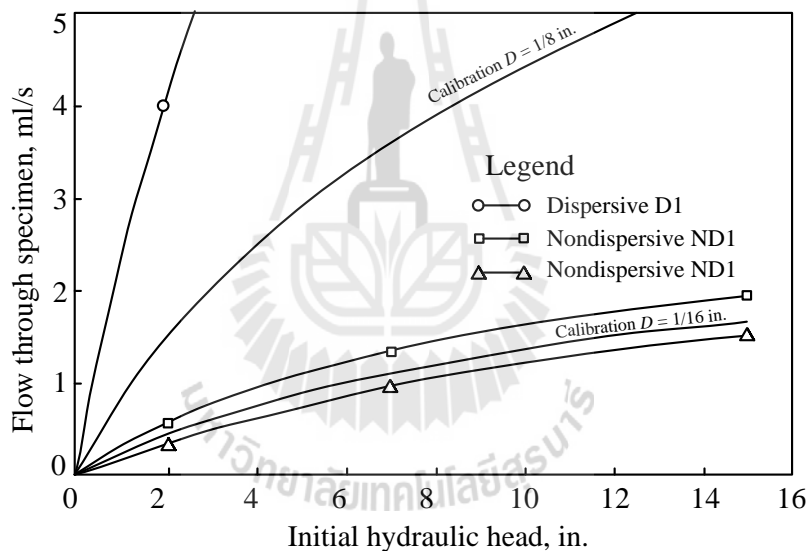
การทบทวนวรรณกรรมสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาดินเหนียวกระจายตัวได้มีการศึกษาโดยผู้วิจัยหลายท่าน ได้แก่ (Gibb 1962, Mitchell 1976, Forsythe 1977, Ryker 1977, McDaniel and Decker 1979, Tosun 1997) ซึ่งรายงานว่าดินเหนียวบางชนิดมีโครงสร้างที่ไม่คงตัว และมีการกระจายตัวง่าย ซึ่งทำให้ถูกกัดเซาะง่ายด้วย ซึ่งเมื่อถูกน้ำกัดเซาะแล้วจะทำให้เกิดปัญหาคันดินถูกกัดเซาะ ตัวอย่างการวิบัติที่พบได้แก่ การวิบัติของคันดินเหนียวเพื่อใช้ป้องกันน้ำท่วมเนื่องจากการกัดเซาะของน้ำฝน และการวิบัติของเขื่อนเนื่องจากการไหลของน้ำผ่านผ่านตาน้ำขนาดใหญ่ใต้เขื่อน (tunneling) ซึ่งหลายกรณีของการวิบัติเกิดขึ้นกับเขื่อนที่ก่อสร้างอย่างดี ระดับกักเก็บน้ำไม่สูงนัก และใช้วัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน

กรณีศึกษาดินจะประกอบไปด้วยดินเหนียวกระจายตัวซึ่งจะกระจายเป็นสารแขวนลอยเมื่อมีน้ำไหลผ่าน ซึ่งการวิบัติของโครงสร้างส่วนใหญ่จะเกิดจากการที่น้ำดินที่มีความเป็นพลาสติกต่ำถึงปานกลาง (CL, CL-CH) ที่มีแร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ซึ่งการไหลของน้ำผ่านตาน้ำนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อบรรจุน้ำลงในเขื่อนหรือเพิ่มระดับน้ำในเขื่อนให้สูงขึ้น ซึ่งตาน้ำจะเกิดขึ้นเนื่องจากรอยแยกหรือรอยแตกเล็กๆ ในเนื้อดินซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นของการกัดเซาะ โดยน้ำให้ขยายเป็นตาน้ำที่ใหญ่ขึ้นต่อไป การจำแนกดินว่าเป็นดินเหนียวกระจายตัวหรือไม่จะใช้วิธีทดสอบแบบ pinhole (รูปที่ 2-1) วิธีนี้จะทำการทดสอบ โดยปล่อยให้ น้ำกลั่น ไหลผ่านรูกลมซึ่งเจาะลงในดินตัวอย่างที่บดอัดแล้ว ถ้าดินเป็นดินเหนียวกระจายตัว น้ำที่ไหลผ่านรูที่เจาะไว้ในดินจะไหลออกมาเป็นสีของดิน และรูที่น้ำไหลผ่านจะขยายใหญ่ขึ้นทำให้อัตราการไหลสูง ถ้าเป็นกรณีของดินเหนียวไม่กระจายตัว น้ำที่ไหลผ่านรูที่เจาะไว้จะใสและรูที่เจาะไว้ไม่ถูกกัดเซาะ อัตราการไหลก็จะไม่สูง ซึ่งตัวอย่างผลการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ Pinhole (EM1110-2-1906 1980)



รูปที่ 2-2 ผลการทดสอบ Pinhole ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้จำแนกการกระจายตัว (EM1110-2-1906 1980)

การทดสอบในห้องปฏิบัติการอีกวิธีหนึ่งก็คือการทดสอบ Double hydrometer ซึ่งวิธีการทดสอบจะเหมือนกับการจำแนกดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ปกติ การทดสอบแบ่งเป็นสองตัวอย่าง โดยตัวอย่างแรกจะใส่สารที่ทำให้ดินกระจายตัว ส่วนตัวอย่างที่สองไม่ใส่สารที่ทำให้ดินกระจายตัว ผลการทดสอบจะเป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่ละเอียดกว่า 5 ไมครอนของทั้งสองการทดสอบดังสมการ

$$\text{Dispersion value} = \frac{\text{Particle smaller than } 5 \mu\text{m (with dispersing agent)}}{\text{Particle smaller than } 5 \mu\text{m (without dispersing agent)}} \quad (2.1)$$

ถ้าสัดส่วนที่ได้มีค่ามากแสดงว่าดินมีโอกาสที่จะเป็นดินกระจายตัว และถ้าสัดส่วนที่ได้มีค่ามากกว่า 20-25 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าดินมีปัญหาการกระจายตัวอย่างมาก และถ้าสัดส่วนที่ได้มีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าดินอาจจะมีปัญหาเรื่องการถูกกัดเซาะอย่างรุนแรง

ปัญหาดินเหนียวกระจายตัวในประเทศไทยมักพบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้ได้แก่ Udomchoke (1989), Thitimakorn (1994), และ Kornsilpa (1993) ซึ่งได้ศึกษาถึงดินที่มีปัญหาทางวิศวกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แล้วจำแนกได้เป็น 4 ประเภทคือ ดินยุบตัว (collapsible soil) ดินพังง่าย (Erodible soil) ดินกระจายตัว (Dispersive soil) และดินเหนียวแยกตัว (Slaking soil) ปัญหาที่พบบ่อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากดินกระจายตัว ซึ่งดินกระจายตัวนี้เกิดจากดินที่สลายตัวมาจากหินที่อยู่ในบริเวณที่ต่ำ โดยดินจะกระจายตัวออกแล้วถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำอย่างช้าๆจนเป็นโพรงขนาดใหญ่ในเนื้อดิน ซึ่งปัญหานี้เกิดจากโครงสร้างของอนุภาคดินเหนียวกระจายออกจากกันเมื่อมีน้ำซึมเข้าสู่ช่องว่างของเนื้อดิน ปัญหานี้จะก่อให้เกิดปัญหาด้านวิศวกรรมโยธา ต่องานเขื่อน ฝายกั้นน้ำ คันคลองชลประทาน สระน้ำ และบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งใช้ดินชนิดนี้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง โครงการก่อสร้างที่เกิดปัญหานี้ขึ้นได้แก่ ท่ามูลบนเขื่อนลำสาย เขื่อนลำซุง ไกร ซึ่งเป็นเขื่อนที่ใช้ดินเหนียวกระจายตัวเป็นวัสดุก่อสร้าง

2.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินเหนียวกระจายตัว

USDA (1991) อธิบายว่าดินเหนียวปกติจะมีการยึดเกาะกันเป็นก้อนเนื่องจากแรงดูดทางไฟฟ้าเคมีของอนุภาคดินและน้ำ แคลไออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีมากในดิน ความสมดุลทางเคมีไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดูดระหว่างอนุภาคดินสูงซึ่งทำให้ดินเหนียวปกติเป็นดินที่ไม่ถูกกัดเซาะง่าย แต่สำหรับในดินเหนียวกระจายตัว น้ำในดินจะมีปริมาณไอออนของโซเดียมเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากประจุโซเดียมนั้นมีเพียงประจุบวกเดียวซึ่งแตกต่างกับแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีสองประจุบวก ทำให้เกิดความไม่สมดุลของชั้นอนุภาคของดินจึงเกิดแรงผลักมากกว่าแรงดูด ดินเหนียวกระจายตัวจึงแยกเป็นอนุภาคเดี่ยวและไม่เกาะกันเป็นก้อนเหมือนดินเหนียวทั่วไป เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวนั้นเล็กมากและมีมวลน้อยจึงหลุดออกจากก้อนดินเหนียวรวมได้ง่ายและไหลไปกับน้ำที่ไหลผ่าน ซึ่งเป็นเหตุผลที่ดินประเภทนี้มีความต้านทานต่อการกัดเซาะที่ต่ำ ดินเหนียวกระจายตัวนั้นจะต้านทานการ

ถูกกัดเซาะได้ไม่ดีเท่า ซิลต์ และ ทราย เนื่องจากมวลของอนุภาคดินเหนียวที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ ซิลต์ และทรายดินเหนียวกระจายตัวจะถูกกัดเซาะโดยน้ำที่มีความเข้มข้นของไอออนต่ำได้ง่าย ซึ่งน้ำประเภทนี้ได้แก่น้ำฝน

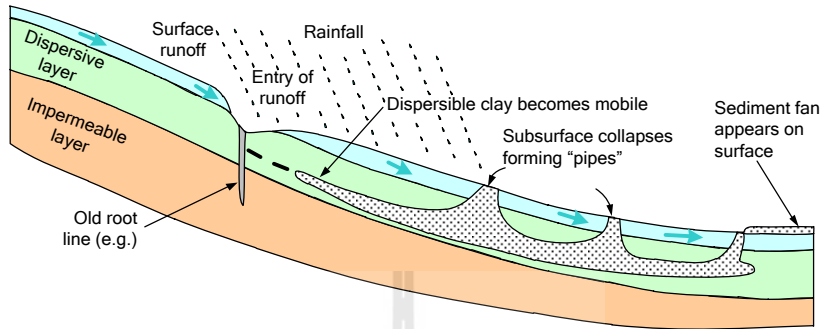
2.2 ปัญหาการกัดเซาะของดิน

ดินส่วนใหญ่จะเป็นดินเหนียวซึ่งมีคุณสมบัติการกระจายตัวในน้ำ โดยกลไกเกิดจากการซึมของน้ำเข้าไปในโครงสร้างของเม็ดดินเหนียวแต่จากความไม่สมดุลของประจุบวกที่เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคดินเหนียวเหล่านั้นทำให้โครงสร้างของอนุภาคดินเหนียวนั้นจัดเรียงตัวอยู่ในสภาพที่แยกออกจากกันได้โดยง่ายเพียงมีน้ำซึมเข้าไปบรรจุจนเต็มช่องว่างของดินเท่านั้น ด้วยเหตุนี้เมื่อมีน้ำสะอาดที่ไม่มีประจุ (deionized) เช่นน้ำฝนซึมเข้าไปในดินที่มีดินเหนียวชนิดนี้เป็นองค์ประกอบ จึงเกิดการกระจายของดินเหนียวและถูกพัดพาไปตามกระแสที่ละน้อย เมื่อมีน้ำไหลแรงการกัดเซาะยิ่งเกิดรุนแรงขึ้น จนกระทั่งเป็นโพรงขนาดใหญ่ การพังทลายจึงเกิดขึ้น จนอาจเป็นผลให้เกิดความเสียหายหรือแม้แต่อาจทำให้เกิดการวิบัติได้

Sherard, R. et al. (1976) กล่าวว่าไว้ว่าปัญหาดินเหนียวกระจายตัวเริ่มขึ้นในการศึกษาการวิบัติของเขื่อนดินเหนียวในระหว่างปี ค.ศ. 1960 และบทบาทของดินเหนียวโซเดียมต่อการกัดเซาะโครงสร้างเริ่มมีการตระหนักถึงมากขึ้น Crouch (1976) รายงานการกัดเซาะการเกิดเป็นโพรงเกิดขึ้นในดินที่มีโซเดียมในปริมาณสูง แต่ในบางที่ก็มีดินที่เป็นดินกระจายตัวแต่ไม่มีเกิดการกัดเซาะจนเป็นโพรง

Lynn and Eyles (1984) รายงานว่าการกัดเซาะเป็นโพรงในนิวซีแลนด์เกิดขึ้นเมื่อผิวดินมีความชัน 16-25 องศา Schafer and B. (1981) ได้ระบุว่าหากส่วนบนของโพรงพังลงมา จะทำให้เกิดการกัดเซาะแบบอุโมงค์ผสมกับร่องน้ำ (Tunnel-gully erosion) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดเซาะต่อเนื่องจนเป็นโพรงนั้นได้รายงานไว้โดย Crouch (1976) ซึ่งอธิบายขั้นตอนการเกิดการกัดเซาะแบบโพรงอุโมงค์ไว้ว่าเกิดจากการแตกของผิวดินเหนียวเนื่องจากการสูญเสียในดิน เมื่อได้รับน้ำเกิดการแทรกตัวของน้ำอย่างรวดเร็วลงในรอยแตกที่ผิวทำให้ดินข้างใต้มีน้ำเกินกว่าจุดอิ่มตัว ดินเหนียวกระจายตัวที่มีปริมาณน้ำเกินกว่าจุดอิ่มตัวจะเกิดการกระจายตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอนุภาคดินเนื่องจากแรงดันเนื่องจากการไหล ก่อให้เกิดร่องการไหลใต้ผิวดิน เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของการไหลผ่านเพิ่มขึ้นทำให้โพรงถูกกัดเซาะจนมีขนาดใหญ่ และอาจเชื่อมต่อกับโพรงอื่นๆ ซึ่งขนาดของโพรงนั้นถูกจำกัดโดยกำลังของดินส่วนที่อยู่เหนือโพรง ถ้าดินส่วนนี้รับน้ำหนักของโพรงไม่ไหวก็จะพังทลายลงและเกิดเป็นร่องน้ำขึ้น ซึ่งการขยายตัวของทางเข้าและทางออกของน้ำมักเริ่มจากรูเล็กๆที่เกิดขึ้นได้

รอยแตกใต้ผิวดิน เมื่อเกิดการพังทลายต่อเนื่องอาจทำให้ทางไหลเข้าของน้ำขยายใหญ่ขึ้นดังรูปที่ 2-3 สำหรับการเกิด slaking หรือการแตกของมวลดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.05 มิลลิเมตร เมื่อดินสัมผัสกับน้ำ อาจเกิดการบวมตัวที่ไม่เท่ากันผนวกกับอากาศที่ถูกกักอยู่ในมวลดิน อนุภาคของดินอาจเข้าไปอุดช่องว่างของดินไม่เกิดการกัดเซาะเป็นโพรงได้

