รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเพื่อหาแนวทางปรับปรุงดินตามแนวตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างเพื่อเป็นชั้นกันซึมสำหรับสระเก็บน้ำ

โดย

ดร.ฉัตรภูมิ วิรัตนจันทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2550

สารบัญเรื่อง

สารบัญรูป IV

สารบัญตาราง VI

กิตติกรรมประกาศ VI

บทคัดย่อ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและสภาพของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ 3

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 4

2.1 สภาพปัญหาทั่วไปของภัยแล้ง 4

2.2 สถานการณ์และมาตรการรองรับภัยแล้งปี 2550 โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล 12

2.3 ผลสำรวจสภาพปัญหาทั่วไปของภัยแล้งจากการออกสำรวจพื้นที่ (ฉัตรภูมิ 2551) 13

2.4 ความสำคัญของแหล่งน้ำและการจัดการน้ำในทฤษฎีใหม่ 14

2.4.1 การการเลือกพื้นที่ดำเนินการ 14

2.4.2 การแบ่งสัดส่วนพื้นที่ดำเนินการ 14

2.4.3 การพิจารณาศักยภาพความเหมาะสมของดินในการขุดสระน้ำและการกักเก็บน้ำ 15

2.5 เทคโนโลยีชั้นกันซึมสำหรับสระเก็บน้ำ 17

บทที่ 3 วัสดุและการทดลอง 22

3.1 ทดสอบเบนโทไนต์ 22

3.2 การทดสอบดิน 23

3.2.1 Grain Size Analysis 23

3.2.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน 28

3.2.3 Compaction Test 31

3.2.4 การทดสอบ DRY DENSITY IN SITU TEST (SAND REPLACEMENT) 36

3.2.5 ค่าความซึมได้ของน้ำในดิน 41

บทที่ 4 หลักการออกแบบและก่อสร้างสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง 44

4.1 ปรัชญาในการออกแบบสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง 44

4.1.1 สาเหตุของความล้มเหลวในการขุดสระเก็บน้ำ (ฉัตรภูมิ 2551) 44

4.1.2 ปัจจัยที่พิจารณาในการออกแบบ 45

4.2 แนวทางการออกแบบและก่อสร้างสระต้านภัยแล้งโดยใช้ดินปรับปรุงเบนโทไนต์ 46

4.3 องค์ประกอบสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง 47

4.4 พื้นที่รับน้ำเทียมเพื่อรับน้ำฝน (artificial catchments) 48

4.5 ปัจจัยพิจารณาวัสดุชั้นกันซึม 49

4.6 ขั้นตอนก่อสร้างสระต้นแบบขนาดเล็กของสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง ณ บ้านอุ่มยาง อำเภอพนา จังหวัดอำนาจเจริญ (ฉัตรภูมิ 2551) 50

บทที่ 5 โปรแกรมการสำรวจ ผลการทดสอบดิน การวิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย 53

บรรณานุกรม 78

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงพื้นที่ภัยแล้งซ้ำซาก 11

รูปที่ 2.3 รูปแบบการจัดวาง Double composite ที่ใช้ทั่วไป (Koerner 1999) 19

รูปที่ 2.4 สระน้ำขนาดประมาณ 100 เมตรX 60 เมตร ลึกประมาณ 3 เมตร ปูด้วยพลาสติก และเกิดการรั่วซึม พลาสติกเกิดการฉีกขาดและเกิดการวิบัติโดยการลื่นไถลของดินชั้นป้องกันพลาสติก 20

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการกระจายขนาดของมวลดิน 23

รูปที่ 3.3 สัดส่วนองค์ประกอบของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ และความแน่นของดิน 31

ณ ภาวะต่าง ๆ 31

รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้ง และช่วงที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ 32

รูปที่ 3.5 ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินชนิดต่าง ๆ 33

รูปที่ 3.6 แบบหล่อ และฆ้อน หรือตุ้มบดอัด 34

รูปที่ 3.7 การบดอัดชั้นสุดท้ายให้พ้นตัวแบบเล็กน้อย 35

รูปที่ 3.8 ลำดับขั้นตอนบดอัดดินแต่ละชั้นในแบบหล่อ 35

รูปที่ 3.9 ขวดแก้วบรรจุทราย กรวยโลหะ และแท่นฉาดโลหะ และการทดสอบความแน่นของดินในสนาม 38

รูปที่ 3.10 การทดสอบความซึมได้ของน้ำในดินโดยวิธี Constant Head 42

รูปที่ 4.1 สระน้ำขุดลึก 4 เมตร ที่ไม่ประสพความสำเร็จในการกักเก็บน้ำทั้งหน้าฝนและหน้าแล้ง (อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี บันทึกในวันที่ 25 ธันวาคม 2550) 45

รูปที่ 4.2 พื้นที่รับน้ำฝนลักษณะต่างๆของสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง 48

รูปที่ 5.1 จุดเก็บดินจุดที่ 1 ฝั่งไทย (ท1) 54

รูปที่ 5.2 จุดเก็บดินจุดที่ 2 ฝั่งไทย (ท2)..... 55

รูปที่ 5.3 จุดเก็บดินฝั่งลาว (ล1, ล2, ล3) 56

รูปที่ 5.4 Crop Suitability Map of Mekhong Lower Basin (Mekong Secretariat with the Technical Collaboration of B.D.P.A. and Assistance from the Government of France).....56

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงเนื้อที่แล้งซ้ำซาก 10

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของ Bentonite 22

ตาราง 3.2 ตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ (U.S. Standard) 24

ตาราง 3.3 ชนิดของแร่ธาตุและค่าความถ่วงจำเพาะ 29

ตารางค่า 3.4 Gw ของน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆ 31

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบแบบ Standard และ Modified Proctor . 33

ตารางที่ 3.6 ปริมาตรของหลุมตัวอย่างและน้ำหนักตัวอย่างมวลรวมที่ใช้หาความชื้น.....48

ตารางที่ 3.7 ปริมาตรของน้ำ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ 40

ตารางที่ 3.8 สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดิน 41

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลอง 57

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติในการสนับสนุนงานวิจัย สำหรับปีงบประมาณ 2550 อีกทั้งขอบคุณคำแนะนำอันเป็นประโยชน์จากคณะทำงานและคณะกรรมการขอบคุณบุคคลากรของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องและผลักดันให้งานวิจัยนี้แล้วเสร็จ

บทคัดย่อ

การขุดสระในพื้นที่ดินทรายประกอบกับเป็นที่เนินหรือการขุดสระในพื้นที่ที่มีน้ำใต้ดินอยู่ลึกจากผิวดินมากกว่าความลึกก้นสระจะทำให้ไม่มีน้ำกักเก็บในสระดังกล่าวโดยเฉพาะเมื่อพ้นฤดูฝนประมาณ 1-2 เดือน ผลจากงานวิจัยชี้ชัดว่าตามแนวตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างในบริเวณกว้างจะเป็นลักษณะดินปนทรายจึงประสบปัญหาสระเก็บน้ำไม่มีน้ำโดยเฉพาะในหน้าแล้ง การทดลองค่าความซึมได้ของตัวอย่างดินจากฝั่งไทย 2 แหล่ง และจากฝั่งลาว 3 แห่ง ได้ค่าความซึมได้อยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูงแต่เมื่อทำการปรับปรุงดินปนทรายจากทั้ง 5 แหล่งข้างต้นค่าความซึมได้ลดลงอย่างมากซึ่งอยู่ในเกณฑ์การใช้เป็นชั้นกันซึมได้คือ 10^{-9} เมตรต่อวินาที ผลจากการวิจัยบ่งชี้ถึงการเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงดินผิวสระให้มีความซึมได้ต่ำและกักเก็บน้ำได้ซึ่งจะสามารถใช้เป็นแนวทางการพัฒนาแหล่งน้ำในพื้นที่ตามแนวตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างได้เป็นอย่างดีส่งผลให้เกิดการยกระดับชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกรและชุมชนให้ดีขึ้นอย่างยั่งยืน

ABSTRACT

In most arid areas especially in sandy area, there is no water to fill the pond all year round and the pond itself cannot hold the water due to high permeability of sandy soil. Most of the Southern part of Thai-Lao border is the sandy area. Therefore, there is the drought problem in this particular zone. Permeability test of sample soils, two sources form Thai border and three sources from Lao border, showed the moderate to high permeability before the improvement. Improving the soils by mixing bentonite to those soils, their permeability is reduced dramatically, which is $< 10^{-9}$ m/sec, and can be used as the pond liner. The research output demonstrates the possibility to develop water resources in the Southern part of Thai-Lao border by reducing the permeability of pond-surface soil as a result in minizing the leakage of water from the pond. With enough water, the quality of life of the farmers and people in the community can be improved.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและสภาพของปัญหา

การขุดสระในพื้นที่ดินทรายประกอบกับเป็นที่เนินหรือการขุดสระในพื้นที่ที่มีน้ำใต้ดินอยู่ลึกจากผิวดินมากกว่าความลึกก้นสระจะทำให้ไม่มีน้ำกักเก็บในสระดังกล่าวโดยเฉพาะเมื่อพ้นฤดูฝนประมาณ 1-2 เดือน (ฉัตรภูมิ 2551) แม้ส่วนใหญ่ของพื้นที่ภาคอีสานมีปริมาณฝนอย่างเพียงพอหรือเกินพอในหน้าฝนแต่พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นดินประเภทดินทรายแป้ง (กรมพัฒนาที่ดิน 2551) เมื่อทำการขุดทำเป็นสระน้ำ ก็ไม่สามารถเก็บน้ำอยู่และแห้งภายในเดือนกว่าหลังสิ้นหน้าฝน ซึ่งสามารถพบเห็นได้ทั่วๆไป ทำให้พื้นที่จำนวนมากประสบปัญหาภัยแล้งซึ่งช่วงแล้งนี้ยาวนานประมาณ 5 เดือนในแต่ละปีการแก้ปัญหาโดยใช้น้ำบาดาลมีข้อจำกัดอย่างมากทั้งคุณภาพและปริมาณ เนื่องจากพื้นที่ภาคอีสานเป็นโดมเกลือทำให้บาดาลในหลายพื้นที่ของภาคอีสานมีความเค็มไม่เหมาะแก่การบริโภค อุปโภค หรือนำไปใช้ทางด้านการเกษตร (เจริญ 2540, สุดารัตน์ 2549) ถึงแม้คุณภาพของน้ำบาดาลในหลายพื้นที่มีคุณภาพดีแต่ต้นทุนของการนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ยังสูงและไม่คุ้มค่าอีกทั้งปริมาณน้ำใต้ดินอาจไม่เพียงพอเมื่อมีความต้องการใช้น้ำสูงโดยเฉพาะสำหรับการเกษตร การพัฒนาแหล่งน้ำบนดิน เช่น สระน้ำหมู่บ้าน หรือการขุดสระน้ำในที่ทำกินที่มีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีใหม่แต่ถ้าหากไม่มีการออกแบบชั้นกันซึมของสระอย่างเหมาะสมน้ำย่อมรั่วซึมหมดภายในระยะเวลาที่รวดเร็วและแห้งในเดือนธันวาคมหรือมกราคมซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นแล้งของทุกปี (กรมทรัพยากรน้ำ 2550) เป็นผลทำให้ไม่สามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีใหม่ได้ในช่วงแล้งเนื่องจากไม่มีน้ำต้นทุนสำหรับใช้บริหารจัดการได้อย่างเพียงพอ