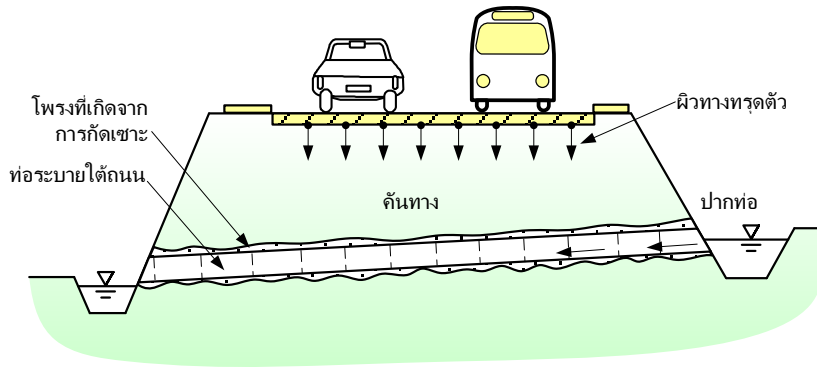


รูปที่ 2-3 กระบวนการกัดเซาะจนเป็นอุโมงค์ (Vacher, R. et al. 2004)

Crouch (1976) ยังได้ศึกษาการเกิดการกัดเซาะเป็นโพรงทั่วโลก พบว่าการกัดเซาะเป็นโพรงเกิดขึ้นได้ในทุกสภาพอากาศ ซึ่งชนิดของดินก็มีความหลากหลายตั้งแต่ Duplex/Texture contrast จนกระทั่ง Silty loess แต่ชนิดของดินไม่เป็นตัวแปร การกัดเซาะเป็นโพรงเกิดมากขึ้นในดินที่มี Montmorillonite และ Kaolinite เป็นองค์ประกอบ

2.3 การคำนวณปริมาณดินที่ถูกกัดเซาะแบบอุโมงค์

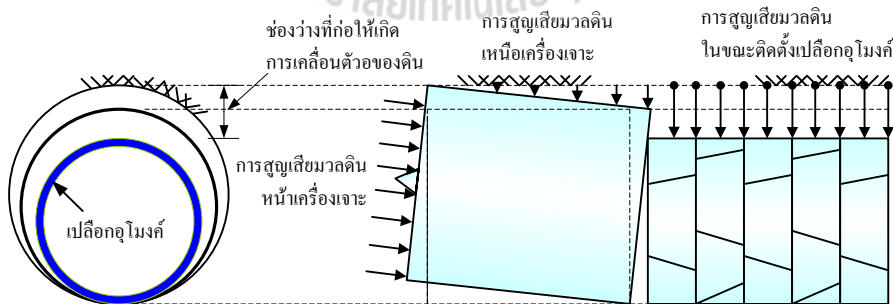
ในการการเกิดการกัดเซาะแบบอุโมงค์รอบท่อระบายน้ำนั้นเกิดเนื่องจากดินรอบท่อระบายน้ำไหลไปกับกรกัดเซาะ ซึ่งมีผลทำให้ผิวดินที่อยู่เหนือท่อเกิดการทรุดตัว โดยมีแนวคิดว่ากรกัดเซาะดังรูปที่ 2-4 ซึ่งเห็นได้ว่าดินรอบท่อที่ฝังอยู่ในคันทางมีโอกาสถูกกัดเซาะเนื่องจากการรั่วซึมผ่านรอยต่อของท่อหรือเกิดจากการไหลผ่านเข้าทางปากท่อระบายน้ำ และเมื่อน้ำฝนไหลผ่านท่อในปริมาณสูงทำให้ดินรอบท่อถูกพัดพาไหลมากับน้ำ อันก่อให้เกิดโพรงขึ้นรอบท่อเมื่อโพรงขยายขนาดใหญ่ขึ้นดินที่อยู่รอบท่อจึงเคลื่อนตัวเข้าสู่โพรงทำให้เกิดการทรุดตัวของดินเหนือท่อขึ้น



รูปที่ 2-4 สมมุติฐานการทรุดตัวของผิวทางเนื่องจากดินรอบท่อถูกกัดเซาะโดยน้ำ

เมื่อพิจารณาปัญหาการถูกกัดเซาะของดินรอบท่อระบายน้ำใต้คั่นทางจะมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์ที่เสนอโดย Peck (1969) โดยในงานวิศวกรรมอุโมงค์นั้นได้มีการนำเอา Normal distribution function มาใช้ประมาณการทรุดตัวของผิวดิน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองนำเอา Normal distribution function มาใช้ประมาณการทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากการถูกกัดเซาะของดินรอบท่อระบายน้ำภายใต้คั่นทาง

ในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่องเจาะนั้น จะเกิดช่องว่างระหว่างผนังอุโมงค์และดินในบริเวณรอบๆ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเทคนิคการก่อสร้างดังรูปที่ 2-5 ในการก่อสร้างจะทำการอัดน้ำปูนเข้าไปในช่องว่างเพื่อลดปริมาณดินที่จะไหลเข้ามาในช่องว่างนี้ โดยปกติแล้วการอัดค้ำน้ำปูนจะไม่ได้กระทำในทันที ซึ่งทำให้ดินบริเวณเหนืออุโมงค์เคลื่อนที่เข้าสู่ช่องว่างทำให้เกิดการทรุดตัวของผิวดินขึ้น จากปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์นั้นมีความคล้ายคลึงกับการทรุดตัวของผิวทางเนื่องจากการถูกกัดเซาะของดินรอบท่อที่ฝังในดินคั่นทาง



รูปที่ 2-5 ช่องว่างระหว่างดินกับหัวเจาะอุโมงค์ซึ่งก่อให้เกิดการทรุดตัวของผิวดินเหนืออุโมงค์ (Peck 1969)

ปริมาณการทรุดตัวของผิวดินเหนือท่อระบายน้ำนั้นแสดงด้วย Normal distribution function หรือ probability curve โดยนิยามปริมาณการทรุดตัวของผิวดิน ที่ระยะ ใดๆ ดังสมการ

$$S = S_{\max} \exp(-x^2 / 2i^2) \quad (2.2)$$

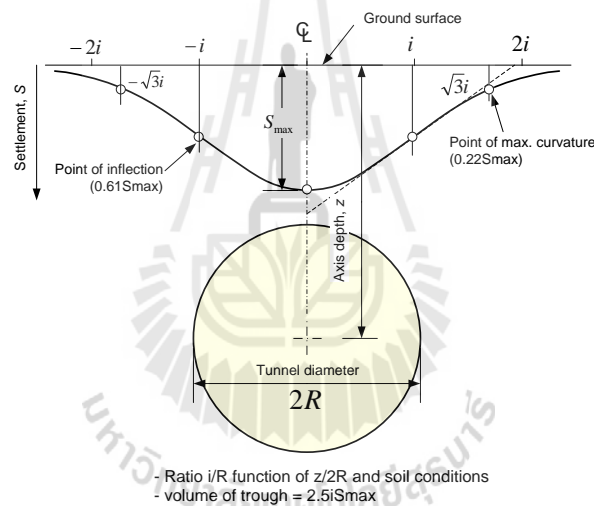
เมื่อ S คือปริมาณการทรุดตัวของผิวดิน ที่ระยะ ใดๆ จากศูนย์กลางของแนวอุโมงค์

คือ S_{\max} คือปริมาณการทรุดตัวมากที่สุดที่ศูนย์กลางของอุโมงค์

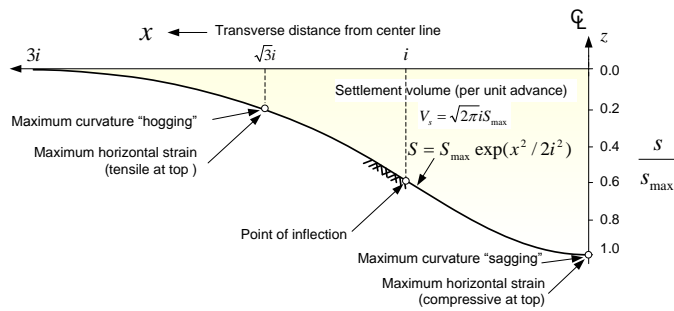
คือ x คือระยะทางตามขวางในแนวราบจากศูนย์กลางของอุโมงค์

คือ i คือระยะจากกึ่งกลางของแนวอุโมงค์ถึงจุดที่เปลี่ยนความโค้ง (Inflexion point)

จากสมการที่ 1 เมื่อระยะ x เท่ากับศูนย์ หรือที่กึ่งกลางแนวอุโมงค์ เกิดค่าทรุดตัวมากที่สุด โดยรูปร่างและลักษณะของแนวทรุดตัวของผิวดินจากการวางอุโมงค์ ดังรูปที่ 2-6 และรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-6 การประมาณการทรุดของผิวดินเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์ (Peck 1969)



รูปที่ 2-7 การทรุดตัวที่ผิวดินเนื่องจากการวางอุโมงค์ในดินเหนียวแบบสมมาตร (Peck 1969)

สำหรับปริมาณของผิวดินที่หายไปเนื่องจากการทรุดตัว คำนวณได้จากค่าการทรุดตัวมากที่สุดที่กึ่งกลางแนวอุโมงค์ พิจารณาจากกรณีการอินทิเกรตสมการที่ 1 ดังนี้

$$\begin{aligned}
 V_s &= \int_{-\infty}^{\infty} S dx \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} S_{\max} \exp(-x^2 / 2i^2) dx \\
 &= \sqrt{2\pi} i S_{\max} \approx 2.5 i S_{\max}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

คือ ปริมาณของดินที่ทรุดตัวต่อหนึ่งหน่วยเมตร

จากผลการสำรวจการทรุดตัวที่ผิวดินเราสามารถคำนวณเป็นปริมาณดินที่ยุบตัวลงไปเป็น และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณดินที่หายไปได้จากสมการ

$$\text{Ground loss}(\%) = \frac{V_s}{V_{\text{theoretical}}} \times 100
 \tag{2.4}$$

$V_{\text{theoretical}}$ คือปริมาณของท่อซึ่งเป็นผลรวมของพื้นที่หน้าตัดท่อระบายน้ำที่พิจารณา

ดังนั้นจึงสามารถประมาณค่า S_{\max} ได้จากสมการนี้ แต่ในการศึกษานี้ยังมีข้อมูล Ground loss ไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้สมการ Normal distribution function เพื่อหาโค้งการทรุดตัวโดยใช้ค่า S_{\max} เท่ากับค่าการทรุดตัวสูงสุดที่วัดได้จริงในสนาม

ในการใช้วิธีของ (Peck 1969) เพื่อประมาณการทรุดตัวของอุโมงค์นั้น มีความแตกต่างจากวิธีการคำนวณอุโมงค์เดี่ยวเนื่องจาก ในกรณีของท่อลอดจำนวน 2 ท่อหรือ 3 ท่อนั้น เนื้อดินจะหายไปเนื่องจากการกัดเซาะภายในครั้งเดียวพร้อมๆกัน การประมาณการทรุดตัวจึงประมาณโดยสมมุติให้ผลที่ได้เสมือนเกิดจากท่อเพียงท่อเดียว โดยเส้นผ่านศูนย์กลางท่อคู่ประมาณได้จากสมการ

$$R' = R + \frac{d}{2} \quad (2.5)$$

2.4 การทดสอบการกระจายตัวของดินเหนียวเชิงเคมี

Sherard, R. et al. (1976) ได้กล่าวว่าดินเม็ดละเอียดบางชนิดจัดเป็นดินเหนียวกระจายตัวซึ่งน้ำในดินมีปริมาณโซเดียมสูงกว่าดินทั่วไป ทำให้การกัดเซาะเป็นอุโมงค์และพังเป็นร่องน้ำอย่างรวดเร็ว สาเหตุเกิดจากการที่อนุภาคดินเหนียวถูกกัดเซาะและพัดพาไปกับน้ำที่มีความเร็วในการไหลต่ำ การกัดเซาะทำให้เขื่อนดิน, ล้ำคลอง, และโครงสร้างอื่นที่ทำจากดินชำรุดเสียหาย การทดสอบทั่วไปที่ใช้ทดสอบดินทางปฐพีกลศาสตร์ไม่สามารถจำแนกดินกระจายตัวได้ Sherard, R. et al. (1976) ได้เสนอวิธีทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อจำแนกดินเหนียวกระจายตัว พบว่าดินที่มีโซเดียมอยู่ในน้ำเป็นปริมาณสูงเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการกระจายตัว แต่มีข้อยกเว้นในบางกรณีที่ดินมีปริมาณโซเดียมต่ำแต่ก็ยังจัดเป็นดินกระจายตัวได้ การทดสอบเชิงเคมีเพื่อจำแนกดินเหนียวกระจายตัวเป็นการสกัดเอาไอออนของโซเดียม, แมกนีเซียม, โพแทสเซียม, และแคลเซียม เพื่อมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer ซึ่งวัดเป็นปริมาณ milliequivalent ต่อลิตร การตีความผลการทดสอบใช้วิธีเชิงประสบการณ์ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบกับการกัดเซาะที่เกิดขึ้นจริงในสนามดังรูปที่ 2-8 โดยที่เปอร์เซ็นต์โซเดียมคำนวณจากสมการ

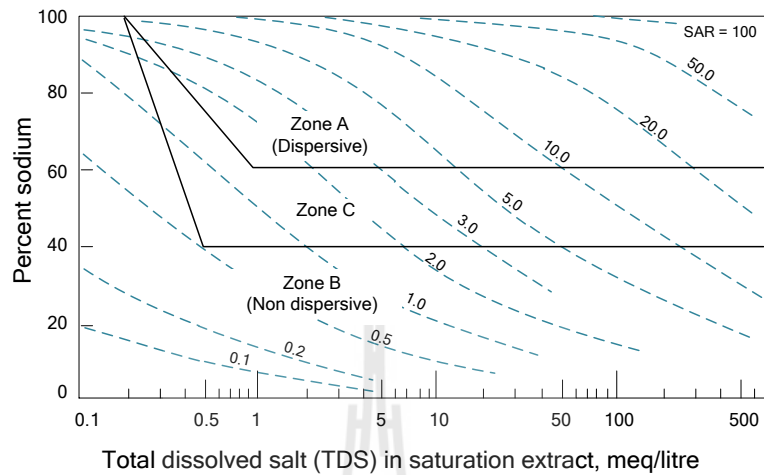
$$\text{Percent Sodium} = \frac{\text{Na} (100)}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}} \quad (2.6)$$

และ SAR คำนวณจากสมการ

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{0.5(\text{Ca} + \text{Mg})}} \quad (2.7)$$

โดยค่าทั้งหมดมีหน่วยเป็น meq/liter

ความสัมพันธ์เชิงประสพการณ์ข้างต้นนั้นมีความเชื่อมั่นในการจำแนกดินกระจายตัวอยู่ที่ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิธีจำแนกดินเหนียวกระจายตัวที่มีความเชื่อมั่นสูงสุดได้แก่การทดสอบ pinhole (Sherard, R. et al. 1976)



รูปที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมในดินกับการกระจายตัว (Sherard, R. et al. 1976)

2.5 การลดการกระจายตัวของดินด้วยปูนขาว

ในการลดการกระจายตัวของดิน Ouhadi and Goodarzi (2006) ได้ใช้ Alum (Aluminium sulfate) ในการปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัว ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการใช้ Aluminium sulfate 1.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลดการกระจายตัวของดินได้อย่างชัดเจน และยังทำให้ค่า pH ของ dispersive bentonite ลดลงด้วย

สมเจตน์ ถิ่นนคร (2546) ได้เสนอวิธีการปรับปรุงด้วย hydrated lime ซึ่งให้เกิด Cation exchange ทำให้โซเดียมไอออนในดินถูกแทนที่ด้วยแคลเซียมไอออน ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคดินเหนียวจนไม่ไหลไปกับตัวกลางพืดพา อันทำให้ลดการกระจายตัวของดินลงได้ ส่วนการใช้ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมไอออนบนผิวอนุภาคดินเหนียวเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสมดุขของประจุทำให้ดินมีลักษณะเป็น flocculated structure และดินไม่กระจายตัว แต่ต้องเติมอยู่บ่อยๆ เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์ละลายไปกับน้ำได้

Vacher, R. et al. (2004) ได้เสนอวิธีการปรับปรุงดินให้มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเพื่อลดการโดยได้มีการทดลองใช้ยิปซัมในปริมาณ 5, 10, 20 t/ha ผสมกับในดินเพื่อกำจัด exchangeable sodium ให้ออกไปจากดิน ผลการทดสอบพบว่ายิปซัมจะเพิ่มเสถียรภาพให้กับดินไม่มากนักถ้าดินเป็นดินที่มีปริมาณดินเหนียวน้อย

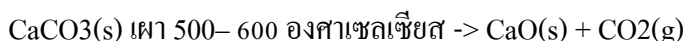
วรากร ไม้เรียง (2542) ได้รายงานการสาเหตุของการวิบัติของเขื่อนมูลบน อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งสาเหตุประการหนึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการกัดเซาะใต้ฐานรากเขื่อน เนื่องจากเขื่อนไม่มีร่องแกน มีเพียงแต่ใช้ลาดเขื่อนทางด้านเหนือน้ำทำหน้าที่ยึดทางเดินของน้ำออกไป ค่าก่อสร้างตัวเขื่อนก่อนการวิบัติคือ 150 ล้านบาท ซึ่งเมื่อเขื่อนเกิดการวิบัติแล้วต้องใช้งบประมาณซ่อมแซมถึง 300 ล้านบาท ซึ่งนับเป็นการสูญเสียทั้งงบประมาณ และโอกาสที่จะได้ใช้งานเขื่อนได้ตามที่ออกแบบไว้ ในการซ่อมแซมได้ใช้ปูนขาวผสมในดินบดอัดเพื่อให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปแทนที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ในดินทำให้การกระจายตัวของดินลดลง และได้ใช้ทรายและกรวดปูที่ผิวของคันเขื่อนเพื่อรองไม่ให้เมื่อดินถูกกัดเซาะออกจากตัวเขื่อนได้

วันชัย เทพรัศม์ และคณะ (2553) ได้รายงานว่าดินคันทางรถไฟริมเขื่อนลำตะคองจากสถานีคลองขนานจิตมายังสถานีปากช่องได้ ประสบปัญหาด้านเสถียรภาพคันทางทุกๆปี เนื่องมาจากคันทางรถไฟนี้ได้ก่อสร้างกันร่องน้ำบริเวณหุบเขาก่อนที่จะไหลลงสู่เขื่อนลำตะคอง ซึ่งคันทางดังกล่าวมีลักษณะเหมือนเขื่อนกั้นน้ำซึ่งระดับน้ำข้างคันทางรถไฟด้านหนึ่งจะสูงกว่าทำให้มีการไหลซึมผ่านของน้ำผ่านคันทาง ปัญหาที่เกิดขึ้นเกิดเนื่องจากดินที่นำมาก่อสร้างคันทางเป็นดินเหนียวกระจายตัว (Dispersive clay) ซึ่งเมื่อน้ำไหลผ่านคันทางแล้วทำให้เกิดการกระจายตัวของดินและไหลไปกับน้ำที่ไหลผ่านคันทางรถไฟ ทำให้เกิดโพรงหลายจุดใต้คันทางรถไฟทำให้คันทางเกิดการยุบตัว ซึ่งการแก้ไขได้ทำการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ (slurry wall) เพื่อป้องกันมิให้ไหลผ่านดินคันทาง และได้ใช้วิธีอัดฉีดน้ำปูนลงไปในดินด้วยแรงดันสูง (Jet grouting)

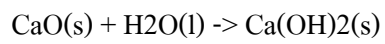
โดยทั่วไปปูนขาวที่มีจำหน่ายมี 3 ชนิดได้แก่ ปูนขาวแคลเซียมออกไซด์, ปูนขาวแคลเซียมไฮดรอกไซด์, และปูนขาวแคลเซียมคาร์บอเนต ในงานวิจัยนี้ทดลองใช้ปูนขาวแคลเซียมออกไซด์เนื่องจากมีแหล่งผลิตอยู่ที่ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งใกล้กับพื้นที่ปัญหาดินเหนียวกระจายตัวในงานวิจัยนี้

การผสมเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่าปูนขาวชนิดอื่น

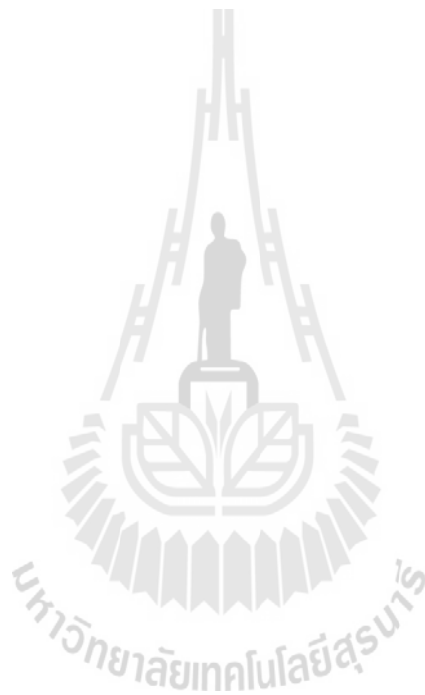
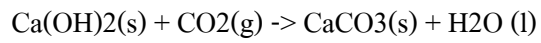
- Calcium oxide (CaO) มีชื่อเรียกว่า burnt lime, lime or quick lime



- Calcium hydroxide มีชื่อเรียกว่า Slaked lime, Garden lime



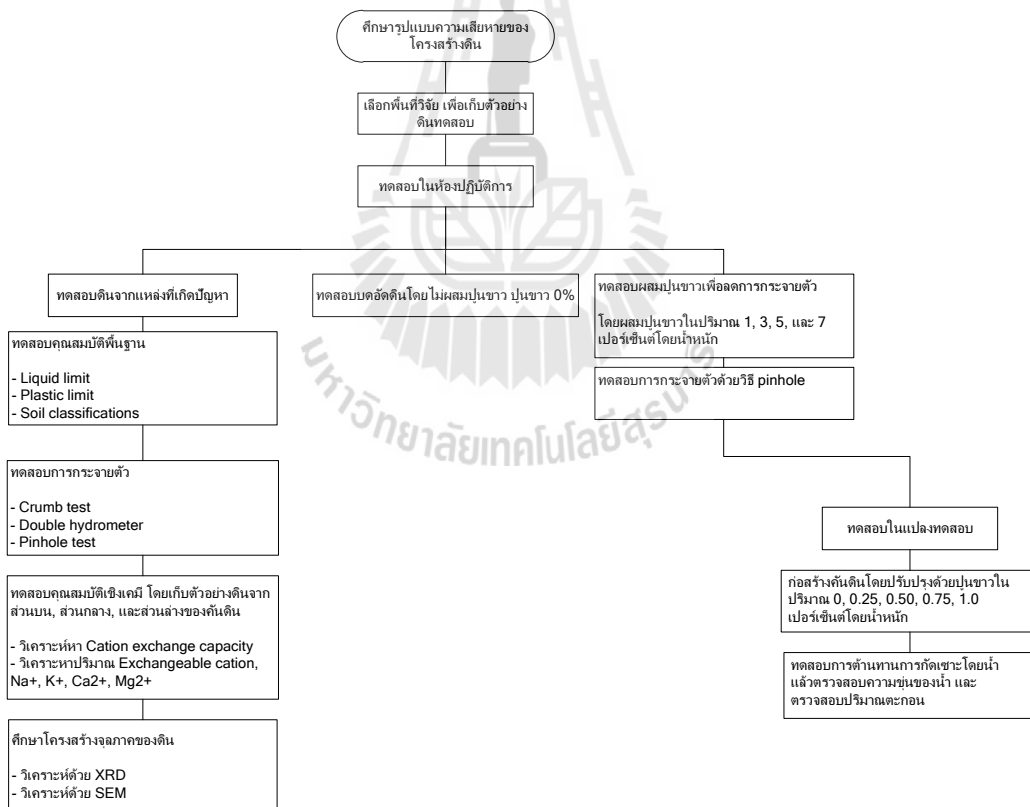
- Calcium carbonate (CaCO₃) คือหินปูน เกิดจากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

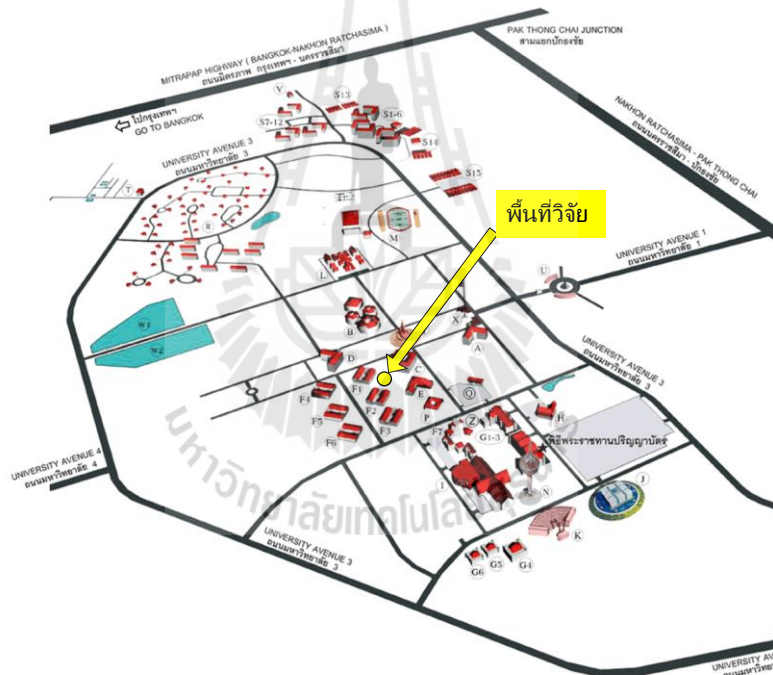
ในการดำเนินการวิจัยสามารถสรุปและเขียนเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 3-1 ซึ่งแบ่งเป็นการศึกษารูปแบบความเสียหายที่เกิดจากการกัดเซาะจากนั้นเลือกพื้นที่ศึกษาและศึกษาโดยการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวกระจายตัวในพื้นที่ศึกษาในห้องปฏิบัติการ และทดสอบปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวเพื่อลดการกัดเซาะ จากนั้นนำผลที่ได้ในห้องปฏิบัติการไปทดสอบปรับปรุงดินในสนามโดยสร้างแปลงทดสอบ



รูปที่ 3-1 แผนผังการดำเนินการวิจัย

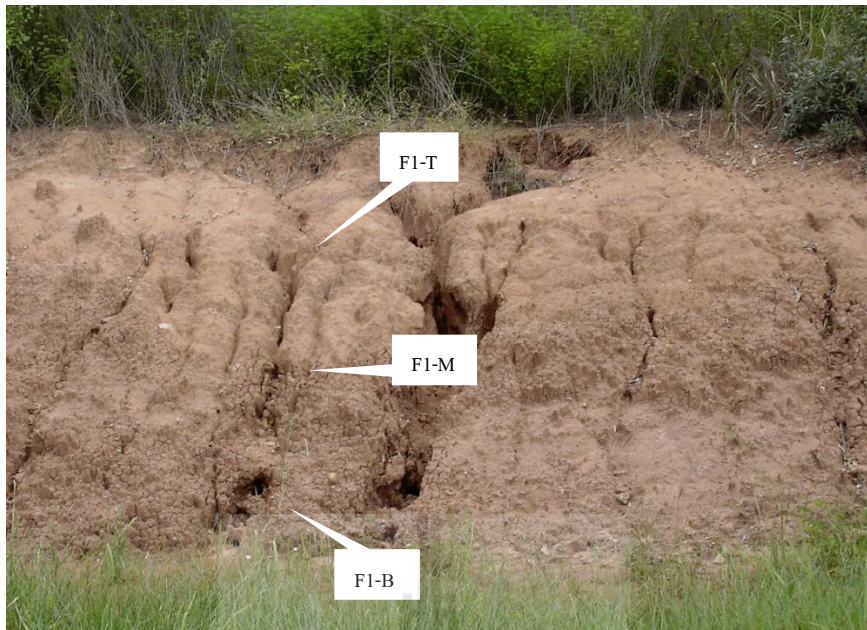
3.1 แหล่งตัวอย่างดิน

แหล่งตัวอย่างดินในการวิจัยเลือกเก็บหลังจากที่ได้สำรวจพื้นที่ซึ่งประสบปัญหาการกัดเซาะซึ่งได้แก่บริเวณที่มีผิวทางเกิดการทรุดตัวเนื่องจากการกัดเซาะรอบท่อลอดใต้คันทางและลาดดินที่ถูกกัดเซาะอย่างรุนแรงโดยพื้นที่สำรวจอยู่ในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีดัง รูปที่ 3-2 การเก็บตัวอย่างเลือกเก็บบริเวณลาดดินที่เกิดการกัดเซาะเนื่องจากสะดวกต่อการเก็บตัวอย่าง รูปที่ 3-3 เป็นตำแหน่งเก็บตัวอย่างโดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานเก็บบริเวณกลางลาดดิน (F1-M) ส่วนในการทดสอบทางเคมีและการศึกษาในระดับจุลภาคเก็บตัวอย่างส่วนบน (F1-T), ส่วนกลาง (F1-M), และส่วนล่าง (F1-B) ของลาดดิน



แผนผังบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3-2 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่วิจัย



รูปที่ 3-3 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างบนลาดดินที่ถูกกัดเซาะรุนแรง

3.2 การทดสอบดิน

ในงานวิจัยได้ทำดำเนินการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน, ทดสอบการกระจายตัวของดิน, และการศึกษาในระดับจุลภาคของดิน

3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน

Atterberg's limits ตามมาตรฐาน ASTM D 4318

Specific gravity ตามมาตรฐาน ASTM D 854

Sieve analysis และ Hydrometer analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 421 และ ASTM D 422 ตามลำดับ

3.2.2 ทดสอบการกระจายตัวของดิน

เนื่องจากวิธีทดสอบตามมาตรฐานทางปฐพีกลศาสตร์ ไม่สามารถแยกดินเหนียวกระจายตัวจากดินเหนียวปกติได้ จึงต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อระบุการกระจายตัวของดินเหนียว

- การทดสอบการกระจายตัวของดินด้วยวิธี Crumb test โดยใช้วิธีของ Raillings (1996) และ Sherard et al. (1976) การทดสอบใช้การหย่อนก้อนดินตัวอย่างขนาด 6 ถึง 10 มิลลิเมตรลงใน

น้ำที่ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วสังเกตปฏิกิริยาหลังจากหย่อนก้อนดินไปแล้ว 5 ถึง 10 นาที ผลการทดสอบเป็นการจำแนกระดับการกระจายตัวดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 เกณฑ์จำแนกการกระจายตัว (Sherard et al., 1976)

ระดับ 1	ไม่มีปฏิกิริยา - ก้อนดินจะคลายและไปรวมที่ก้นบีกเกอร์ในแบบแบนราบ แต่ไม่มีการฟุ้งกระจายเป็นคอลลอยด์
ระดับ 2	มีปฏิกิริยาเล็กน้อย – ฟุ้งกระจายเล็กน้อยที่บริเวณผิวของก้อนดิน (ถ้าการฟุ้งกระจายปรากฏให้เห็นได้ง่ายจำแนกเป็นระดับ 3)
ระดับ 3	มีปฏิกิริยาปานกลาง – ปรากฏเป็นการฟุ้งกระจายแบบกลุ่มหมอกได้ง่าย เห็นเป็นคอลลอยด์แขวนตะกอนในน้ำ และก้อนดินมักแตกกระจายเป็นแนวบางที่ก้นภาชนะ
ระดับ 4	ปฏิกิริยารุนแรง - กลุ่มหมอกคอลลอยด์ปกคลุมทั่วทั้งหมดที่ก้นภาชนะ และมักเป็นผิวบางๆ ในกรณีที่รุนแรงมากน้ำทั้งภาชนะอาจปกคลุมด้วยกลุ่มหมอก

- การทดสอบการกระจายตัวตามมาตรฐาน ASTM D 4221 Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer
- การทดสอบการกระจายตัวตามมาตรฐาน – ASTM D 4647 -06 Standard test method for identification and classification of dispersive clay soils by the pinhole test.