ปัญหาการขาดแคลนน้ำสรุปได้จากข้อมูลกรมชลประทานและกรมทรัพยากรน้ำ (สมเกียรติ 2550) โดยการขาดแคลนน้ำแยกได้ 2 ลักษณะคือน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและน้ำเพื่อการเกษตร จากการขาดแคลนน้ำใน 25 ลุ่มน้ำหลักมีอยู่ 8 ลุ่มน้ำที่มีการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงได้แก่ ลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำชี ลุ่มน้ำมูล ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก ลุ่มน้ำกก และลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยลุ่มน้ำที่เหลือจะขาดแคลนน้ำในระดับน้อยถึงปานกลาง โดยเฉลี่ยทุกปีจะมีหมู่บ้านที่ประสบภัยแล้งประมาณประมาณร้อยละ 40-50 ของทั้งหมด 70,029 หมู่บ้านทั่วประเทศ หากจำแนกตามลักษณะการขาดแคลนน้ำตามข้อมูล กรมชลประทานและกรมทรัพยากรน้ำ 2548 มีหมู่บ้านที่ขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค 14,580 หมู่บ้าน หมู่บ้านที่ขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรอยู่นอกเขตชลประทาน 12,900 อยู่ในเขตชลประทาน 1,100 หมู่บ้าน

การขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภคกำลังได้รับการแก้ไขจากโครงการเร่งด่วนของรัฐหลายโครงการเช่น โครงการประปาชนบท การเจาะน้ำบาดาลเพิ่มเติม แต่การแก้ปัญหาดังกล่าวมิอาจสัมฤทธิ์ผลในเวลาอันสั้นได้อีกทั้งใช้งบประมาณจากภาครัฐจำนวนมาก ทางแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภคที่มีประสิทธิภาพทางหนึ่งคือการเก็บน้ำฝนไว้ใช้ จากงานวิจัยสิ่งประดิษฐ์เพื่อป้องกันและหรือแก้ไขปัญหาจากน้ำท่วมและหรือภัยแล้งโดย ฉัตรภูมิ (2551) ได้ออกแบบถังเก็บน้ำซึ่งฝังในดินประมาณ 0.8-1 เมตร และโผล่พ้นดินประมาณ 0.45 เมตร มีฝาแผ่นไม้กระดานหรือไม้ไผ่ปิดสามารถใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆได้โดยไม่เสียพื้นที่ใช้สอย หากก่อสร้างขนาด 5X10 ตารางเมตรจะสามารถเก็บน้ำได้ 70 ลูกบาศก์เมตร จากการคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการบริโภคของคนและสัตว์ ปริมาณน้ำนี้เพียงพอสำหรับครอบครัวชนบท 5 คนต่อครัวเรือนสามารถเลี้ยงสัตว์เช่น ไก่ไข่ หมู วัว ควาย ฯลฯ อีกทั้งยังเพียงพอสำหรับพืชผักสวนครัวได้ตลอดแล้ง (ฉัตรภูมิ 2551) เนื่องจากปริมาณน้ำมีจำกัดจึงเพียงพอแค่การอุปโภคบริโภคภายในครัวเรือนไม่เพียงพอในการทำเกษตรกรรมในหน้าแล้ง รายได้หลักของประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวจึงไม่ใช่มาจากการเกษตรในช่วงแล้งแต่อาจเป็นรายได้จากงานหัตถกรรมพื้นบ้านเป็นต้น หากประชาชนในพื้นที่แล้งดังกล่าวต้องการทำเกษตรผสมผสานในช่วงแล้งโดยใช้หลักความรู้จากทฤษฎีใหม่ที่ทำให้เกษตรกรมีรายได้จากการเกษตรตลอดปีจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีน้ำต้นทุนอย่างเพียงพอ การขุดสระน้ำคือการแก้ปัญหาแต่เมื่ออยู่ในพื้นที่ซึ่งไม่มีน้ำใต้ดินไหลเข้าสระและดินไม่กักเก็บน้ำนวัตกรรมสระเก็บน้ำต้านภัยแล้งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินทราย หรือ ดินทรายแป้งจากพื้นที่ศึกษาของไทย-ลาว เช่น Atterberg's Limit, sieve analysis, hydrometer, specific gravity, shrinkage limit
2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินทราย หรือ ดินทรายแป้งจากพื้นที่ศึกษาของไทย-ลาวผสมเบนโทไนต์ เช่น Atterberg's Limit, sieve analysis, hydrometer, specific gravity, shrinkage limit ที่อัตราเบนโทโนต์ในดินผสมแตกต่างกัน
3) เพื่อหาค่าความซึมได้ของดินทราย หรือ ดินทรายแป้งจากพื้นที่ศึกษาของไทย-ลาว ผสมเบนโทโนต์ที่อัตราส่วนเบนโทไนต์ในดินผสมแตกต่างกัน

4) สรุปความเป็นได้จากข้อมูลดินที่ทำการศึกษาในการใช้เทคโนโลยีการปรับปรุงดินตามแนวตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างเพื่อเป็นชั้นกันซึมสำหรับสระเก็บน้ำเพื่อการพัฒนาแหล่งน้ำของครัวเรือน, หมู่บ้านและชุมชน ขจัดปัญหาภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำโขงและยังสามารถพึ่งพาตนเองได้เพราะมีแหล่งน้ำสำหรับเลี้ยงชีพ เช่น ไร่นาสวนผสมตามหลักพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ

ได้แนวทางปรับปรุงดินตามแนวตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างเพื่อเป็นชั้นกันซึมสำหรับสระเก็บน้ำ

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1) ศึกษาและทบทวนข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยอาศัยหลักการทฤษฎีและองค์ประกอบต่างๆ จากงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาวิจัยมาแล้ว เพื่อกำหนดประเด็น, ขอบเขต, และพื้นที่ ในการศึกษา
2) สำรวจพื้นที่เป้าหมายเพื่อเก็บข้อมูลดินและน้ำใต้ดิน และเพื่อเก็บดินในหน้างานมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ
3) ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการในการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินทรายแป้งผสมเบนโทไนต์
4) ทำการทดลองหาค่าความซึมได้ในห้องปฏิบัติการสำหรับดินทรายแป้ง, ดินทรายแป้งผสมเบนโทไนต์
5) สรุปผลการวิจัยและเสนอแนวทางในการทำวิจัยต่อเนื่อง รวมทั้งชี้แจงปัญหาและอุปสรรคในการวิจัยดำเนินงาน

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 สภาพปัญหาทั่วไปของภัยแล้ง

ภัยแล้ง หมายถึง ความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ อันเกิดจากการที่มีฝนน้อยกว่าปกติ หรือฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล เป็นระยะเวลานานกว่าปกติ และครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำดื่มน้ำใช้ พืชพันธุ์ไม้ต่างๆ ขาดน้ำ ทำให้ไม่เจริญเติบโตตามปกติเกิดความเสียหาย และความอดอยากทั่วไป ความแห้งแล้งเป็นภัยธรรมชาติประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางของประเทศไทย เพราะเป็นบริเวณที่อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เข้าไปไม่ถึง ทำให้เกิดความอดอยากแร้นแค้น ซึ่งหากปีใดที่ไม่มีพายุเคลื่อนผ่านเลยก็จะก่อให้เกิดความแห้งแล้งรุนแรงมากขึ้น อันเนื่องมาจากฝนทิ้งช่วงยาวนาน โดยภัยแล้งที่เกิดขึ้นทุกปีจะอยู่ระหว่างเดือนมิถุนายนต่อเนื่องถึงเดือนกรกฎาคม ในช่วงดังกล่าวพืชไร่ที่เพาะปลูกจะขาดน้ำได้รับความเสียหายมนุษย์ สัตว์ขาดแคลนน้ำดื่มน้ำใช้ ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีพรวมถึงด้านเศรษฐกิจและสังคม ทั้งนี้ความรุนแรงจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น ความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้ง และขนาดของพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง เป็นต้น

สาเหตุของการเกิดภัยแล้ง

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยแล้งสำหรับประเทศไทยแล้ว นอกจากฝน ยังมีปัจจัยอื่นที่เป็นองค์ประกอบอีกหลายอย่าง เช่น ระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศ กับน้ำทะเล หรือมหาสมุทร ดังนั้นการเกิดภัยแล้งจึงมิใช่เกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งเพียงอย่างเดียว ซึ่งพอจะประมวลสาเหตุของการเกิดภัยแล้งได้ ดังนี้

1. เนื่องจากสภาวะอากาศในฤดูร้อนที่ร้อนมากกว่าปกติ
2. เนื่องจากการพัดพาของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้
3. ความผิดปกติของตำแหน่งร่องมรสุม ทำให้ฝนตกในพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง
4. ความผิดปกติ เนื่องจากพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนที่ผ่านประเทศไทยน้อยกว่าปกติ
5. การเปลี่ยนแปลงความสมดุลของพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เช่น การเผาพลาสติก น้ำมัน และถ่านหิน ทำให้เกิดรูโหว่ในชั้นโอโซน

6. ผลกระทบจากปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก เนื่องจากส่วนผสมของบรรยากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ลอยขึ้นไปเคลือบชั้นล่างของชั้นโอโซน ทำให้ความร้อนสะสมอยู่ในอากาศใกล้ผิวโลกมากขึ้น ทำให้อากาศร้อนกว่าปกติ

7. การพัฒนาด้านอุตสาหกรรมต่างๆ

8. การตัดไม้ทำลายป่า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอันเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของภูมิอากาศ เช่น ฝน อุณหภูมิ และความชื้น

ฤดูกาลเกิดภัยแล้ง

การเกิดภัยแล้งโดยทั่วไปจะเกิดขึ้น 2 ช่วง ดังนี้

1. ในฤดูหนาวระหว่างเดือนตุลาคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ และต่อเนื่องมาถึงฤดูร้อน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนพฤษภาคม คือช่วงสิ้นสุดของฤดูฝน ซึ่งเริ่มจากครึ่งหลังของเดือนตุลาคม เป็นต้นไป บริเวณประเทศไทยตอนบนจะไม่มีฝนตกมา หรือถ้ามีก็จะมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ส่วนมากจะเป็นฝนจากพายุฝนฟ้าคะนอง จึงทำให้เกิดความแห้งแล้งเป็นประจำทุกปีในช่วงนี้ และมักจะมีไฟป่าเกิดขึ้นตามมาด้วย

2. ในฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม ในช่วงของกลางฤดูฝน ตั้งแต่ปลายเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม ในบริเวณประเทศไทยตอนบนจะเกิดความแห้งแล้ง เนื่องจากมีฝนทิ้งช่วงเกิดขึ้น ประมาณ 1 - 2 สัปดาห์ หรืออาจถึง 1 เดือน ปริมาณฝนในช่วงนี้จะลดลงมีผลกระทบต่อการเกษตรมาก ทำให้พืชขาดน้ำ เหี่ยวเฉา และแห้งตายไปในที่สุด

ปัญหาภัยแล้งกับการดำรงชีวิตของประชาชน

1. การขาดแคลนน้ำอุปโภค บริโภค

2. ผลิตผลทางการเกษตรลดลง ไม่เพียงพอต่อการบริโภค ทำให้สินค้าบางอย่างขาดแคลน ทำให้ราคาสินค้าอื่นสูงขึ้น

3. รัฐต้องสูญเสียงบประมาณช่วยเหลือผู้ประสบภัยแล้งปีหนึ่งๆ เป็นจำนวนสูง

4. ประชาชนไม่มีงานทำ ต้องอพยพเข้ามาทำงานในเมืองใหญ่ ทำให้เกิดปัญหาด้านเศรษฐกิจและสังคม

5. การระเหยของน้ำจากพื้นดิน มีผลกระทบทำให้พื้นดินขาดน้ำ พืชอาจล้มตายและผลผลิตลดลงได้

6. การประกอบการด้านอุตสาหกรรมต้องหยุดชะงัก เพราะขาดแคลนน้ำที่ใช้ในการผลิตพลังงาน

ภัยซ้ำซ้อนที่เกิดจากภัยแล้ง

1. เกิดไฟป่าขึ้น เช่น ต้นไผ่เสียดสีกัน หรือฟ้าผ่าทุ่งหญ้าแห้ง หรือเกษตรกรจุดไฟเผาฟางข้าว เผาหญ้า ทำให้เกิดลุกลามกว้างขวาง บางทีอาจลุกลามไหม้อาคารบ้านเรือน ไร่นา เสียหาย ควันไฟที่เผาไหม้ข้างทางมีผลเสียต่อทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุบัติเหตุทางจราจรขึ้นได้ เป็นต้น
2. มีลักษณะสภาวะของอากาศแปรปรวน เนื่องมาจากอากาศร้อนจัดติดต่อกันหลายๆ วัน ทำให้เกิดการสะสมความร้อนในบรรยากาศบริเวณหนึ่งไว้มาก เกิดลมสองกระแสพัดสอบเข้าหากัน ทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดเป็นแนวตีบของลมจะเกิดพายุฤดูร้อน หรือพายุฟ้าคะนองขึ้น มีลมกระโชกแรงเป็นพักๆ มีฝนตกหนัก ฟ้าผ่า เกิดในระยะสั้นไม่เกิน 2 ชั่วโมง บางครั้งกำลังลมทำให้พัดอาคารบ้านเรือน ทรัพย์สินเสียหายได้ อาจมีลูกเห็บตกเกิดร่วมด้วย

สาเหตุของการเกิดภัยแล้งโดยธรรมชาติ ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโลก
2. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
3. การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลภัยธรรมชาติ เช่น วาตภัย แผ่นดินไหว

สาเหตุของการเกิดโดยการกระทำของมนุษย์

1. การทำลายชั้นโอโซน
2. ผลกระทบของภาวะเรือนกระจก
3. การพัฒนาด้านอุตสาหกรรม
4. การตัดไม้ทำลายป่า

ภัยแล้งในประเทศไทย

ส่วนใหญ่ภัยแล้งในประเทศไทยเกิดจากฝนแล้งและทิ้งช่วง ซึ่งฝนแล้งเป็นภาวะปริมาณฝนตกน้อยกว่าปกติหรือฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาลโดยที่
ฝนแล้ง คือ ภัยธรรมชาติซึ่งเกิดจาก ฝนแล้ง ไม่ตกตามฤดูกาล มีสาเหตุจาก พายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนผ่านประเทศไทยน้อย ร่องความกดอากาศต่ำมีกำลังอ่อน มรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังอ่อน เกิดสภาวะฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน หรือเกิดปรากฏการณ์เอลนิโญรุนแรง ทำให้ฝนน้อยกว่าปกติ ทำให้ผลผลิตการเกษตรเสียหาย ขาดน้ำ เหี่ยวเฉา แห้งตายในที่สุด โรคพืชระบาด คุณภาพด้อยลง อุตสาหกรรมเกษตรเสียหาย ขาดแคลนอุปโภคบริโภค กระทบกับการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

ฝนทิ้งช่วง คือ ช่วงที่มีปริมาณฝนตกไม่ถึงวันละ 1 มิลลิเมตร ติดต่อกันเกิน 15 วัน จะเกิดในช่วงฤดูฝน ประมาณเดือนมิถุนายน และกรกฎาคม

การแบ่งระดับความรุนแรงของฝนแล้ง ดังนี้

-ภาวะฝนแล้งอย่างเบา

-ภาวะฝนแล้งปานกลาง

-ภาวะฝนแล้งอย่างรุนแรง

ระยะเวลาการเกิดภัยแล้ง

ช่วงที่ .1 ช่วงฤดูหนาวต่อเนื่องถึงฤดูร้อน ซึ่งเริ่มจากครึ่งหลังของเดือนตุลาคมเป็นต้นไป บริเวณประเทศไทยตอนบน) ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออก (จะมีปริมาณฝนลดลงเป็นลำดับ จนกระทั่งเข้าสู่ฤดูฝนในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมของ ปีถัดไป ซึ่งภัยแล้งลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี

ช่วงที่ 2. ช่วงกลางฤดูฝน ประมาณปลายเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม จะมีฝนทิ้งช่วงเกิดขึ้น ภัยแล้งลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะท้องถิ่นหรือบางบริเวณ บางครั้งอาจครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเกือบทั่วประเทศ

ภัยแล้งในประเทศไทยส่วนใหญ่มีผลกระทบต่อการเกษตรกรรม โดยเป็นภัยแล้งที่เกิดจากขาดฝนหรือฝนแล้ง ในช่วงฤดูฝน และเกิด ฝนทิ้งช่วง ในเดือนมิถุนายนต่อเนื่องเดือนกรกฎาคม พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งมาก ได้แก่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง เพราะเป็นบริเวณที่อิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เข้าไปไม่ถึง และถ้าปีใดไม่มีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนผ่านในแนวดังกล่าวแล้วจะก่อให้เกิดภัยแล้งรุนแรงมากขึ้น นอกจากพื้นที่ดังกล่าวแล้ว ยังมีพื้นที่อื่น ๆ ที่มักจะประสบปัญหาภัยแล้งเป็นประจำอีกดังตารางข้างล่าง

ภาค/เดือน	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก	ใต้	
					ฝั่งตะวันออก	ฝั่งตะวันตก
ม.ค.						ฝนแล้ง
ก.พ.		ฝนแล้ง	ฝนแล้ง			ฝนแล้ง
มี.ค.	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง
เม.ย.	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง		ฝนแล้ง
พ.ค.						ฝนแล้ง
มิ.ย.	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง		
ก.ค.	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง		

การเกิดภัยแล้งที่ผ่านมา

ในช่วงปี 2510-2536 เกิดภัยแล้งในหลายพื้นที่เนื่องจากฝนทิ้งช่วงกลางฤดูฝนเป็นระยะเวลายาวนานกว่าปกติ ตั้งแต่กรกฎาคมถึงกันยายน บริเวณที่ได้รับผลกระทบเป็นบริเวณกว้างคือ ภาคเหนือต่อภาคกลางทั้งหมด ตอนบนและด้านตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และตอนบนของภาคใต้ฝั่งตะวันออก

พ.ศ .2510 พื้นที่ตั้งแต่จังหวัดชุมพรขึ้นมา รวมถึงตอนบนของประเทศเกือบทั้งหมดในภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือรวมทั้งกรุงเทพมหานคร มีปริมาณฝนน้อยมาก ทำให้เกิดภัยแล้งขึ้น

พ.ศ .2511 พื้นที่ตั้งแต่ตอนกลางของภาคเหนือบริเวณจังหวัดพิษณุโลก ภาคกลางทั้งภาคตลอด ถึงด้านตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และตลอดฝั่งอ่าวไทยของภาคใต้เกือบทั้งหมด ได้รับปริมาณฝนน้อยมาก และส่งผลให้เกิดภัยแล้ง