3.2.3 การวิเคราะห์ความจุแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (cation exchange capacity)

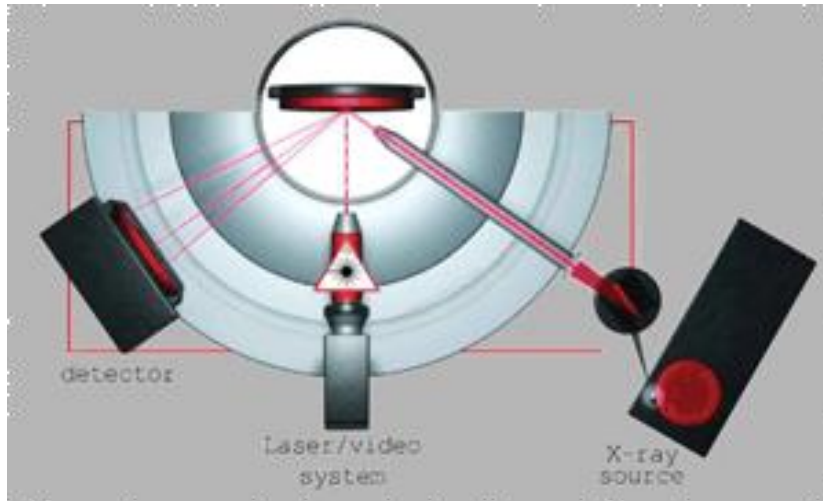
งานวิจัยได้ทำการทดสอบหาความจุในการดูดซับปริมาณ ไอออนบวกบนพื้นผิวของอนุภาคดินเหนียว ของตัวอย่างดินเหนียวกระจายตัวบนดินที่มีปัญหาการถูกกัดเซาะ โดยทดสอบกับดินส่วนบน, ส่วนกลาง, และส่วนล่างของคันดิน โดยปริมาณในการวัดเป็น milliequivalent (me) ต่อ น้ำหนัก 100 กรัมของดินอบแห้ง ปริมาณนี้เป็นความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (cation exchange capacity, CEC) โดยค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกัน โดยค่า CEC แปรผันตามปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่อยู่ในดิน ในการทดสอบหาค่า CEC กระทำโดยการไล่แคตไอออนเดิมที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของดินออกจนหมดด้วยไอออนที่มีประจุชนิดเดียวกันในการวิเคราะห์นี้ใช้ NH_4^+ แล้วหาปริมาณไอออนที่ถูกดูดซับไว้ว่ามีปริมาณเท่าใด โดยทดสอบตามวิธีในคู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี (2528)

3.2.4 การวิเคราะห์แคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable cation)

ดินเหนียวกระจายตัวเป็นดินที่มีไอออนของโซเดียมอยู่ในดินเป็นจำนวนมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ปริมาณแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้โดยใช้วิธีของ Rayment et al. (1992) แคทไอออนส่วนใหญ่ซึ่งจัดว่าเป็นแคทไอออนพื้นฐานได้แก่ K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , และ Na^+ โดยการสกัดไอออนออกมาวิเคราะห์ใช้สารละลายที่มี NH_4^+ เข้าไปแทนที่แคทไอออนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวดิน และนำส่วนที่สกัดออกไปวิเคราะห์หาปริมาณ K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , และ Na^+ โดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (AAS)

3.2.5 การศึกษาดินเหนียวกระจายตัวในระดับจุลภาคด้วยวิธี XRD และ SEM

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาโครงสร้างของดินเหนียวกระจายตัวในระดับจุลภาคโดยใช้วิธี X-ray Diffraction; XRD เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่างดังรูปที่ 3-4 โดยรังสีเอ็กซ์จะเลี้ยวเบนไปตามช่องว่างระหว่างอะตอมภายในผลึกและจะถูกบันทึกค่าแล้วทำการวิเคราะห์ธรรมชาติของโครงสร้างผลึกตัวอย่าง รูปที่ 3-5 เป็นเครื่องมือทดสอบ XRD ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการศึกษาโครงสร้างของดินเหนียวกระจายตัวในระดับจุลภาคโดยใช้การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รูปที่ 3-6 เป็นเครื่องมือ SEM ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ใช้ในการถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวของดินเหนียวกระจายตัวในระดับจุลภาค ซึ่งการถ่ายภาพใช้กำลังขยาย 500 เท่าและกำลังขยาย 20000 เท่า



รูปที่ 3-4 แผนภาพแสดงการทำงานของ XRD



รูปที่ 3-5 เครื่องมือทดสอบ XRD



รูปที่ 3-6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ตรวจสอบพื้นผิวของอนุภาคดิน

3.3 การทดสอบการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพความต้านทานการกัดเซาะ

ในการทดสอบเพิ่มเสถียรภาพความต้านทานการกัดเซาะแบ่งการทดสอบเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และส่วนการทดสอบกับแปลงทดสอบ ในส่วนการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้น ได้ทดลองบดอัดดินโดยไม่ผสมปูนขาวเพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำเหมาะสม จากนั้นทดสอบผสมปูนขาวด้วยปริมาณ 1, 3, 5, และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทดสอบการกระจายตัวของดินเหนียวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วด้วยวิธี pinhole ตามมาตรฐาน ASTM D 4647 -06

ส่วนที่สองเป็นการทดสอบการกัดเซาะในสนามโดยการสร้างคันดินที่มีความชัน 45 องศาโดยใช้ดินเหนียวกระจายตัวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาว และเซาะร่องครึ่งวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร การจำลองการกัดเซาะใช้วิธีปล่อยน้ำไหลผ่านร่องที่เซาะไว้ น้ำที่ใช้เป็นน้ำฝนที่ปราศจากสารเจือปนเป็นตัวกลาง การประเมินประสิทธิภาพการต้านทานการถูกกัดเซาะใช้การเทียบความชุ่มของน้ำที่ไหลผ่านคันดินและความหนาแน่นของตะกอนที่อยู่ในน้ำ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การสำรวจพื้นที่ประสบปัญหาการกัดเซาะ

การสำรวจปัญหาการกัดเซาะที่เกิดขึ้นในดินเหนียวกระจายตัวในพื้นที่วิจัย ได้พบว่าปัญหาส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่มีความลาดชันและมีการป้องกันที่ไม่เหมาะสมเช่นไม่มีการระบายน้ำที่ดี, ไม่มีการคาดผิวหน้าดิน, หรือเป็นบริเวณที่ระบายน้ำฝนลอคใต้คันทาง ซึ่งสามารถระบุเป็นรูปแบบความเสียหายหลักๆ ได้เป็น รูปแบบการกัดเซาะผิวหน้าดินจนเป็นโพรง การกัดเซาะชนิดนี้เกิดจากน้ำฝนที่ไหลตามผิวดินแล้วไหลหลากลงบนลาดดินทำให้ดินบางส่วนเกิดการกัดเซาะลอคใต้ดินจนเป็นอุโมงค์เล็กๆขึ้น เมื่อเกิดการกัดเซาะนานเข้าอุโมงค์ได้ขยายตัวใหญ่ขึ้นจนเห็นได้ชัดดังรูปที่ 4-1 เมื่ออุโมงค์มีขนาดใหญ่ขึ้นเสถียรภาพของอุโมงค์ก็ลดลงจนกระทั่งหลังคาอุโมงค์ดินยุบตัวลงเกิดเป็นหลุมยุบดังรูปที่ 4-2 เมื่อดินถูกกัดเซาะเพิ่มขึ้นอีกหลุมยุบได้ลุกลามจนไม่เหลือสภาพอุโมงค์อีก จึงกลายเป็นร่องน้ำที่ถูกกัดเซาะขนาดใหญ่ดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-1 ปัญหาการกัดเซาะแบบอุโมงค์ในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4-2 ปัญหาการกัดเซาะแบบอุโมงค์ดิน หลังจากเกิดการพังทลายของอุโมงค์



รูปที่ 4-3 ร่องน้ำที่เกิดจากการกัดเซาะแบบอุโมงค์แล้วอุโมงค์พังทลายเป็นร่องกัดเซาะขนาดใหญ่

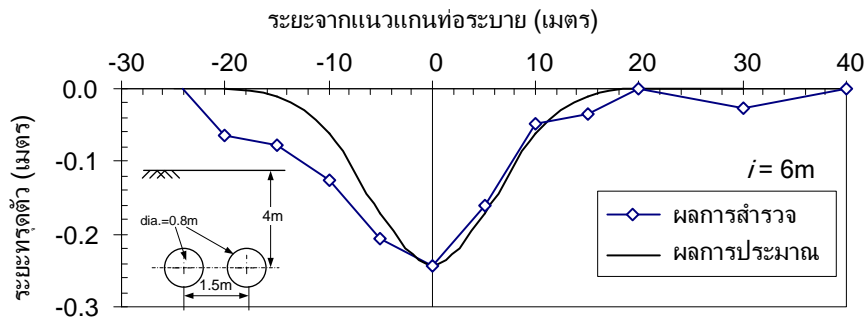
รูปแบบความเสียหายเนื่องจากการกัดเซาะแบบที่สองเป็นการทรุดตัวของคันทางที่มีท่อระบายน้ำลอดผ่าน โดยความเสียหายลักษณะนี้มักเกิดในบริเวณที่เป็นจุดรับน้ำในปริมาณมาก และการติดตั้งระบบป้องกันน้ำรั่วผ่านท่อลอดไม่ดีนัก ทำให้น้ำที่ถูกระบายผ่านท่อ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำฝน กัดเซาะเอาดินรอบท่อลอดออกไปเกิดเป็นโพรงรอบท่อ เมื่อดินรอบท่อหายไปทำให้มวลดินส่วนที่อยู่รอบโพรงที่ถูกกัดเซาะเคลื่อนที่ลงมาแทนส่วนที่เป็นโพรง เป็นเหตุให้ผิวทางที่วางอยู่บนคันทางทรุดตัวตามลงมาด้วย การศึกษาโดยการตรวจวัดการทรุดตัวของผิวถนนในแนวขนานกับท่อพบว่าทรุดตัวของผิวถนนเกิดสูงสุดที่บริเวณแนวแกนของท่อ และการทรุดตัวลดลงที่ระยะห่างจากแนวแกนท่อออกไป ซึ่งรูปแบบการทรุดตัวเป็นแบบระฆังคว่ำคล้ายกับการทรุดตัวที่พื้นดินเนื่องจากการขุดอุโมงค์ โดย Peck (1969) เมื่อคำนวณปริมาณดินที่สูญหายไปรอบท่อลอดจากการวัดการทรุดตัวของผิวทางพบว่าเมื่อผิวทางทรุดตัวสูงสุด 244 มิลลิเมตร ดินหายไปเกิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ต่อความยาวท่อ 1 เมตร จากข้อมูลการทรุดตัวของผิวทางข้างประกอบกับการตรวจสอบตำแหน่งการชำรุดของผิวทางอย่างละเอียดดังรูปที่ 4-6 พบว่าผิวทางคอนกรีตเกิดการแตกร้าวที่ระยะประมาณ 10 เมตรจากแนวแกนท่อระบายน้ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการประมาณโดย Normal distribution function ที่เสนอโดย Peck (1969) ซึ่งแสดงจุดที่เกิดหน่วยแรงดึงสูงสุดบนผิวทางเท่ากับ 1.73 เท่าของระยะจุดเปลี่ยนโค้ง ได้

ระยะเปลี่ยนความโค้งเชิงทฤษฎีเป็น 10.4 เมตร ซึ่งเห็นได้ว่าระยะรอยแตกที่เกิดขึ้นจริงมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยสมการที่ 1

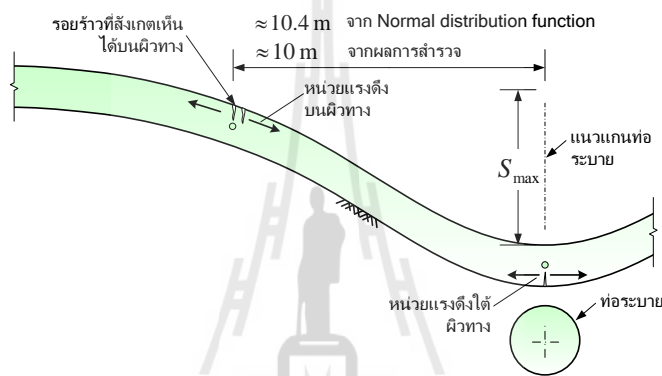
จากข้อมูลความเสียหายของโครงสร้างดินในพื้นที่ศึกษาดังกล่าวข้างต้น พบลักษณะที่เหมือนกันของข้อมูลคือชนิดของดิน โดยดินที่เกิดปัญหาการกัดเซาะนั้นเป็นดินเหนียวเหมือนกันแต่ทนทานต่อการกัดเซาะได้ไม่ดี ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าเป็นดินเหนียวกระจายตัว งานวิจัยนี้จึงได้เลือกจุดที่ทำการวิจัยในรายละเอียดด้านการกระจายตัวของดินเป็นลาดดินตัด เนื่องจากสามารถเก็บตัวอย่างได้ง่ายกว่าการเก็บตัวอย่างดินจากคันทางที่มีท่อระบายน้ำลอดผ่านที่ต้องใช้เครื่องมือเจาะสำรวจดิน