พ.ศ .2520 มีรายงานว่าเกิดภัยแล้วในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกลางเดือนสิงหาคม พื้นที่ที่ประสบภัยเกือบทั่วประเทศ

พ.ศ.2522 เป็นปีที่เกิดฝนแล้งรุนแรง โดยมีรายงานว่าเกิดภัยแล้งในช่วงครึ่งหลังของเดือนกรกฎาคม และช่วงปลายเดือนสิงหาคมต่อเนื่องถึงสัปดาห์ที่ 3 ของเดือนกันยายน เนื่องจากปริมาณฝนตกลงมามีน้อยมาก ทำความเสียหายและมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยเฉพาะด้านเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมรวมทั้งการผลิตไฟฟ้า นอกจากนั้นยังกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนในประเทศเพราะขาดน้ำกิน น้ำใช้ บริเวณที่แล้งจัดนั้นมีบริเวณกว้างที่สุดคือ ภาคเหนือต่อภาคกลางทั้งหมด ทางตอนบนและด้านตะวันตก ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน

พ.ศ .2529 มีรายงานความเสียหายจากสำนักเลขาธิการป้องกันภัยฝ่ายพลเรือน กระทรวงหมาดไทยว่าบริเวณที่ประสบภัยมีถึง 41 จังหวัด ซึ่งภัยแล้งในปีนี้เกิดจากภาวะฝนทิ้งช่วงที่ปรากฏ ชัดเจนเป็นเวลาหลายวัน คือช่วงปลายเดือนพฤษภาคมถึงต้นเดือนมิถุนายน ช่วงปลายเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม ช่วงครึ่งหลังของเดือนกันยายนและช่วงครึ่งแรกของเดือนตุลาคม

พ.ศ .2530 เป็นปีที่ประสบกับภัยแล้งหนักอีกครั้งหนึ่งหลังจากที่ประสบมาแล้วจากปี 2529 โดยพื้นที่ที่ประสบภัยเป็นบริเวณกว้างใน เกือบทุกภาคของประเทศ โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก และทวีความรุนแรงมากขึ้นในช่วงตอนกลางฤดูฝน

พ.ศ .2533 มีฝนตกน้อยมากในเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายนทั่วประเทศ พื้นที่ทางการเกษตรที่ประสบปัญหาภัยแล้งส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้

พ.ศ .2534 เป็นปีที่ปริมาณฝนสะสมมีน้อยตั้งแต่ต้นฤดูฝน เนื่องจากมีฝนตกในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางน้อยมาก อีกทั้งระดับน้ำในเขื่อนและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าปกติมาก กรมชลประทานไม่สามารถที่จะระบายน้ำลงมาช่วงเกษตรกรที่อยู่ใต้เขื่อนได้ ทำให้เกิดภาวะการขาดแคลนน้ำขึ้น ในหลายพื้นที่บริเวณภาคเหนือตอนล่าง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันตก

พ.ศ .2535 มีรายงานว่าเกิดภัยแล้งขึ้นในช่วงเดือนมีนาคมต่อเนื่องถึงเดือนมิถุนายนจากภาวะที่มีฝนตกในช่วงฤดูร้อนน้อย และมีภาวะฝนทิ้งช่วงปลายเดือนมิถุนายนต่อเนื่องต้นเดือนกรกฎาคม โดยพื้นที่ที่ประสบภัยแล้งส่วนใหญ่อยู่ใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคใต้และภาคเหนือตามลำดับ

พ.ศ .2536 มีรายงานว่าเกิดภัยแล้ง ในช่วงเดือนมีนาคมถึงกลางเดือนพฤษภาคม และในช่วงกลางเดือนมิถุนายน เนื่องจากเกิดภาวะฝนทิ้งช่วงตั้งแต่ประมาณกลางเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนกรกฎาคม นอกจากนั้นในช่วงปลายฤดูเพาะปลูก ฝนหมดเร็วกว่าปกติ โดยพื้นที่ที่ประสบภัยส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ตามลำดับ

พ.ศ 2541 .จากปรากฏการณ์เอลนิญโญที่เกิดขึ้นเป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้ประเทศไทยประสบกับปัญหาภัยแล้ง และมีผลกระทบ กว้างขวางเพิ่ม ขึ้นกว่าในปี พ.ศ 2540 .ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งประเทศเท่ากับ1,516.8 มิลลิเมตรต่อปี เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากปี พ.ศ 2540 .โดยปริมาณ น้ำฝนเฉลี่ยของ ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลดลงจากปี พ.ศ 2540 .จึงทำให้ปริมาณ น้ำในอ่างเก็บน้ำ ขนาดใหญ่ อยู่ในเกณฑ์ต่ำ

ปัญหาน้ำใต้ดิน

ปัญหาหลักที่เกี่ยวข้องกับเรื่องน้ำใต้ดิน คือ ปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลเสื่อมโทรมจากการไหลซึม ของน้ำเสียลงสู่ใต้ดินในชั้นน้ำบาดาล ปัญหาการทรุดตัว ของแผ่นดินและในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีระดับความลึกของบ่อบาดาลอยู่ที่ระดับเฉลี่ย 90-80 เมตรอีกทั้งมีชั้นเกลือหินอยู่ทำให้น้ำบาดาลในหลายพื้นที่มีความเค็มไม่สามารถใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ ปริมาณน้ำเฉลี่ย 3-2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (กรมทรัพยกรน้ำบาดา2551) เนื่องจากมีการใช้น้ำบาดาลเป็นปริมาณมากในแต่ละปีจนเกินกำลังการผลิตของธรรมชาติ

ผลกระทบของภัยแล้งในประเทศไทย

ภัยแล้งในประเทศไทยมีผลกระทบโดยตรงกับการเกษตรและแหล่งน้ำ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศ ที่ประชาชนประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ภัยแล้งจึงส่งผลเสียหายต่อกิจกรรมทางการเกษตร เช่น พื้นดินขาดความชุ่มชื้น พืชขาดน้ำ พืชชะงักการเจริญเติบโต ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพต่ำ รวมถึงปริมาณลดลง ส่วนใหญ่ภัยแล้งที่มีผลต่อการเกษตร มักเกิดในฤดูฝนที่มีฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน ผลกระทบที่เกิดขึ้นรวมถึงผลกระทบด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ด้านเศรษฐกิจ สิ้นเปลืองและสูญเสียผลผลิตด้านเกษตร ปศุสัตว์ ป่าไม้ การประมง เศรษฐกิจทั่วไป เช่น ราคาที่ดินลดลง โรงงานผลิตเสียหาย การว่างงาน สูญเสียอุตสาหกรรมการ ท่องเที่ยว พลังงาน อุตสาหกรรมขนส่ง

2. ด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อสัตว์ต่าง ๆ ทำให้ขาดแคลนน้ำ เกิดโรคกับสัตว์ สูญเสียความหลากหลายพันธุ์ รวมถึงผลกระทบด้านอุทกวิทยา ทำให้ระดับและปริมาณน้ำลดลง พื้นที่ชุ่มน้ำลดลง ความเค็มของน้ำเปลี่ยนแปลง ระดับน้ำในดินเปลี่ยนแปลง คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลง เกิดการกัดเซาะของดิน ไฟป่าเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพอากาศและสูญเสียทัศนียภาพ เป็นต้น

3. ด้านสังคม เกิดผลกระทบในด้านสุขภาพอนามัย เกิดความขัดแย้งในการใช้น้ำและการจัดการ คุณภาพชีวิตลดลง

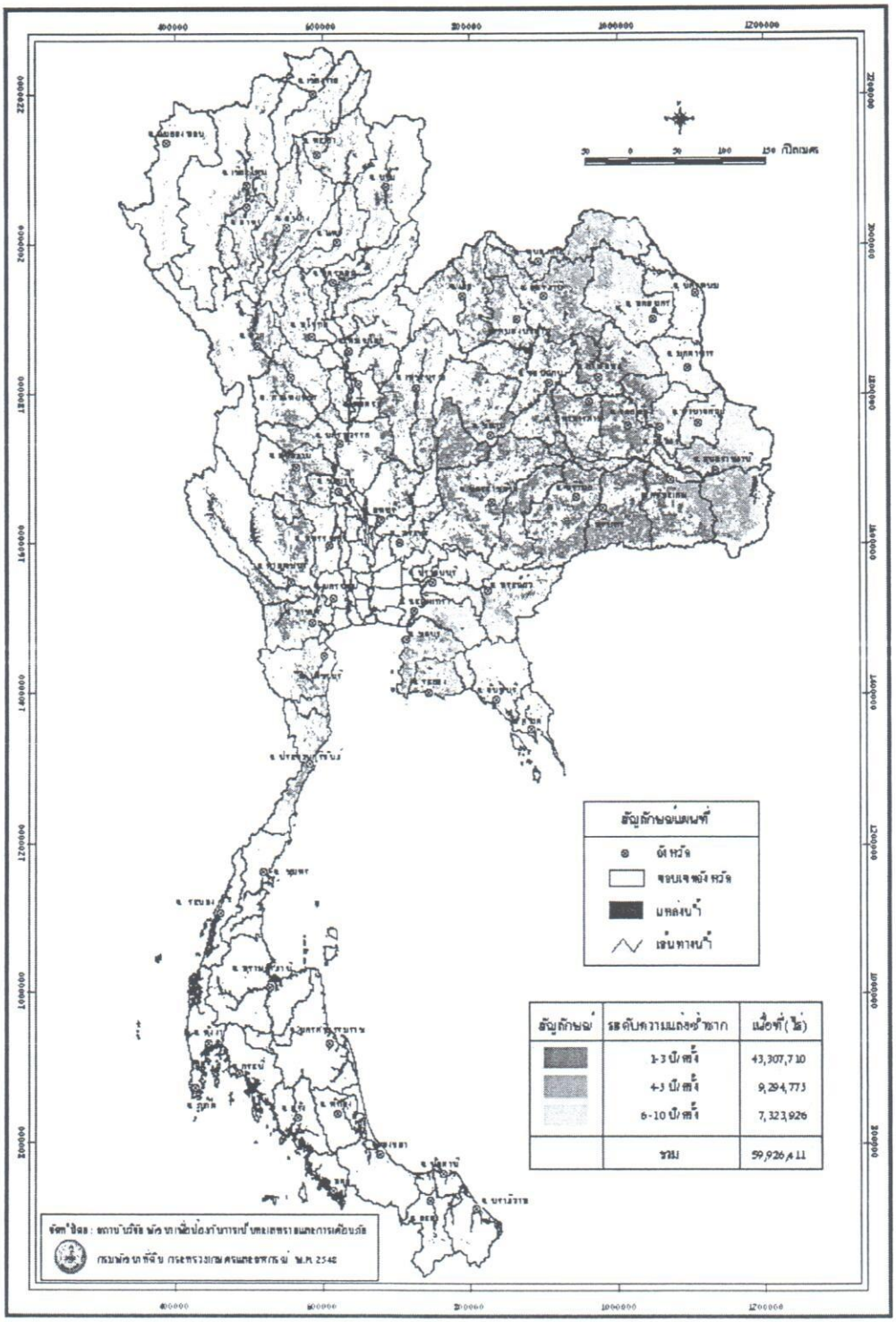
พื้นที่แล้งซ้ำซาก หมายถึงพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งด้านการเกษตรและเป็นพื้นที่เกิดขึ้นเป็นประจำหรือบ่อยครั้งความแห้งแล้งด้านการเกษตร หมายถึง สภาวะที่มีฝนน้อยหรือไม่มีฝน ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำสำหรับพืช ทำให้พืชได้รับความเสียหายเป็นบริเวณกว้าง

ระดับความถี่ของการเกิดความแห้งแล้ง แบ่งออกเป็น 3 ระดับ

1.ระดับรุนแรงมาก เป็นสภาวะที่ประสบความแห้งแล้ง 3-1 ปีต่อครั้ง
2.ระดับรุนแรงปานกลาง เป็นสภาวะที่ประสบความแห้งแล้ง 5-4 ปีต่อครั้ง
3.ระดับรุนแรงเล็กน้อย เป็นสภาวะที่ประสบความแห้งแล้ง 10-6 ปีต่อครั้ง

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงเนื้อที่แล้งซ้ำซาก

ระดับความแล้งซ้ำซาก	เนื้อที่ (ไร่)					รวมเนื้อที่ทั้งหมด (ไร่)
	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคตะวันออก	ภาคกลาง	ภาคใต้	
1-3 ปี/ครั้ง	10,519,595	26,572,673	1,460,142	4,755,300	-	43,307,710
4-5 ปี/ครั้ง	77,994	8,385,481	760,930	69,652	718	9,294,775
6-10 ปี/ครั้ง	31,188	5,708,256	1,433,361	84,565	66,556	7,323,926
รวม	10,628,777	40,666,410	3,654,433	4,909,517	67,274	59,926,411



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงพื้นที่ภัยแล้งซ้ำซาก

2.2 สถานการณ์และมาตรการรองรับภัยแล้งปี 2550 โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

สถานการณ์ภัยแล้ง

ในฤดูฝนที่ผ่านมาประเทศไทยมีปริมาณฝนตกมากกว่าค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 30 ปี และมีผลให้น้ำท่วมหลาก น้ำท่วมขังในทุกพื้นที่ของประเทศ แต่เมื่อสิ้นสุดฤดูฝนน้ำในพื้นที่ต้นน้ำและกลางน้ำ จะซึมลงใต้ดินหรือระเหยไปอย่างรวดเร็ว กระบวนการปรับปรุงระดับน้ำผิวดินให้อยู่ระดับเดียวกับระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Influent) หรือการซึมของน้ำผิวดินลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินลงสู่ชั้นน้ำบาดาล มีปริมาณค่อนข้างมาก ส่งผลให้น้ำผิวดินที่ค้างอยู่แห้งลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดภาวะภัยแล้งขึ้น สำหรับปี 2550 เมื่อต้นเดือนมกราคม เริ่มมีสถานการณ์ภัยแล้งเกิดขึ้นแล้ว สถานการณ์ภัยแล้งแบ่งออกเป็น 2 สภาพปัญหา

1. ภาวะภัยแล้งขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค

พื้นที่เสี่ยงขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค

1. พื้นที่เสี่ยงขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค เป็นกลุ่มที่เสี่ยงภัยมาก จำนวน 9,398 บ้าน (ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล)
2. พื้นที่มีประปาผิวดิน เป็นกลุ่มที่เสี่ยงภัยปานกลาง
3. พื้นที่มีระบบประปาบาดาลหรือ เป็นกลุ่มเสี่ยงภัยน้อย

2. มาตรการรับสถานการณ์ภัยแล้งขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภคด้านแหล่งน้ำบาดาลสำรอง

ลำดับ	แหล่งน้ำบาดาลสำรอง	จำนวน	ที่มา
1	บ่อน้ำบาดาลใช้การได้	142,809 บ่อ	โครงการสำรวจบ่อบาดาลทั่วประเทศปี 48
2	ระบบประปาบาดาล	37,863 ระบบ	โครงการสำรวจบ่อบาดาลทั่วประเทศปี 48
3	บ่อน้ำบาดาลพร้อมเครื่องสูบ	7,343 บ่อ	ได้รับงบกลางฯ เจาะในปี 2548,2549
4	บ่อน้ำบาดาลพร้อมเครื่องสูบโครงการแก้ไขปัญหาน้ำท่วม (กำลังเจาะ)	600 บ่อ	ได้รับงบกลางฯเจาะในปี 2549 โครงการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมภาคเหนือ 8 จังหวัด

5	บ่อน้ำบาดาลพร้อมเครื่องสูบโครงการแก้ไขปัญหาน้ำท่วม (กำลังเจาะ)	800 บ่อ	ได้รับงบกลางฯเจาะปี 2550
6	ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดื่มได้ตามมาตรฐาน WHO	1,080 แห่ง	ก่อสร้างปี 46,47 และ 48 ทั้งหมดอยู่ใน 1,080 บ้าน
7	ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดื่มได้ตามมาตรฐาน WHO (กำลังก่อสร้าง)	200 แห่ง	งบประมาณปี 50 กำลังก่อสร้าง
8	จุดจ่ายน้ำ	2,000 แห่ง	ก่อสร้างปี 47 และ ปี 48

สมรรถนะของ ทบ.ประกอบด้วย

1. ชุดเจาะบ่อบาดาล	90	ชุด
2. ชุดเป่าล้างทำความสะอาดบ่อ	82	ชุด
3. ชุดซ่อมเครื่องสูบไฟฟ้า	33	ชุด
4. ชุดซ่อมระบบประปา	11	ชุด

เป้าหมาย : ฟื้นฟูระบบประปาบาดาลภายในหมู่บ้าน และซ่อมบ่อบาดาลให้ใช้การได้

3. การดำเนินการ

เป้าหมายการดำเนินการ : ระบบประปาบาดาลใน 5,626 หมู่บ้าน จะได้รับการฟื้นฟูและบ่อน้ำบาดาลพร้อมเครื่องสูบ ใน 2,214 หมู่บ้าน ได้รับการซ่อมให้ใช้การได้รวม ทั้งหมด 7,840 หมู่บ้าน

2.3 ผลสำรวจสภาพปัญหาทั่วไปของภัยแล้งจากการออกสำรวจพื้นที่ (ฉัตรภูมิ 2551)

สภาพทั่วไปของจังหวัดอุบลราชธานีและกลุ่มจังหวัดอีสานใต้จากข้อมูลกรมทรัพยากรน้ำมีฝนตก 1000-1800 มม. โดยสามารถเฉลี่ยได้ประมาณ 1400 มม. (สถิติอุทกวิทยา 2547) กล่าวคือปริมาณน้ำฝนเพียงพอแต่สภาพดินทั่วไปเป็นดินทรายแป้ง (SP-SM, SM, SC)ไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ สระที่มีน้ำตลอดปีเป็นเพราะมีระดับน้ำใต้ดินเพียงพอที่จะไหลเข้าสระ แต่พื้นที่จำนวนมากในพื้นที่ศึกษาน้ำในสระจะลดต่ำลงมากตั้งแต่ปลายธันวาคมและเกิดประสบภาวะขาดแคลนน้ำได้ตั้งแต่กลางมกราคมเป็นผลมาจากน้ำใต้ดินลดระดับลงอย่างมากจากการใช้และการไหลลงสู่ที่ลุ่มแม่น้ำ กรมทรัพยากรน้ำรายงานว่าตั้งแต่ปลายมกราคม 2551 พื้นที่ในภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก หรือแม้แต่ภาคใต้ก็ขาดแคลนน้ำเช่นกันไม่ต่างจากภาคอีสานปัญหาการขาดแคลนน้ำจะรุนแรงมากในพื้นที่ดินปนทราย ปัญหาการขาดแคลนน้ำไม่เฉพาะเกิดในหน้าแล้งแต่ยังเกิดในหน้าฝนโดยเกิดภาวะฝนทิ้งช่วง แม้ฝนจะมาหนักในบางช่วงแต่ไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้

ได้นานเมื่อเป็นพื้นที่ดินปนทรายจึงเกิดความเสียหายต่อผลิตผลทางการเกษตร ดังนั้นการปรับปรุงดินให้กักเก็บน้ำได้จึงน่าจะเป็นหนทางในการแก้ปัญหาภัยแล้งในภาคอีสานหรือพื้นที่ในภาคอื่นที่มีสภาพปัญหาไม่แตกต่างกัน

2.4 ความสำคัญของแหล่งน้ำและการจัดการน้ำในทฤษฎีใหม่

สุนทร กุลวัฒนวรพงศ์ (2544) ได้รวบรวมข้อมูลไว้ในหนังสือ "เศรษฐกิจพอเพียง-ทฤษฎีใหม่" ซึ่งส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของทฤษฎีใหม่คือการบริหารจัดการน้ำและที่ดินเพื่อการทำเกษตรผสมผสานอย่างมีประสิทธิภาพ เอกสารอ้างอิงดังกล่าวได้กล่าวถึงวิธีการดำเนินเกษตรผสมผสานตามแนวพระราชดำริดังนี้