รูปที่ 4-4 ปัญหาการทรุดตัวของผิวทางบริเวณที่เกิดการกัดเซาะรอบท่อลอด



รูปที่ 4-5 ระดับผิวทางทรุดตัวที่วัดได้และผลการประมาณการทรุดตัวของถนนที่มีท่อระบายน้ำลอดผ่าน



รูปที่ 4-6 การแตกร้าวของผิวทางคอนกรีตถนนเนื่องจากการกัดเซาะของดินรอบท่อระบายน้ำ

4.2 คุณสมบัติของดินกระจายตัวในพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้พื้นที่ศึกษาในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งตั้งอยู่ที่ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยแหล่งดินเหนียวกระจายตัวที่ใช้ในงานวิจัยเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลแดงที่เก็บจากพื้นที่ประสบปัญหาการถูกกัดเซาะดังรูปที่ 4-7 ซึ่งเป็นลาดดินที่ถูกกัดเซาะจากน้ำฝนจนกระทั่งเป็นโพรงใต้ดิน เมื่อทดสอบคุณสมบัติของดินบริเวณนี้พบว่าดินมีคุณสมบัติดังตารางที่ 4-1

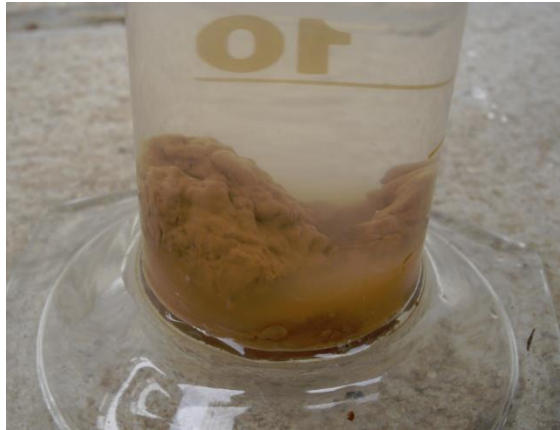


รูปที่ 4-7 แหล่งดินที่ใช้ในงานวิจัยเป็นดินที่เกิดปัญหาดินกระจายตัว

ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวกระจายตัว

ตัวอย่าง	น้ำตาลแดง
Specific gravity	2.70
หน่วยน้ำหนักรวม (ตันต่อตร.ม.)	1.98
พิกัดเหลว	41.80
พิกัดพลาสติก	21.05
Classification, USCS	CH

ผลการทดสอบ Crumb test กับดินตัวอย่าง โดยการหย่อนตัวอย่างลงในน้ำกลั่น ได้ผลดังรูปที่ 4-8 ที่เวลาทดสอบ 5 นาที และรูปที่ 4-9 ที่เวลาการทดสอบ 10 นาที พบว่าดินมีกลุ่มหมอกคอลลอยด์ปกคลุมทั่วทั้งหมดที่กั้นขณะทดสอบ ดังนั้นดินตัวอย่างจึงมีการกระจายตัวจัดอยู่ในระดับที่ 4 ตามเกณฑ์ที่เสนอ โดย Sherard, R. et al. (1976)

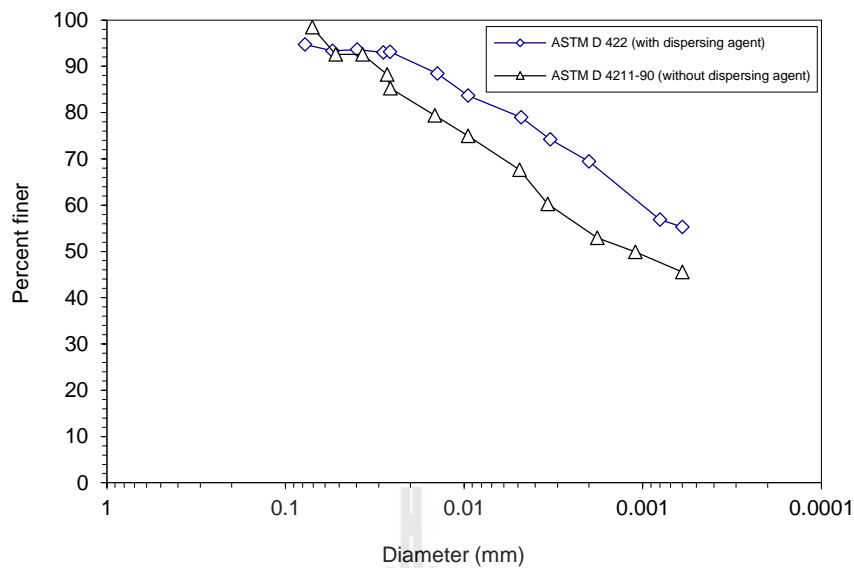


รูปที่ 4-8 ตัวอย่างดินเหนียวกระจายตัวที่เวลาทดสอบ 5 นาที



รูปที่ 4-9 ตัวอย่างดินเหนียวกระจายตัวที่เวลาทดสอบ 10 นาที

เมื่อทดสอบการกระจายตัวของดินเหนียวโดยใช้วิธี Double hydrometer กับดินตัวอย่างได้ผลการทดสอบเป็นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดดินและเปอร์เซ็นต์ตลอดผ่านดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของดินด้วยวิธี Double hydrometer

ซึ่งเมื่อคำนวณระดับการกระจายตัวจากผลการทดสอบจากรูปที่ 4-10 พบว่าดินเหนียวตัวอย่างมีการกระจายตัวเป็น 85.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์อ้างอิงต่างๆดังสรุปในตารางที่ 4-2 ดินเหนียวตัวอย่างจัดเป็นดินเหนียวกระจายตัวตามเกณฑ์ของ McCarthy (1982), Mitchell (1976), และ USDA (1991)

ตารางที่ 4-2 ระดับการกระจายตัวเมื่อจำแนกด้วยเกณฑ์อ้างอิง

เกณฑ์อ้างอิง	เกณฑ์	ระดับการกระจายตัว (เปอร์เซ็นต์)
McCarthy (1982)	> 35% เป็นดินเหนียวกระจายตัว	85.65
USDA (1991)	> 60% อาจเป็นดินกระจายตัว 30% < % dispersive < 60% ต้องใช้วิธีอื่นมาพิจารณาประกอบ < 30% อาจเป็นดินไม่กระจายตัว	85.65
Mitchell (1976)	> 20 – 25 % อาจจะเป็นดินเหนียวกระจายตัว > 50% ส่วนใหญ่จะเป็นดินเหนียวกระจายตัว	85.65

ในการทดสอบการกระจายตัวด้วยวิธี pinhole ได้ทดสอบกับดินตัวอย่างบดอัดใหม่ให้ได้ความหนาแน่นแห้งเท่ากับความหนาแน่นแห้งในสนาม ได้ผลการทดสอบการกระจายตัวที่ทำให้จำแนกดินเหนียวตัวอย่างเป็นดินเหนียวกระจายตัวระดับ D1 ซึ่งเป็นการยืนยันผลการทดสอบ crumb test และ double hydrometer test ว่าดินเหนียวในพื้นที่ประสบปัญหาเป็นดินเหนียวกระจายตัวอย่างชัดเจน



รูปที่ 4-11 ตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านออกจากเครื่องมือทดสอบ Pinhole ซึ่งขุ่นมาก

ผลการวิเคราะห์ความจุแควทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ของดินเหนียวกระจายตัวได้ผลดังตารางที่ 4-3 ซึ่งให้เห็นว่าความจุแควทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ของดินพบว่าดินในแหล่งตัวอย่างมีค่า CEC จัดอยู่ในระดับปานกลางที่ส่วนบนของคันดิน และสูงขึ้นในส่วนล่างของคันดินซึ่งอาจเกิดจากการกักเซาะและพัดพาเอาดินส่วนที่มีค่า CEC สูงลงมาทับถมในส่วนล่างของคันดิน ตารางที่ 4-4 เป็นผลการทดสอบปริมาณแควทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ซึ่งได้แก่ K^+ , Ca^{++} , Na^+ , และ Mg^{++} จากผลการทดสอบเมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์โซเดียม และค่า SAR แล้วเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ระหว่างระดับการกระจายตัวและลักษณะทางเคมีของน้ำในดินที่เสนอโดย Sherard, R. et al. (1976) พบว่าดินจัดอยู่ในโซน B ซึ่งเป็นดินเหนียวไม่กระจายตัว แต่ Sherard, R. et al. (1976) ได้กล่าวว่าการทำนายการกระจายตัวด้วยวิธีนี้มีความน่าเชื่อถือเพียง 85 เปอร์เซ็นต์ และการทดสอบ pinhole มีความ

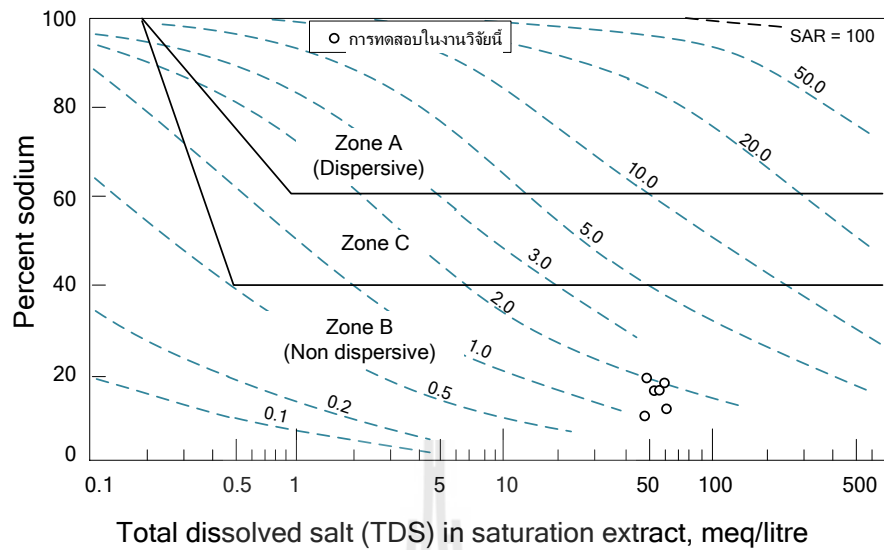
น่าเชื่อถือที่สุดในการทำนายการกระจายตัว ในงานวิจัยนี้จึงใช้ผลการทดสอบการกระจายตัวเป็นเกณฑ์หลักในการตัดสินใจว่าดินเป็นดินเหนียวกระจายตัวหรือไม่ เนื่องจากการทดสอบที่ตรงกับลักษณะทางกายภาพของการกักเซาะจริงมากที่สุด และยังใช้การทดสอบ pinhole เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของการปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวด้วย ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งที่ได้จากการทดสอบปริมาณแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินคือปริมาณของโซเดียมที่ตำแหน่งบนลาดดินพบว่าปริมาณโซเดียมไอออนที่ส่วนล่างของลาดดินสูงกว่าส่วนบนของลาดดินดังรูปที่ 4-13 ซึ่งอาจเกิดจากการชะล้างดินที่มีโซเดียมไอออนโดยน้ำฝนให้ไหลลงมาสู่ส่วนล่างของลาดดิน ทำให้ปริมาณโซเดียมไอออนที่ส่วนบนลดลง

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบความจุแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้

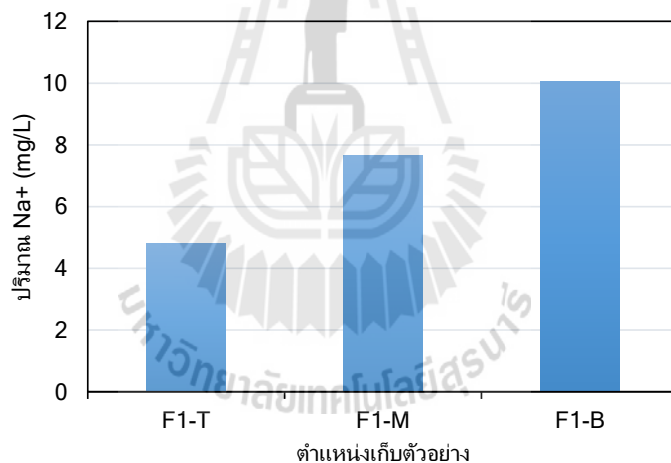
ตัวอย่าง	CEC (me/1000ml)	ระดับ
F1-T-1	12.40	ปานกลาง
F1-T-2	20.85	สูง
F1-M-1	17.68	สูง
F1-M-2	15.78	สูง
F1-B-1	15.55	สูง
F1-B-2	19.63	สูงมาก

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้

ตัวอย่าง	K ⁺ (me/1000ml)	Ca ⁺⁺ (me/1000ml)	Na ⁺ (me/1000ml)	Mg ⁺⁺ (me/1000ml)	Percent Sodium	SAR
F1-T-1	4.91	17.85	4.81	8.72	13.25	1.32
F1-T-2	4.97	18.16	4.18	9.13	11.47	1.13
F1-M-1	5.47	33.39	7.66	7.56	14.16	1.69
F1-M-2	4.95	31.62	7.76	8.08	14.81	1.74
F1-B-1	4.75	32.18	10.73	6.82	19.70	2.43
F1-B-2	4.81	33.80	9.68	7.85	07.24	2.12



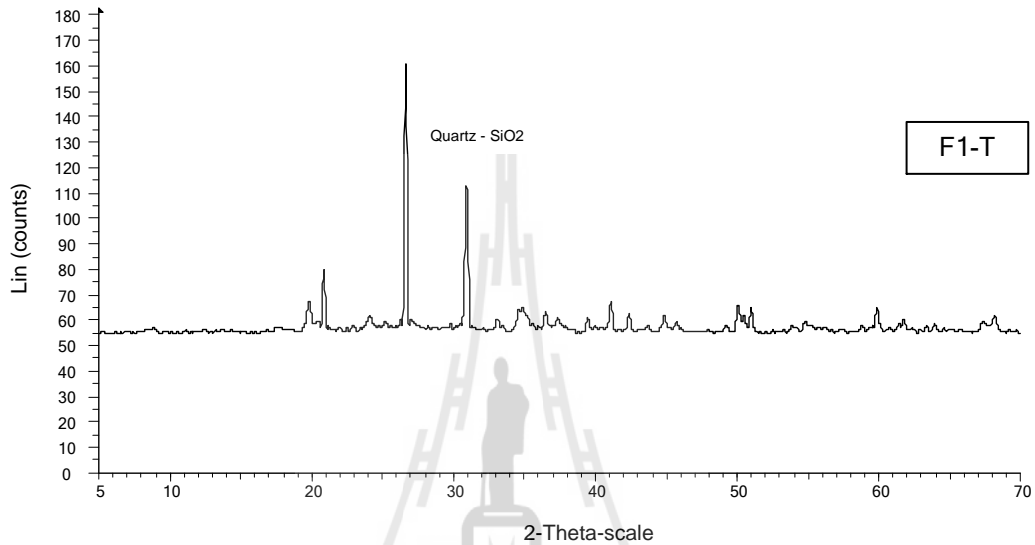
รูปที่ 4-12 การวิเคราะห์การกระจายตัวโดยใช้ผลการทดสอบทางเคมีของดิน เทียบกับข้อมูลเชิงประสพการณ์ของ Sherard, R. et al. (1976)