2.4.1 การการเลือกพื้นที่ดำเนินการ

นายอำพล เสนาณรงค์ องคมนตรีได้ให้ข้อสรุปไว้ว่า ปัจจุบันยังไม่มีคำแนะนำทางราชการที่ชัดเจนสมบูรณ์แต่ละพื้นที่ แต่คำแนะนำที่คำแนะนำที่ควรให้แก่เกษตรกรหรือเกษตรกรที่จะทดลองปฏิบัติจะต้องมีฐานะเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกับสมมุติฐานคือเป็นเกษตรกรที่มีพื้นที่ถือครองน้อย อยู่ในเขตเกษตรใช้น้ำฝน ฝนตกไม่ชุกนัก สภาพของดินสามารถขุดบ่อเก็บกักน้ำเพื่อใช้ในการบริโภคและอุปโภค ฐานะค่อนข้างยากจน มีจำนวนสมาชิกครอบครัวปานกลางและไม่มีอาชีพหรือแหล่งรายได้อื่นดีกว่าบริเวณใกล้เคียง ในทางปฏิบัติกรมวิชาการเกษตรมีการเลือกสถานที่ดำเนินการโดยเน้นว่าควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติหรืออ่างเก็บน้ำซึ่งจะสามารถนำน้ำจากแหล่งเก็บกักน้ำมาเพิ่มเติมในสระได้สะดวก

2.4.2 การแบ่งสัดส่วนพื้นที่ดำเนินการ

นายอำพล เสนาณรงค์ องคมนตรี ได้สรุปว่าการแบ่งสัดส่วนพื้นที่ดำเนินการไม่จำเป็นต้องแบ่งเป็นสัดส่วนตายตัว 30:30:30:10 สัดส่วนของพื้นที่สามารถยืดหยุ่นได้ตามสภาพของพื้นที่และขนาดของแรงงานในครัวเรือน เช่นในกรณีของภาคใต้มีปริมาณน้ำฝนสูงขนาดของพื้นที่สระน้ำอาจลดลงเหลือ 20% หรือเหลือสระน้ำขนาด 1-2 งาน ถึง 1 ไร่และลึก 2-3 เมตร ก็เพียงพอ และเพิ่มขนาดพื้นที่เพาะปลูกแทน และในกรณีพื้นที่หรือแรงงานน้อย พื้นที่ปลูกข้าวอาจลดลงเหลือเพียงการปลูกเพื่อการบิโภคในครัวเรือนก็พอ

การเลือกพื้นที่สำหรับขุดสระน้ำมีความสำคัญมากเพราะการขุดสระน้ำให้กักเก็บได้โดยมีการรั่วซึมน้อยและมีน้ำที่มีคุณลักษณะเหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภคและการชลประทานได้นั้น

ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่นลักษณะพื้นที่ดินและระดับน้ำใต้ดินเป็นต้น ตำแหน่งของสระน้ำต้องอยู่ในตำแหน่งที่สามารถนำไปใช้ในแปลงอื่นๆได้โดยสะดวกสิ้นเปลืองน้อย

หากที่ใดมีการพิจารณาเห็นว่าไม่สามารถขุดสระน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ได้ก็ไม่ควรดำเนินการตามทฤษฎีใหม่เพราะถ้าขุดแล้วเก็บน้ำไม่ได้ก็ไม่ใช่ "ทฤษฎีใหม่" แต่จะเป็นเกษตรใช้น้ำฝนตามปกติ หรือในกรณีที่เกษตรกรบางรายที่มีสระน้ำขนาดเล็กอยู่แล้วแต่ดำเนินการปลูก ข้าว พืชไร่ หรือพืชสวนแต่เพียงอย่างเดียวก็เป็นเกษตรธรรมดาแต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปปลูกข้าว พืชไร่ พืชสวน อย่างผสมผสานในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับ 30:30:30:10 ก็จัดได้ว่าเป็นเกษตร "ทฤษฎีใหม่"

ในกรณีที่ไม่ต้องการให้เสี่ยงต่อความแห้งแล้งและขาดน้ำจำเป็นต้องหาแหล่งน้ำภายนอกมาเติมสระ ถ้ามีแหล่งน้ำใหญ่มาเติมจะทำให้แปลง "ทฤษฎีใหม่" ลดความเสี่ยงจากฝนแล้งได้ซึ่งเป็นวิธีการกระจายน้ำชลประทานให้คลอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้นและกระจายความอุดมสมบูรณ์ชุ่มชื้นไปทั่วมากกว่าชลประทานระบบเดิม ปีใดที่มีน้ำฝนตกเพียงพอไม่จำเป็นต้องเสริมในฤดูฝนก็สามารถนำน้ำจำนวนนี้ไปปลูกพืชที่มีราคาดีเพิ่มเติมในหน้าแล้ง

2.4.3 การพิจารณาศักยภาพความเหมาะสมของดินในการขุดสระน้ำและการกักเก็บน้ำ

แนวทางที่ให้ไว้โดยกรมพัฒนาที่ดินในการพิจารณาสภาพดินที่เหมาะสมในการขุดสระน้ำและเก็บกักน้ำได้ (การขุดสระแบบดั้งเดิมคือทำแค่การขุดสระเท่านั้นมิได้มีการปรับปรุงดินในสระให้กักเก็บน้ำได้เหมือน "สระเก็บน้ำน้ำต้านภัยแล้ง") มี 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การใช้ข้อมูลดินเบื้องต้น

กรมพัฒนาที่ดินได้วินิจฉัยคุณภาพของดินแต่ละชุดแต่ละกลุ่มในการขุดสระเก็บน้ำซึ่งจะพิจารณาจากความสามารถของดินที่ให้น้ำซึมผ่านในระดับความลึก 1 เมตรและปริมาณของก้อนหินจะมีต่อความยากง่ายในการขุด โดยจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นนำไปพิจารณาศึกษาความเป็นไปได้ในการขุดสระเก็บน้ำเบื้องต้น อย่างไรก็ตามยังจำเป็นจะต้องได้ลงพื้นที่จริงเพื่อศึกษาสำรวจความเป็นไปได้ในชั้นรายละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ความเหมาะสมของดินในการขุดสระเก็บน้ำเบื้องต้นกรมพัฒนาที่ดินได้จัดทำในรูปของข้อมูลประกอบแผนที่ชุดดิน 62 กลุ่มชุดดินหรือแผนที่ความเหมาะสมของดินกับพืชเศรษฐกิจมาตราส่วน 1:50,000 รายจังหวัดที่กรมพัฒนาที่ได้จัดพิมพ์และแจกจ่ายแก่หน่วยงานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในแต่ละจังหวัดหรืออาจขอดูได้ที่หน่วยงานกรมพัฒนาที่ดินในจังหวัด การแบ่งแยกกลุ่มชุดดินตามความเหาะสมในการขุดสระเก็บน้ำมีดังนี้

1) กลุ่มชุดดินหรือหน่วยดินที่เหมาะสมดีในการขุดสระเก็บน้ำได้แก่กลุ่มชุดดินที่1, 2, 3, 4, 5, 6,7,8,9,10 และ 14

2) กลุ่มชุดดินหรือหน่วยดินที่เหมาะสมปานกลางในการขุดสระเก็บน้ำได้แก่กลุ่มชุดดินที่11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 28, 31 และ 54

3) กลุ่มชุดดินหรือหน่วยดินที่ไม่เหมาะสมในการขุดสระเก็บน้ำได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 24, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57 และ 58

ขั้นตอนที่ 2 การลงพื้นที่เพื่อศึกษาสำรวจสภาพพื้นที่จริง

การสำรวจในพื้นที่ต้องสามารถวินิจฉัยได้ว่าดินชนิดใดที่เหมาะสมและดินชนิดใดที่ไม่เหมาะสม สำนักงานเลขานุการ กสช. สำนักงานเลขาธิการนายกรัฐมนตรีได้ให้ข้อมูลในการสำรวจพื้นที่แบบง่ายๆ คือ ทำได้ด้วยการขุดหลุมตรงพื้นที่ที่จะทำการขุดและตรวจสอบชนิดของดินที่ความลึกต่างๆจำนวนหลุมที่จะขุดขึ้นอยู่กับขนาดของสระเก็บน้ำที่เราจะสร้างควรทำการขุดหลุมทดสอบ 2-5 หลุม ทุกๆพื้นที่ 1 ไร่เมื่อขุดหลุมลงไปจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของดินประเภทต่างๆอย่างชัดเจน โดยทั่วไปดินชั้นแรก (ชั้นผิวดิน) จะมีเศษหญ้า รากพืช ใบไม้และวัชพืชต่างๆปนอยู่ จะนำมาใช้เพื่อการก่อสร้างไม่ได้ ต่ำจากดินชั้นผิวลงไปจะพบชั้นของดินที่มีคุณสมบัติต่างๆกัน ขณะที่ขุดหลุมลึกลงไปเรื่อยๆดินอาจจะเปลี่ยนไปมาหลายครั้งและเป็นความจำเป็นที่จะต้องหาชั้นดินเหนียวให้ได้ บางครั้งในหลุมทดสอบจะเห็นว่าชั้นของดินที่น้ำซึมผ่านได้อยู่ใต้ชั้นของดินเหนียวซึ่งไม่เหมาะสมในการขุดสระในบริเวณดังกล่าวเนื่องจากแหล่งขุดสระที่เหมาะสมต้องมีชั้นกันคือ (ดินตระกูลดินเหนียว) วางอยู่ใต้ชั้นดินที่มีน้ำใต้ดินไหลผ่าน (ดินตระกูลกรวดหรือตระกูลทราย) การทดสอบอย่างง่ายในการจำแนกชนิดดินและค่าความซึมได้อธิบายในหัวข้อ 2.3.3.1-2.3.3.3