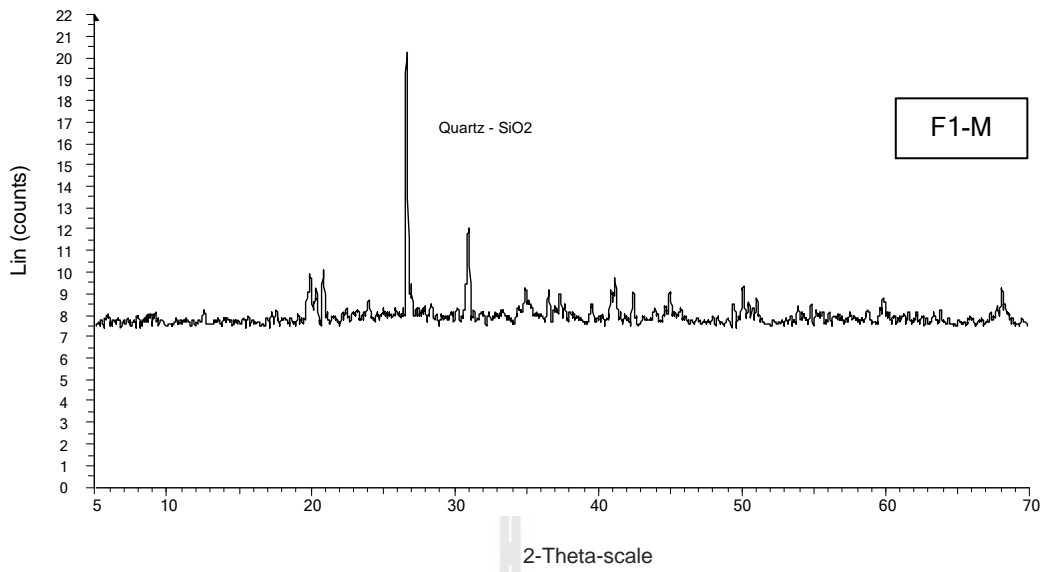
รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบปริมาณโซเดียมไอออนที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างส่วนบน ส่วนกลาง, และส่วนล่างของคันดิน

เมื่อศึกษาดินเหนียวกระจายตัวในระดับจุลภาคด้วยวิธี XRD กับตัวอย่าง F1-T, F1-M, และ F1-B ได้ผลดังรูปที่ 4-14 ถึง รูปที่ 4-16 ตามลำดับ เห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักที่อยู่ในดินเหนียวกระจายตัวที่พบเป็นควอทซ์ ซึ่งไม่เกิดการกระจายตัว ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดสอบการกระจายตัวด้วยวิธีอื่น เมื่อ

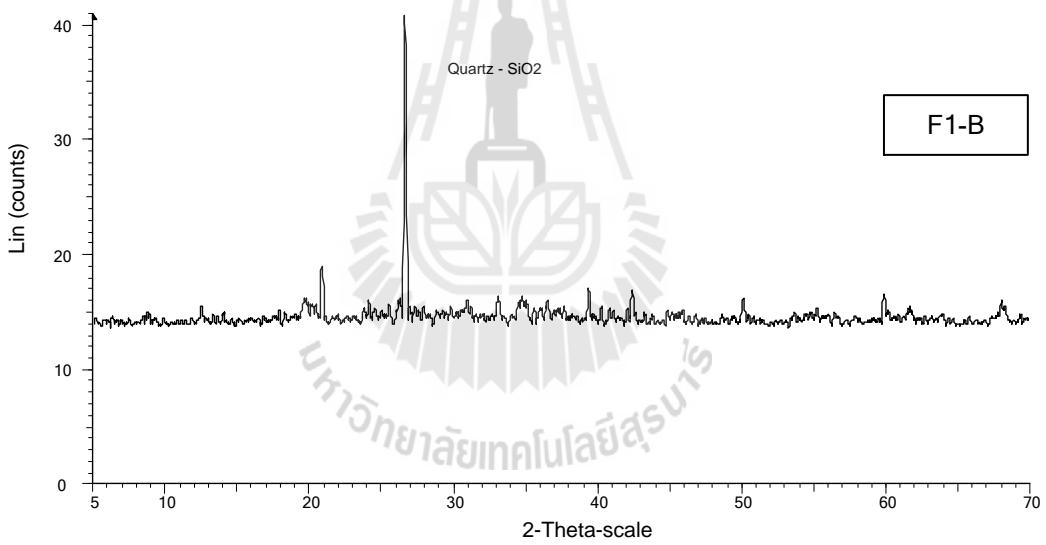
พิจารณาในรายละเอียดของตัวอย่างดินพบว่าดินเหนียวกระจายตัวที่พบส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลแดง แต่ในบางจุดมีดินเหนียวสีขาวปนอยู่ จึงได้แยกวิเคราะห์ดินเหนียวสีน้ำตาลแดงและดินเหนียวสีขาว ได้ผลดังรูปที่ 4-17 เห็นได้ว่าถึงแม้ดินเหนียวกระจายตัวมีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์ แต่ก็ยังมีดินเหนียวสีขาวที่มีองค์ประกอบเป็นมอนท์มอริลไอโนนที่ ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวที่บวมตัวได้เมื่อมีน้ำในดิน เพิ่มขึ้นและหดตัวเมื่อน้ำในดินลดลง งานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาเชิงลึกกับดินเหนียวที่มี องค์ประกอบเป็นมอนท์มอริลไอโนนที่เนื่องจากเกินกว่าขอบเขตของงานวิจัย



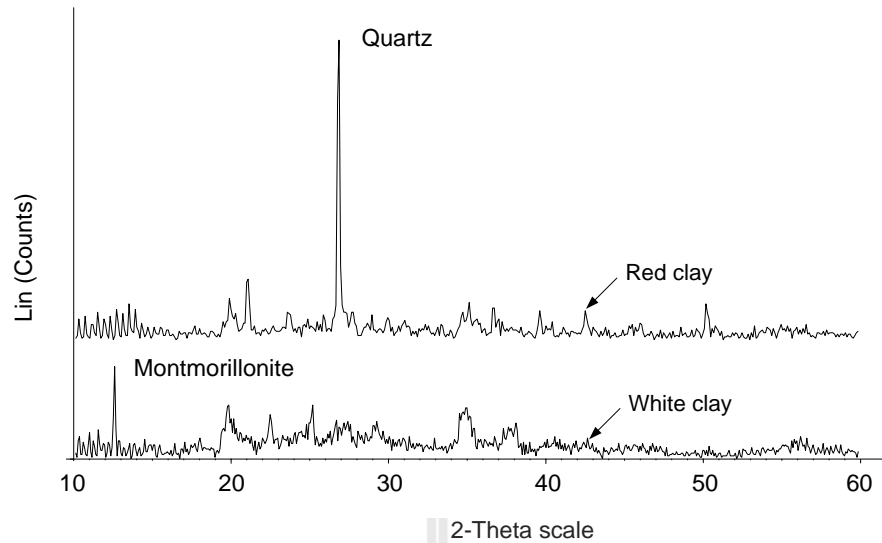
รูปที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ตัวอย่าง F1-T



รูปที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ตัวอย่าง F1-M



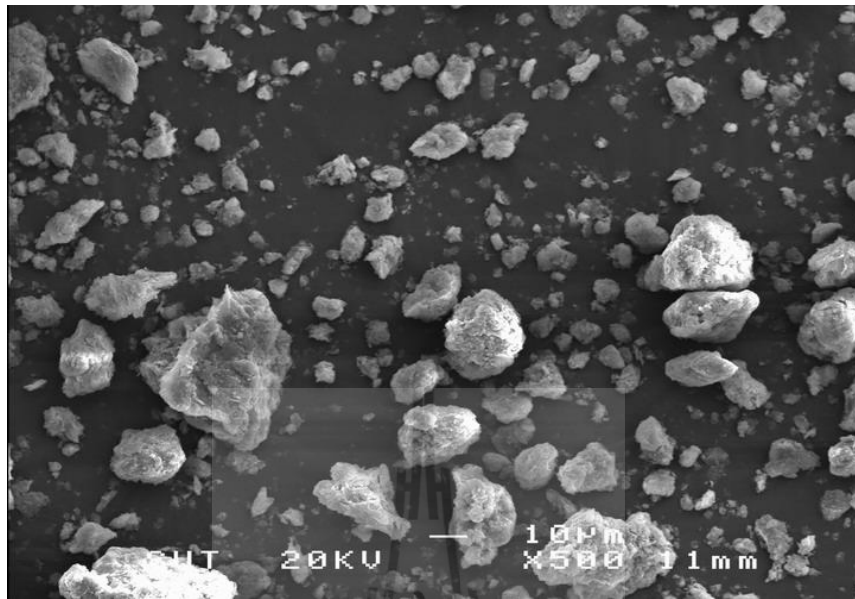
รูปที่ 4-16 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ตัวอย่าง F1-B



รูปที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบของดินด้วยวิธี XRD ของดินเหนียวกระจายตัวสีน้ำตาลแดง และดินเหนียวสีขาวที่แทรกอยู่ในดิน

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างดินเหนียวกระจายตัวด้วย SEM กับตัวอย่าง F1-T, F1-M, และ F1-B โดยใช้กำลังขยายกำลังขยาย 500 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะของอนุภาคดิน และได้ใช้กำลังขยาย 20000 เท่าเพื่อศึกษาลักษณะผิวของอนุภาคดิน ได้ผลดังรูปที่ 4-18 และรูปที่ 4-19 สำหรับตัวอย่าง F1-T, รูปที่ 4-20 และรูปที่ 4-21 สำหรับตัวอย่าง F1-M, รูปที่ 4-22 และ รูปที่ 4-23 สำหรับตัวอย่าง F1-B

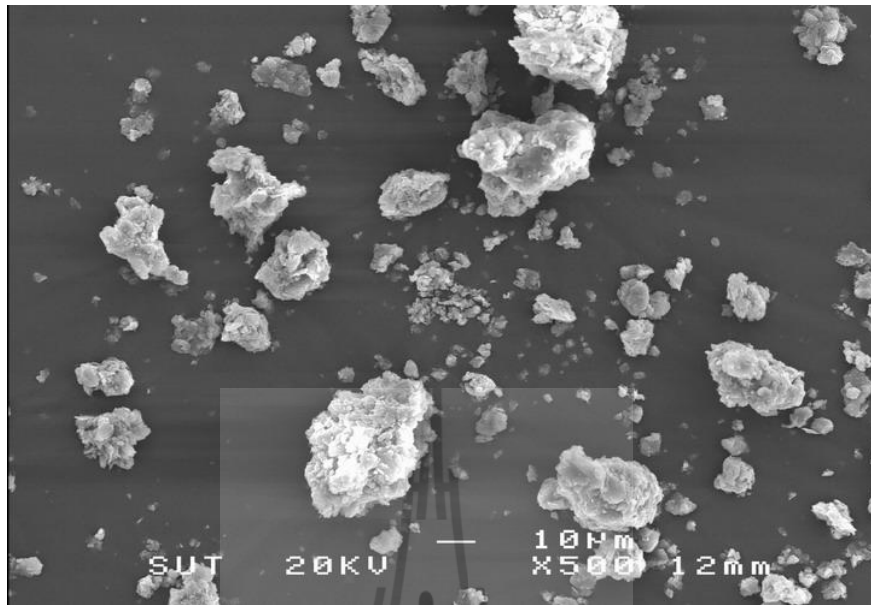
จากภาพถ่ายของทุกตัวอย่างที่กำลังขยาย 500 เท่าพบว่าอนุภาคดินเหนียวมีขนาดคลระหว่างเม็ดดินขนาด 20 ไมโครเมตรและมีอนุภาคดินที่เล็กกว่าปนอยู่เป็นจำนวนมาก และภาพถ่ายของทุกตัวอย่างที่กำลังขยาย 20000 เท่าพบว่าโครงสร้างดินเหนียวมีลักษณะที่เป็นแผ่นอยู่รวมกัน ซึ่งโครงสร้างที่เป็นแผ่นนี้ทำให้อธิพลของประจุที่อยู่น้ำปรากฏได้อย่างเด่นชัด อันทำให้ดินเหนียวเกิดการกระจายตัวได้ดี



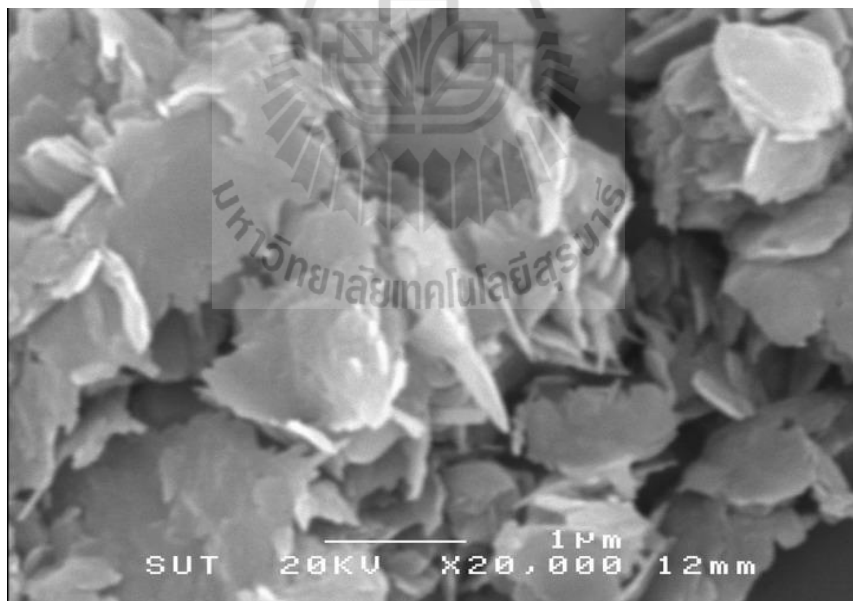
รูปที่ 4-18 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-T กำลังขยาย 500 เท่า