2.4.3.1 การทดสอบค่าความซึมได้ของดิน

การทดสอบหาค่าความซึมได้หากต้องการความถูกต้องต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการดิน การจำแนกดินในห้องปฏิบัติการดินจะทำให้ทราบชนิดของดินซึ่งทำให้สามารถรู้ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชนิดนั้นๆรวมทั้งค่าความซึมได้โดยประมาณ การจำแนกดินโดยมากอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM และจะใช้ระบบ Unified Soil Classification System ในการจำแนก คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับดินเม็ดละเอียดคือ Atterberg's Limit ซึ่งจะให้ค่า Plastic Limit (PL), Liquid Limit (LL) และ Plastic Index (PI) โดยดินตระกูลดินทรายจะไม่สามารถหาค่า PL ได้และค่า PI จะเป็นศูนย์ แต่ดินเหนียวจะหาค่า PL ได้และค่า PI จะไม่เป็นศูนย์โดยมากจะมีค่ามากกว่า 7 % หรืออาจสูงถึงหลายสิบเปอร์เซนต์ได้ในดินเหนียวบางตระกูล ดินเหนียวคือดินที่มีค่าความซึมได้ต่ำจึงเป็นดินที่ต้องมีในพื้นที่ทำการขุดสระ

การส่งดินเพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการดินไม่เป็นการสะดวกสำหรับประชาชนแต่ประชาชนสามารถทำการทดสอบได้เองไม่ยากโดยใช้คุณสมบัติการปั้นได้และความเหนียวของดินเป็นเครื่องบ่งชี้ได้

การทดสอบแบบง่ายเริ่มจากนำดินที่จะทดสอบมา 1 กำมือ หากดินชื้นไม่พอก็พรมน้ำให้ดินพอชื้นหมาด ขยำดินหลายๆครั้งจนกระทั่งดินไม่เหนียวติดมือ คลึงดินให้เป็นเส้นเล็กความหนาประมาณ 5 มม. และดัดให้งอเป็นวงกลมในฝ่ามือ ถ้าดินนั้นสามารถคงรูปวงกลมโดยไม่แตกออกจากกันดินนั้นคือดินเหนียวเหมาะที่จะก่อสร้างสระเก็บน้ำ ถ้าดินนั้นแตกออกหลังจากม้วนให้ทำการขยำดินอีกครั้ง บดดินด้วยหัวแม่มือกับนิ้วอื่นให้เป็นรูปเรียวแบนและยาวประมาณ 4 ซม. ถ้าทำไม่ได้แสดงว่าเป็นดินตระกูลทรายไม่เหมาะในการขุดสระบริเวณนี้นอกจากจะมีการปรับปรุงดินหรือใช้กรรมมวิธีตามงานวิจัยนี้จึงสามารถขุดสระในบริเวณดังกล่าวนี้ได้

2.4.3.2 การทดสอบการแตกกระจายตัวของดิน

นำดินมาปั้นเป็นรูปลูกบาศก์หนา 3 ซม. แล้วนำดินชิ้นนั้นใส่ลงในน้ำใสๆปล่อยทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง ถ้าดินชิ้นนั้นยังคงรูปร่างได้และน้ำไม่ขุ่นแสดงว่าดินไม่แตกกระจาย น้ำซึมผ่านไม่ได้หรือซึมผ่านได้ยาก มีแนวโน้มที่จะเป็นดินที่เหมะสมสำหรับก่อสร้างสระเก็บน้ำ

2.4.3.3 ดินที่ไม่เหมาะสม

ถ้าดินลึกภายใน 2 เมตรจากผิวของหลุมทดสอบไม่ผ่านการทดสอบดังกล่าวข้างต้นก็ไม่ควรขุดสระเก็บน้ำในบริเวณดังกล่าว นอกเสียจากว่าจะทำการปรับปรุงดินหรือทำการก่อสร้างตามแบบ "สระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง" ตามงานวิจัยนี้จึงสามารถขุดสระน้ำในบริเวณดังกล่าวได้

2.5 เทคโนโลยีชั้นกันซึมสำหรับสระเก็บน้ำ

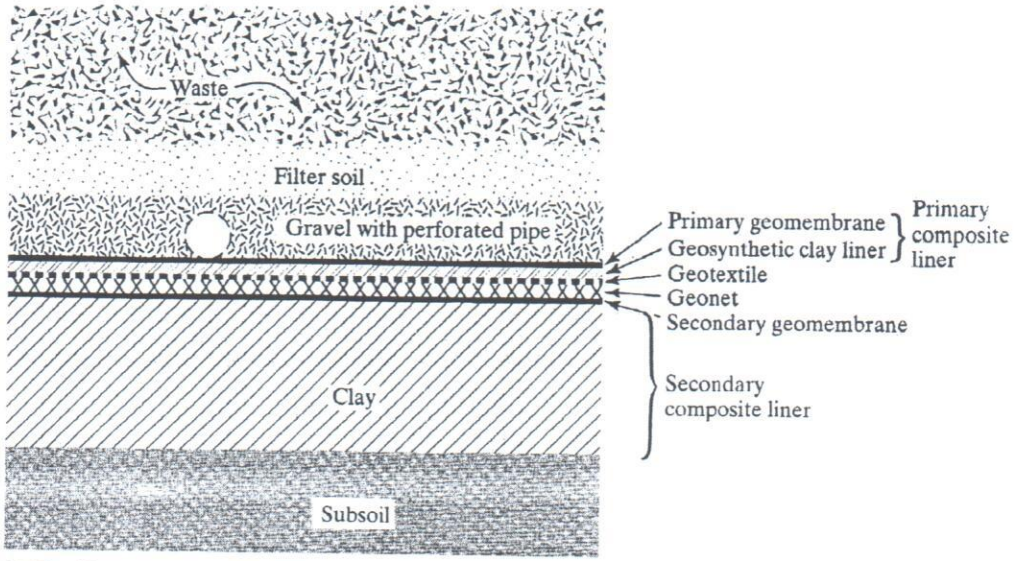
ดินตระกูลดินทรายเป็นกลุ่มชุดดินที่ไม่อุ้มน้ำ จากผลการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่ามีดินทรายทั่วประเทศประมาณ 6 ล้านไร่ กระจัดกระจายอยู่ในจังหวัดต่าง ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณ 3 ล้านไร่ และภาคอื่น ๆ ของประเทศ จากพื้นที่จำนวนมากดังแสดงมาข้างต้นเป็นดินตระกูลดินทรายและหากขุดสระในบริเวณดังกล่าวสระก็ไม่สามารถกักเก็บน้ำได้เพราะเกิดการสูญเสียจากการรั่วซึม ทางแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพทางหนึ่งคือการปรับปรุงดินบริเวณพื้นผิวสระให้มีค่าความซึมได้ลดลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (เทียบเท่าค่าความซึมได้ของดินเหนียวบดอัดซึ่ง < $1x\ 10^{-9}$ เมตรต่อวินาที) ซึ่งจะทำให้สระสามารถกักน้ำไว้ใช้ได้ตลอดปี การปรับปรุงดังกล่าวสามารถทำได้โดยผสมดินเหนียวโซเดียมมอนโมริลโลไนต์ (Sodium

Montmorillonite) หรือชื่อทางการค้าคือเบนโทไนต์ (Bentonite) ประมาณ 1.5% - 7% โดยน้ำหนักกับดินเดิมในบริเวณขุดสระ เมื่อผสมแล้วก็ทำการบดอัดเพื่อเป็นชั้นกันซึมของสระ การปรับปรุงดินทรายแป้งโดยผสมเบนโทไนต์เพื่อใช้เป็นชั้นกันซึมจึงเป็นสิ่งที่คุ้มค่าทางด้านเศรษฐกิจ กล่าวคือในการขุดสระน้ำวัสดุที่เป็นชั้นกันซึมหากจะใช้ดินเหนียวบดอัดแทนการปรับปรุงดินหน้างานก็ต้องประสบกับภาระค่าวัสดุและค่าขนส่งจำนวนมาก (ปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงราคาสูงมาก) การใช้คอนกรีตคาดเป็นชั้นกันซึมก็ทำได้แต่เป็นเงินจำนวนมากในการทำแต่ละสระ และหากก่อสร้างไม่ถูกวิธีน้ำก็รั่วซึมผ่านรอยต่อหรือผ่านเนื้อคอนกรีตได้ง่าย การเทคอนกรีตก็ต้องเทคราวเดียวหรือพยายามหลีกเลี่ยงมิให้มีรอยต่อหรือมีรอยต่อน้อยสุดและต้องใส่ตัวหยุดการไหลของน้ำ (water stop) เมื่อมีรอยต่อคอนกรีตเกิดขึ้น โดยมากต้องใช้คอนกรีตสำเร็จจากโรงงานผสมซึ่งสามารถสั่งได้คราวละมากๆจึงเป็นการลำบากและเสียค่าใช้จ่ายอย่างมากหากจะใช้คอนกรีตคาดสระเป็นวัสดุกันซึมโดยเฉพาะยิ่งในพื้นที่กันดารห่างไกลความเจริญ งบในการก่อสร้างสระเก็บน้ำโดยใช้คอนกรีตคาดสระยิ่งสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว การใช้วัสดุสังเคราะห์เช่น Geomembrane (วัสดุสังเคราะห์ปิโตรเคมี ทำได้จากหลายวัสดุ ยกตัวอย่างเช่น High Density Polyethylene, HDPE) ก็มีการใช้เป็นชั้นกันซึมอย่างแพร่หลายสำหรับบ่อฝังกลบขยะ (Koerner 1999) เพื่อป้องกันน้ำปนเปื้อนขยะซึมผ่านจากบ่อลงไปปนเปื้อนดิน และน้ำบาดาล ภายนอกบ่อ การก่อสร้างโดยเฉพาะรอยต่อ ระหว่างแผ่นต้องการความละเอียดสูง โดยมากจะใช้คู่กับชั้นดินเหนียวบดอัด