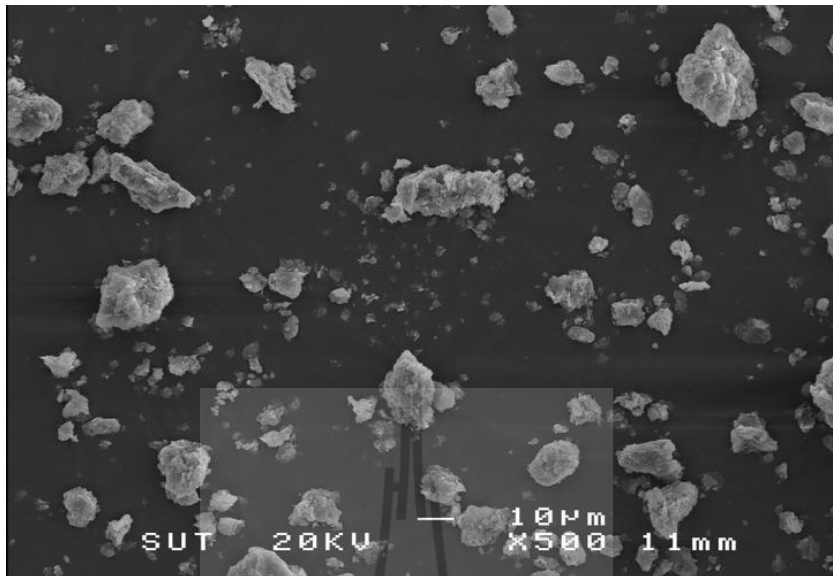
รูปที่ 4-19 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-T กำลังขยาย 20000 เท่า



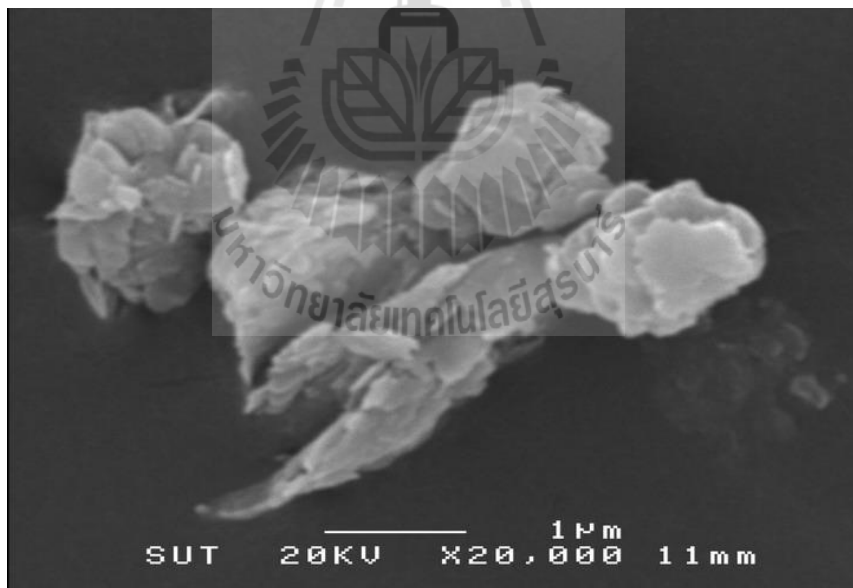
รูปที่ 4-20 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-M กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4-21 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-M กำลังขยาย 20000 เท่า



รูปที่ 4-22 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-B กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4-23 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกับตัวอย่าง F1-B กำลังขยาย 20000 เท่า

4.3 การปรับปรุงดินกระจายตัว

เมื่อได้ยืนยันแล้วว่าดินเหนียวในแหล่งตัวอย่างเป็นดินเหนียวกระจายตัว จึงได้ทดลองปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวโดยใช้ปูนขาว โดยใช้การปรับปรุงโดยการบดอัดแบบไม่ปรับปรุงด้วยปูนขาวเป็นตัวแทนควบคุม การศึกษาการปรับปรุงแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบเพื่อหาปริมาณปูนขาวเหมาะสมที่ทำให้ดินเหนียวไม่กระจายตัว และส่วนที่สองเป็นการทดสอบกับแปลงทดสอบที่ใช้ดินเหนียวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปริมาณปูนขาวเหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในส่วนแรก

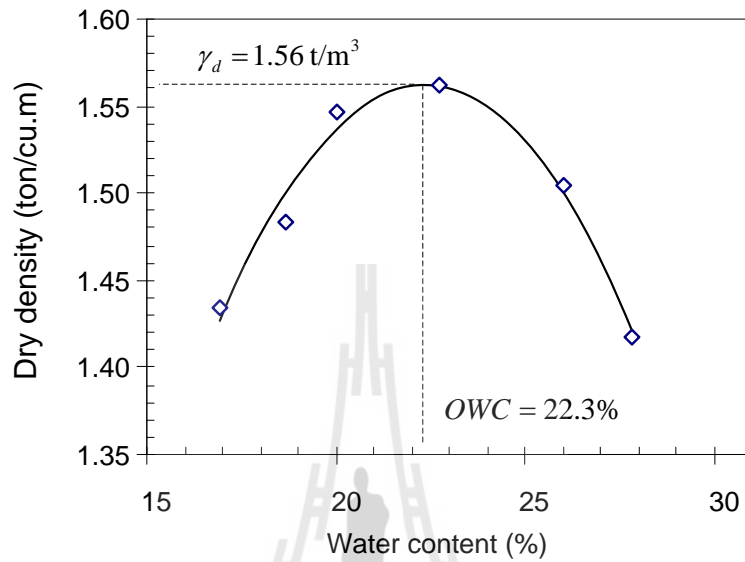
4.3.1 การกระจายตัวของดินเหนียวกระจายตัวบดอัดโดยไม่ปรับปรุงด้วยปูนขาว

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบการกระจายตัวของดินเหนียวที่บดอัดเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการปรับปรุงการกระจายตัวด้วยปูนขาว เพื่อให้สภาพการกระจายตัวตรงกับสภาพจริงในสนามจึงเลือกใช้วิธีทดสอบ pinhole ก่อนการทดสอบได้ทดสอบการบดอัดดิน โดยใช้วิธีการบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 698 รูปที่ 4-24 เป็นกราฟการบดอัดดินเหนียวกระจายตัว พบว่าดินเหนียวกระจายตัวบดอัดมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.56 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ที่ปริมาณน้ำเหมาะสมเท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์

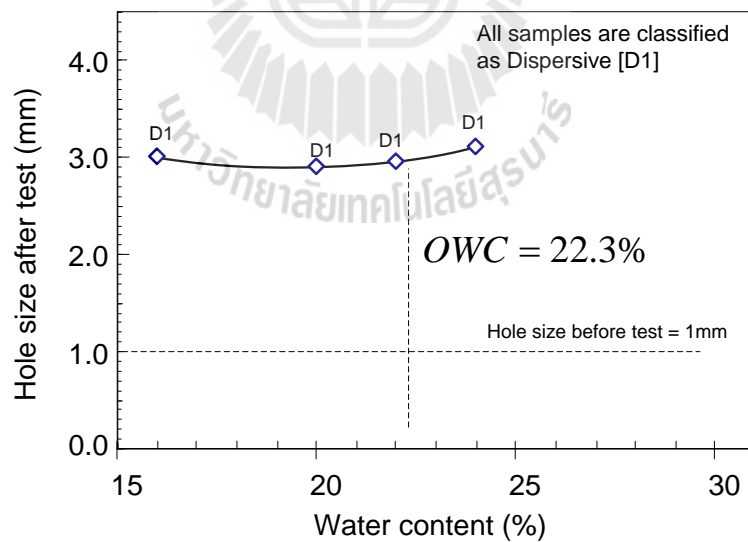
จากนั้นทดสอบการกระจายตัวด้วยวิธี pinhole โดยเตรียมตัวอย่างโดยแปรผันปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดพบว่าดินมีการกระจายตัวเป็นเกรด D1 ทั้งปริมาณน้ำบดอัดด้านเปียกและด้านแห้ง ขนาดของรูเจาะที่น้ำไหลผ่านตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้นจากรูที่เจาะไว้เริ่มต้น 1 มิลลิเมตร จากการผ่าตัวอย่างดินเพื่อตรวจสอบพบว่าดินรอบรูเจาะถูกกัดเซาะจนรูเจาะมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตรดังรูปที่ 4-26

รูปที่ 4-28 เป็นสีของน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างจากการทดสอบ ซึ่งพบว่าน้ำมีความขุ่นเนื่องจากมีตะกอนดินตัวอย่างถูกพัดพาแขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นปริมาณมาก เมื่อตรวจสอบความหนาแน่นของตะกอนดินในน้ำพบว่าน้ำตะกอนในกรณีบดอัดด้านแห้งและด้านเปียกมีปริมาณตะกอนสูงถึง 0.7 ถึง 0.9 กรัมต่อลิตร ปริมาณตะกอนต่ำสุดเมื่อตัวอย่างดินใช้ปริมาณน้ำในการบดอัดเท่ากับ 19 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า การบดอัด โดยบดอัดให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงความหนาแน่นแห้งสูงสุดสามารถลดปริมาณการถูกกัดเซาะได้บ้าง แต่การปริมาณการกัดเซาะก็ยังสูงจนจำแนกได้เป็นระดับ D1 จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการบดอัดดินเหนียวกระจายตัวด้วยวิธีเชิงกลเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดการกระจายตัวของดินได้ ถึงแม้ว่าจะบดอัดดินให้มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดแล้ว

ก็ตาม ดังนั้นหากใช้ดินเหนียวกระจายตัวเป็นลาดดิน เมื่อน้ำไหลผ่านดิน ดินจะเกิดการกระจายตัวได้ง่ายซึ่งทำให้เกิดร่องรอยการกัดเซาะขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพดินจึงต้องใช้วิธีทางเคมีเข้ามาช่วย



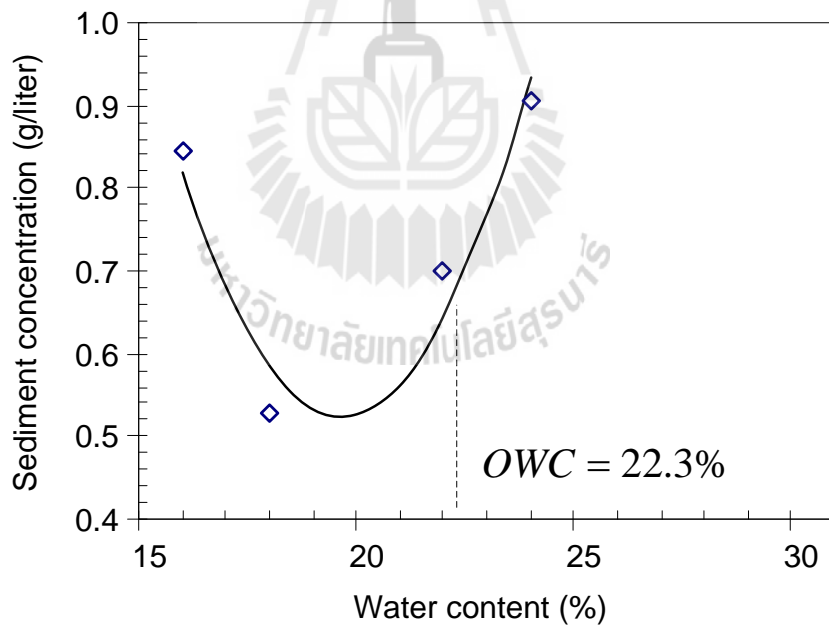
รูปที่ 4-24 ผลการทดสอบการบดอัดดินกระจายตัวด้วยวิธีมาตรฐาน



รูปที่ 4-25 ขนาดของรูหลังสิ้นสุดการทดสอบ โดยขนาดของรูที่เจาะไว้เริ่มต้นมีขนาด 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-26 การผ่าตัวอย่างออกเพื่อตรวจสอบขนาดของรูเจาะพบว่ารูเจาะถูกกัดเซาะจนมีขนาดเป็น 3 มิลลิเมตร จากรูเจาะเดิมขนาด 1 มิลลิเมตร



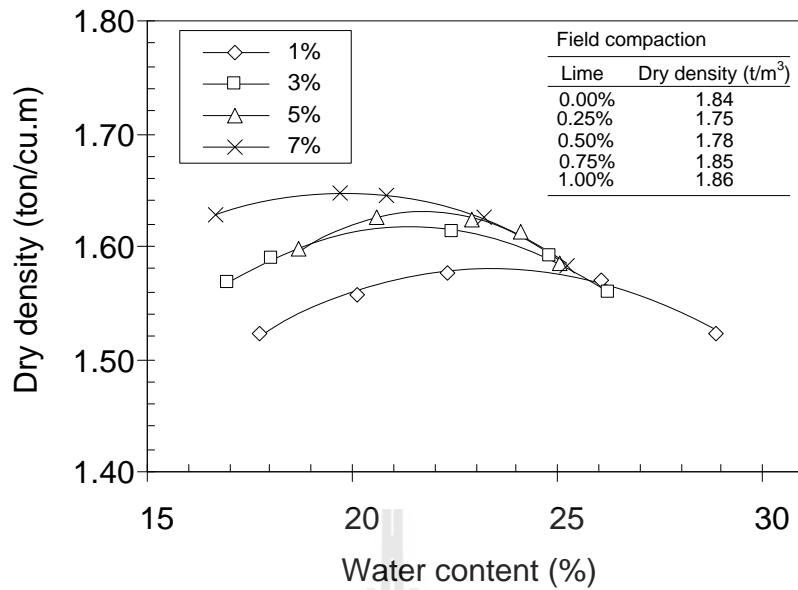
รูปที่ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด



รูปที่ 4-28 ตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านออกจากเครื่องมือทดสอบ Pinhole ซึ่งมีความชุ่มมาก และจำแนกดินได้เป็น D1

4.3.2 การปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวด้วยการบดอัดร่วมกับปูนขาว

จากการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีเชิงกลเพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้วิธีการปรับปรุงทางเคมีร่วมด้วย ไม่สามารถลดการกระจายตัวของดินได้ ดังนั้นจึงได้ทดสอบปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวด้วยปูนขาวชนิด calcium oxide โดยแปรผันปริมาณปูนขาวที่ 1, 3, 5, และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นบดอัดดินด้วยวิธีการบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 698 รูปที่ 4-29 เป็นกราฟการบดอัด เห็นได้ว่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดแปรผันตามปริมาณปูนขาวที่ผสมในดิน และแปรผกผันกับปริมาณน้ำเหมาะสม เมื่อบดอัดดินเสร็จจึงนำตัวอย่างไปทดสอบด้วยวิธี pinhole พบว่าเมื่อผสมปูนขาวลงในดินด้วยปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสามารถลดการกระจายตัวของดินจากดินกระจายตัวระดับ D1 ไปเป็นระดับ ND2 หรือ ND3 ซึ่งเป็นดินที่ไม่กระจายตัว และขนาดของรูเจาะมีขนาด 1 มิลลิเมตรเท่ากับที่เจาะไว้ก่อนทดสอบ เนื่องจากไม่เกิดการกัดเซาะขึ้น ซึ่งยืนยันได้โดยการตรวจสอบน้ำที่ไหลผ่านรูเจาะในตัวอย่างจะไม่มีตะกอนดินแขวนลอยอยู่ในน้ำเลย



รูปที่ 4-29 กราฟการบดอัดที่แปรผันปริมาณปูนขาว

จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการคณะวิจัยจึงได้ขยายผลการทดสอบออกไปสู่การทดสอบกับแปลงทดสอบคันดินบดอัด โดยได้ทำการสร้างคันดินบดอัดที่ความลาดชัน 45 องศา ดินที่ใช้เป็นดินกระจายตัวแห้งเดียวกับดินที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งมีปริมาณน้ำในดินเท่ากัน การบดอัดใช้วิธีบดอัดตัวอย่างโดยกระทุ้งดินด้วยเครื่องมือกระทุ้งอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้ปริมาณน้ำผสมเพิ่มให้ได้ปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับปริมาณน้ำเหมาะสมที่ 22.3 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการบดอัดได้ผสมปูนขาวลงในดินด้วยสัดส่วน 0, 0.25, 0.50, 0.75, และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในงานวิจัยใช้วิธีทดสอบความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัดแล้วเป็นลาดดินในการควบคุมคุณภาพให้ได้ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดเป็นไปตามความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ ผลการตรวจสอบพบว่าดินบดอัดมีความหนาแน่นแห้งสูงกว่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดทั้งหมดดังตารางที่ 4-5 เมื่อบดอัดดินเสร็จแล้วทำการเจาะร่องบนคันดินเพื่อเป็นทางให้น้ำไหลผ่านโดยใช้ร่องเป็นรูปครึ่งวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัดเพื่อเป็นลาดดิน

ปริมาณปูนขาว (%)	ความหนาแน่นแห้ง (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)
0.00	1.84
0.25	1.75
0.50	1.78
0.75	1.85
1.00	1.80

การทดสอบความต้านทานการกัดเซาะใช้น้ำฝนเนื่องจากเป็นตัวกลางหลักที่ทำให้เกิดการกัดเซาะในสถานะใช้งานจริง น้ำฝนได้จากการรองเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดปราศจากสารปนเปื้อน และก่อนทำการทดสอบได้ตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำฝนเทียบกับน้ำกลั่นและน้ำประปาได้ผลดังตารางที่ 4-6 เห็นได้ว่าความนำไฟฟ้าของน้ำฝนมีค่าสูงกว่าน้ำกลั่นเล็กน้อยและต่ำกว่าความนำไฟฟ้าของน้ำประปามาก เนื่องจากน้ำฝนเมื่อตกผ่านชั้นบรรยากาศอาจเกิดการเจือปนประจุที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้า แต่ในงานวิจัยนี้เลือกที่ใช้น้ำฝนกับแปลงทดสอบเนื่องจากต้องการศึกษาการกัดเซาะที่เหมือนกับสภาพจริงมากที่สุด

ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบความนำไฟฟ้าของน้ำฝนที่ใช้ทดสอบกับน้ำกลั่นและน้ำประปา

แหล่งน้ำ	ความนำไฟฟ้า (microsiemen/cm)
น้ำฝน	5.31
น้ำกลั่น	0.35
น้ำประปา	95.9

การทดสอบเป็นการปล่อยให้น้ำไหลผ่านร่องบนคันดินโดยใช้ระดับน้ำคงที่ ถังเก็บน้ำอยู่สูงกว่าระดับปล่อยน้ำเท่ากับ 50 มิลลิเมตรและปล่อยน้ำให้ไหลผ่านตัวอย่างเป็นปริมาณ 1000 มิลลิลิตร (รูป

ที่ 4-30) และเก็บน้ำที่ไหลผ่านร่องคันดินเพื่อสังเกตสีของน้ำที่ไหลผ่านคันดิน และนำน้ำนี้ไปหาปริมาณตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ



รูปที่ 4-30 แปลงทดสอบการปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวด้วยปูนขาว ที่ความชัน 45 องศา

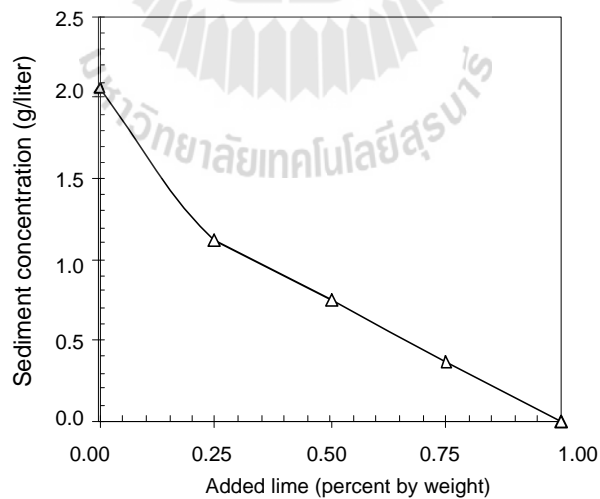
รูปที่ 4-31 เป็นภาพถ่ายน้ำที่ไหลผ่านร่องบนคันดินที่ไม่ได้ใช้ปูนขาวในการลดการกระจายตัวของดิน เห็นได้ว่าน้ำมีความขุ่นมากและมีสีน้ำตาลแดงซึ่งเป็นสีของอนุภาคดินที่ถูกกัดเซาะและพัดพาแขวนลอยอยู่ในน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ไหลผ่านคันดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาว 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดังรูปที่ 4-32 พบว่าน้ำมีความขุ่นลดลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งแสดงให้เห็นว่าปูนขาวสามารถลดการถูกกัดเซาะของดินเนื่องจากตัวกลางที่เป็นน้ำฝนได้แม้จะผสมลงในดินด้วยปริมาณต่ำเพื่อตรวจวัดปริมาณตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจึงนำน้ำตะกอนไปอบแห้งและหาความหนาแน่นของตะกอนเพื่อเปรียบเทียบ พบว่าเมื่อไม่มีการผสมปูนขาวลงในดินปริมาณตะกอนมีค่าเป็น 2 กรัมต่อลิตร และเมื่อผสมปูนขาวเพิ่มขึ้น ดินที่ถูกพัดพามากับน้ำมีปริมาณลดลง และเมื่อผสมปูนขาวเป็นปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดินไม่ถูกพัดพาและแขวนลอยอยู่ในน้ำเลย



รูปที่ 4-31 ปริมาณตะกอนหลังการทดสอบโดยผสมปูนขาว 0 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4-32 ปริมาณตะกอนหลังการทดสอบโดยผสมปูนขาว 0.75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณตะกอนที่ไหลมากับน้ำกับปริมาณปูนขาว

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบและข้อมูลที่ได้ในงานวิจัยนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

การสำรวจพื้นที่ประสบปัญหาการกัดเซาะบริเวณท่อลอดใต้ถนนและการกัดเซาะลาดดินในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าการกัดเซาะบริเวณท่อลอดทำให้สูญเสียมวลดินไปเป็นปริมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ของหน้าตัดท่อ ซึ่งทำให้ผิวทางทรุดตัว ส่วนการกัดเซาะบริเวณลาดดินเป็นแบบกัดเซาะแบบอุโมงค์และขยายเป็นแบบร่องกัดเซาะขนาดใหญ่เมื่ออุโมงค์พังทลายลง

ดินบริเวณลาดดินเป็นดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ แต่เมื่อทดสอบการกระจายตัวของดินเหนียวตัวอย่างด้วยวิธี crumb test พบว่าดินเหนียวนี้เป็นดินเหนียวกระจายตัวระดับ 4 และ การทดสอบ double hydrometer แสดงว่าเป็นดินเหนียวกระจายตัวที่มีระดับการกระจายตัวเป็น 85.65 เปอร์เซ็นต์ และการทดสอบ pinhole แสดงว่าดินมีการกระจายตัวรุนแรงประเภท D1 การศึกษาเชิงเคมีพบว่าดินเหนียวมีปริมาณโซเดียมไม่สูงแต่ยังจัดเป็นดินเหนียวกระจายตัวตามผลการทดสอบ pinhole ซึ่งมีความน่าเชื่อถือที่สุด

การปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวด้วยการบดอัดแบบมาตรฐาน โดยไม่ปรับปรุงทางเคมี ไม่สามารถลดการกระจายตัวของดินเหนียวกระจายตัวได้ ดินยังถูกกัดเซาะอย่างรุนแรงซึ่งยืนยันจากการทดสอบด้วยวิธี pinhole ในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบในแปลงทดสอบในสนาม การปรับปรุงดินเหนียวกระจายตัวด้วยการบดอัดในห้องปฏิบัติการ โดยผสมปูนขาวด้วยปริมาณอย่างน้อย 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการกระจายตัวของดินได้ แต่เมื่อทดสอบกับแปลงดินบดอัดในสนามพบว่า

จะต้องใช้การบดอัดร่วมกับการใช้ปูนขาวอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ดินจึงจะหยุดกระจายตัวของดินได้อย่างเต็มที่ โดยไม่พบว่าดินมีตะกอนถูกพัดพามากับน้ำอีก

งานวิจัยต่อไปควรจะดำเนินการศึกษาต่อในเรื่องของการคงทนของปูนขาวต่อการชะล้าง (leaching) เนื่องจากตัวกลาง เนื่องจากในการใช้งานจริง ปูนขาวที่ใช้ผสมเพื่อลดการกระจายตัวของดินอาจถูกชะและละลายไปกับตัวกลาง อันอาจทำให้ประสิทธิภาพในการลดการกระจายตัวลดลง ดังนั้นการต้องทดสอบการกัดเซาะซ้ำกับตัวอย่างเดิมเป็นวัฏจักรเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการชะล้างปูนขาวต่อไป

ในงานวิจัยนี้พบว่าในดินเหนียวกระจายตัวจากแหล่งเก็บตัวอย่าง มีดินเหนียววมตัวที่ Montmorillonite เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งบวมตัวได้เมื่อมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น การทดสอบเบื้องต้นได้ยืนยันอย่างชัดเจนว่าดินเหนียวสามารถบวมได้เมื่อปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้น และดินเหนียวกระจายตัวในพื้นที่วิจัยมักอยู่ปะปนกับดินเหนียววมตัวนี้ หากสามารถวิจัยถึงความสัมพันธ์ระหว่างดินทั้งสองชนิดนี้ได้ อาจทำให้สามารถอธิบายได้ว่าเพราะเหตุใดการกระจายตัวจึงเป็นเฉพาะบางจุดในพื้นที่เท่านั้น



บรรณานุกรม

Crouch, R. J. (1976), Field tunnel erosion - a review, *Journal Soil Conservation New South Wales* 32(6): 98-111.

EM1110-2-1906 (1980), Engineering manual, Pinhole erosion test for identification of dispersive clays, Washington D.C., Department of the army, U.S. Army Corp. of Engineers.

Forsythe, R. (1977), Experience in identification and treatment of dispersive clays in Mississippi Dams, ASTM special technical publication No. 623, American Society for Testing and Materials: 135-155.

Gibb, H. J. (1962), A study of erosion and tractive force characteristics in relation to soil mechanics properties, Soil engineering report No. ENM-643, U.S. department of the interior, Bureau of reclamation.

Kornsilpa, N. (1993). Facies Characteristics and Engineering Properties of The Chi River Sediments in The Khon Kaen Area, Ph. D. Dissertation, AIT, Thailand.

Lynn, H. I. and O. G. Eyles (1984), Distribution and severity of tunnel gully erosion in New Zealand, *New Zealand Journal of Science* 27: 175-186.

McCarthy, D. F. (1982), *Essentials of soil mechanics and foundation*, 2nd edition, Prentice-Hall.

McDaniel, T. N. and S. R. Decker (1979), Dispersive soil problem at Los Esteros Dam, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE* Vol 15(9): 1017-1030.

Mitchell, J. K. (1976), *Fundamental of Soil Behavior*, Wiley & Sons, Inc., New York

Ouhadi, V. R. and A. R. Goodarzi (2006), Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum, *Engineering Geology* 85(1-2): 90-101.

Peck, J. R. (1969), Deep Excavation and Tunneling in soft ground, State-of-the-Art report, Proceeding of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico.

Ryker, L. N. (1977), Encountering dispersive clays on SCS project in Oklahoma. ASTM special technical publication No. 623, American Society for Testing and Materials: 370-389.

Schafer, J. G. and Trangmar B. B. (1981), Some factors affection tunnel gully erosion, Proc. 10th international conference on soil mechanics and foundation engineering, Stockholm, A. A. Balkema.

Sherard, J. L., Decker, S. R., and Dunnigan, P. L. (1976), Identification and Nature of Dispersive Soils, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE* 102(4): 287-301.

Thitimakorn, T. (1994), Engineering properties of Claystone Residual soils in the Khon Kaen Area, M.Sc., AIT, Thailand.

Tosun, H. (1997), Comparative study on physical tests of dispersibility of soil used for earthfill dams in Turkey, *Geotechnical testing journal, GTJODJ* 20(2): 242-251.

Udomchoke, V. (1989), Engineering Properties of Loessial Soils in Khon Kaen City, M.Sc., AIT, Thailand.

USDA (1991), Dispersive clays, Soil mechanics note No. 13, U.S. Department of agriculture, Soil conservation service, Engineering division.

Vacher, C. A., Loch, J. R., and Raine, R. S. (2004), Identification and management of dispersive mine spoils, Australia, Australian center for mining environment research.

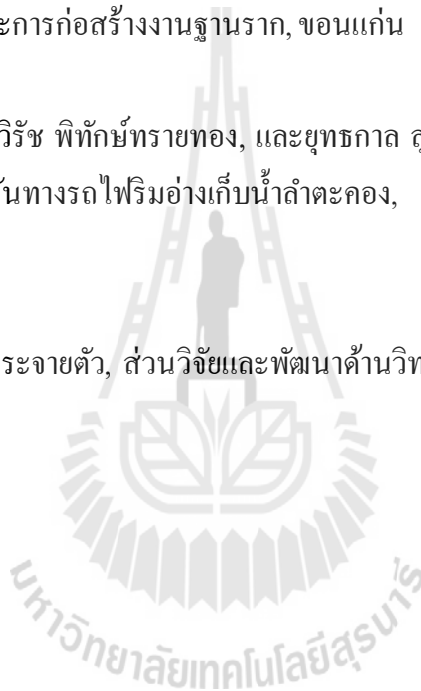
วารสาร ไม้เรียง (2542), วิศวกรรมเขื่อนดิน: พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์ไลบรารีนาย

คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี (2528), กลุ่มงานวิเคราะห์ดินและน้ำ, กองเกษตรเคมี, กรมวิชาการเกษตร

นภดล กรณ์ศิลป์, ชนะ นิธิวัฒน์, วีระศักดิ์ อุดมโชค, และ ประหยัด นิคมภักดี (2544), ลักษณะธรณีวิทยาและคุณสมบัติทางวิศวกรรมชั้นดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, เอกสารการอบรมการสำรวจชั้นดิน การออกแบบ และการก่อสร้างงานฐานราก, ขอนแก่น

วันชัย เทพรักษ์, จเร รุ่งฐานิย์, วิรัช พิทักษ์ทรายทอง, และยุทธกาล สุวรรณเวช (2547), การปรับปรุงเสถียรภาพการกระจายตัวของคันทางรถไฟริมอ่างเก็บน้ำลำตะคอง, เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9

สมเจตน์ ถิ่นนคร (2546), ดินกระจายตัว, ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน



ผลงานวิจัยตีพิมพ์

ธงชัย บุญกลิ่ง, พลอนันต์ สด โศกกรวด, และพรพจน์ ตันเส็ง (2552), การปรับปรุงดินเหนียว
กระจายตัวด้วยวิธีทางกลและวิธีทางเคมี, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14,
นครราชสีมา