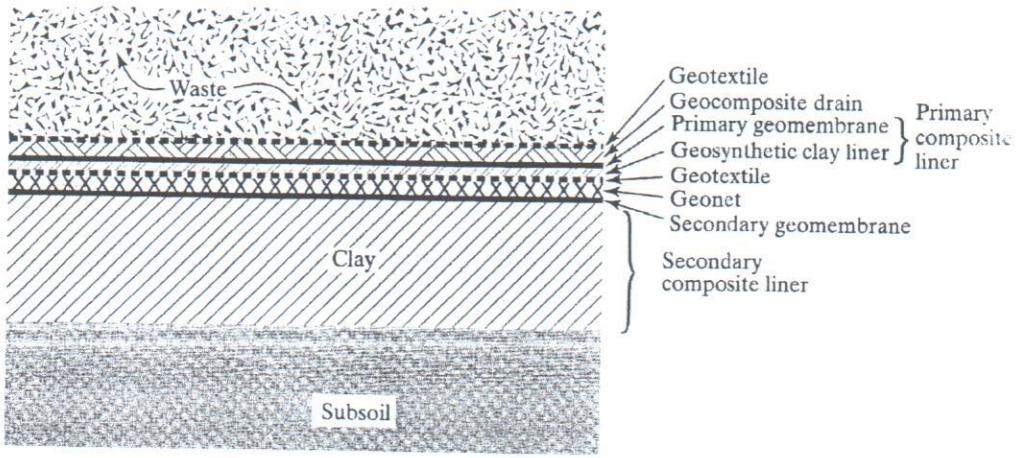
ชั้นกันซึมสำหรับบ่อฝังกลบขยะมีการใช้อยู่หลายลักษณะ

- Single compacted clay liner
- Single Geomembrane
- Double Geomembrane
- Single Geomembrane + Single composite (GM + CCL)
- Double composite (GM + CCL)
- Double composite (GM + Geosynthetic clay liner)

รูปแบบการจัดวาง Double composite แสดงในรูปที่ 2.3



(g) Double-composite liner (with geosynthetic clay liner) and geonet



(h) Double-composite liner (with geosynthetic clay liner), geonet, and geocomposite

รูปที่ 2.3 รูปแบบการจัดวาง Double composite ที่ใช้ทั่วไป (Koerner 1999)

การใช้ชั้นกันซึมสองชั้นจะใช้สำหรับของเสียอันตรายโดยมากมักใช้ร่วมกับชั้นตรวจวัดการรั่วซึมของชั้นกันซึมหากจะใช้ตามแบบมาตรฐานที่ใช้ Double composite และมีระบบตรวจวัดการรั่วซึมของชั้นกันซึมจะเป็นระบบที่ต้นทุนสูงมากเพราะนำเข้าเกือบทุกองค์ประกอบ หากนำมาเพื่อใช้เป็นชั้นกันซึมก็เป็นเทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสำหรับแหล่งน้ำหมู่บ้านในชนบทเพราะงบประมาณก่อสร้างสูงเกินแม้จะเป็น GM เพียงชั้นเดียว การใช้แผ่นพลาสติกดาดสระก็เป็นทางเลือกได้เพราะราคาไม่สูงแต่เป็นแค่การชั่วคราวเพราะอายุการใช้งานสั้น ไม่ทนเกิดการฉีกขาดเสียหายได้ง่ายหนูมักขุดเจาะกัดทำลาย หรืออาจฉีกขาดได้โดยเศษกิ่งไม้และรากไม้ได้ (ฉัตรภูมิ

2551) เมื่อฉีกขาดแล้วการรั่วซึมก็สูงมากและยังอาจรั่วซึมระหว่างรอยต่อได้ มีสระอีกหลายแห่งที่ อบต. ในเขตภาคอีสานช่วยเหลือชาวบ้านในการขุดสระและปูแผ่นพลาสติกเพื่อกันซึมแต่ไม่ประสพความสำเร็จเพราะเกิดการรั่วซึมที่รอยต่อและรอยฉีกขาดเช่นกันรวมทั้งดินที่ใช้เป็นชั้นป้องกันความเสียหายแก่พลาสติกมักวิบัติโดยลื่นไถลดังรูป 2.4 เนื่องจาก interface shear strength ระหว่างพลาสติกผิวเรียบกับดินมีค่าต่ำ

รูปที่ 2.4 สระน้ำขนาดประมาณ 100 เมตรX 60 เมตร ลึกประมาณ 3 เมตร ปูด้วยพลาสติก และเกิดการรั่วซึม พลาสติกเกิดการฉีกขาดและเกิดการวิบัติโดยการลื่นไถลของดินชั้นป้องกันพลาสติก

ทางเลือกที่น่าสนใจคือปรับปรุงดินทรายแป้ง (ดินเดิมในบริเวณที่สร้างสระ) โดยอ้างอิงจาก "ทฤษฎีและหลักการในการออกแบบสระเก็บน้ำที่ขุดในพื้นที่ดินตระกูลดินทราย" (ฉัตรภูมิ 2549) ซึ่งได้แสดงหลักการออกแบบสำหรับสระน้ำที่ขุดในพื้นที่ตระกูลดินทรายโดยการผสมเบนโทไนต์เพียงเล็กน้อยก็จะได้วัสดุชั้นกันซึมได้ ราคาค่าก่อสร้างเมื่อดาดคอนกรีตเป็นชั้นกันซึมจะสูงกว่า 1,200 บาทต่อตารางเมตร หากปรับปรุงดินเดิมซึ่งเป็นดินทรายแป้งโดยการผสมเบนโทไนต์จะมีค่าใช้จ่าย คือค่าเบนโทไนต์รวมค่าบดอัดประมาณ 400 บาทต่อตารางเมตรหรือต่ำกว่า สำหรับสระขนาดใหญ่ราคาชั้นกันซึมต่อตารางเมตรจะต่ำกว่าสระขนาดเล็ก ถ้าพื้นที่ที่ต้องดาดชั้นกันซึมเท่ากับ 1000 ตารางเมตร ซึ่งเก็บน้ำได้ประมาณ 2000 ลบ.ม. งบก่อสร้างสำหรับคอนกรีตเป็นชั้นกันซึมโดยยังไม่รวมค่าขุดสระมากกว่า 1,200,000 บาท แต่งบก่อสร้างชั้นกันซึมถ้าใช้ดินทรายแป้งผสมเบนโทไนต์โดยยังไม่รวมค่าขุดสระราคาประมาณการที่ 400,000 บาท ทั้งนี้แล้วแต่สภาพดินในแต่ละพื้นที่ ข้อดีของการปรับปรุงดินทรายแป้งโดยการผสมเบนโทไนต์เพื่อเป็นชั้นกันซึม นอกจากเหตุผลทางด้านราคาดังกล่าวมาแล้วยังคงทนถาวรหากมีชั้นปิดทับกันการกัดเซาะที่เหมาะสมเช่นดินบดอัด

(compacted soil) หรือดินซีเมนต์บดอัด (compacted soil cement) และยังมีเหตุผลทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยตะไคร่ สาหร่าย และ พืชอื่นๆ สามารถขึ้นที่ผนังบ่อได้ สระจึงเหมาะในการเลี้ยงสัตว์น้ำได้เนื่องจากมีระบบนิเวศน์ที่เหมาะสม สามารถใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับไร่นาสวนผสมซึ่งสอดคล้องกับหลักเศรษฐกิจพอเพียงตามแนวพระราชดำริ การปรับปรุงดินเดิมในบริเวณก่อสร้างให้ดีขึ้นเพื่อให้สระเก็บน้ำได้เป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า ไม่เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติเหมือนการใช้คอนกรีต ข้อดีอีกข้อที่เหนือการใช้คอนกรีตคือการก่อสร้างชั้นกันซึมมีแค่การผสมและบดอัดด้วยเครื่องมือง่าย จึงเป็นเทคโนโลยีสำหรับชาวบ้านอย่างแท้จริง โดยสามารถทยอยทำทีละส่วนโดยไม่มีผลต่อคุณภาพของการเป็นชั้นกันซึมแต่การใช้คอนกรีตต้องระมัดระวังบริเวณรอยต่อสูงมากจึงต้องหลีกเลี่ยงรอยต่อโดยการเทคอนกรีตคราวละมากๆ จึงไม่เหมาะสำหรับชาวบ้านซึ่งเทคอนกรีตได้คราวละน้อยๆเกิดรอยต่อมากมีแนวโน้มรั่วซึมได้มาก

ถึงแม้มีชั้นกันซึมภายในสระแต่พื้นที่รอบปากสระก็ต้องมีการปรับปรุงไม่ให้น้ำซึมลงดินแต่ให้ไหลไปเก็บในสระโดยให้สูญเสียน้ำน้อยที่สุด การปรับปรุงดินรอบปากสระนี้ยังทำเพื่อเพิ่มพื้นที่รับน้ำฝนให้ได้หลายเท่าพื้นที่สระทำให้มีน้ำกักเก็บเต็มสระได้โดยอาศัยเพียงน้ำฝนก็เพียงพอ แต่สำหรับพื้นที่ที่มีน้ำใต้ดินสูงในหน้าน้ำก็สามารถนำเข้าเติมสระได้เช่นกัน (ฉัตรภูมิ 2549)

บทที่ 3

วัสดุและการทดลอง

เบนโทไนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างสระเก็บน้ำต้านภัยแล้งในงานวิจัยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อ 3.1 สำหรับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินในบริเวณก่อสร้างสระได้ทำการทดลองตามการทดสอบดินในหัวข้อ 3.2 ส่วนผลการทดสอบโดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.1 ทดสอบเบนโทไนต์

เบนโทไนต์ที่ใช้ในการปรับปรุงค่าความซึมได้ของดินทรายแป้งในนาข้าวเป็นชนิดโซเดียมเบนโทไนต์ เรียกว่าโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ มีองค์ประกอบทางเคมี SiO_2 : 60%, Al_2O_3 : 16-18%, Fe_2O_3 : 4-6% , Na_2O : 0.4-1.0% , LOI : 8-10% , MgO : 1.5-2.5% , CaO : 1.0-2.4% , K_2O : 1.5-2.5% , TiO_2 : 0.2-0.5%

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของ Bentonite

การทดสอบ	
Swelling Index	> 38 ml / 2 g.
Specific Gravity	2.53
Liquid Limit (%)	456
Plastic Index (%)	40.72
Natural Moisture Content (%)	12.08
Dry particle size	75% (Pass75 Micron ,min)
Surface Area , m^2/g	300-400

3.2 การทดสอบดิน

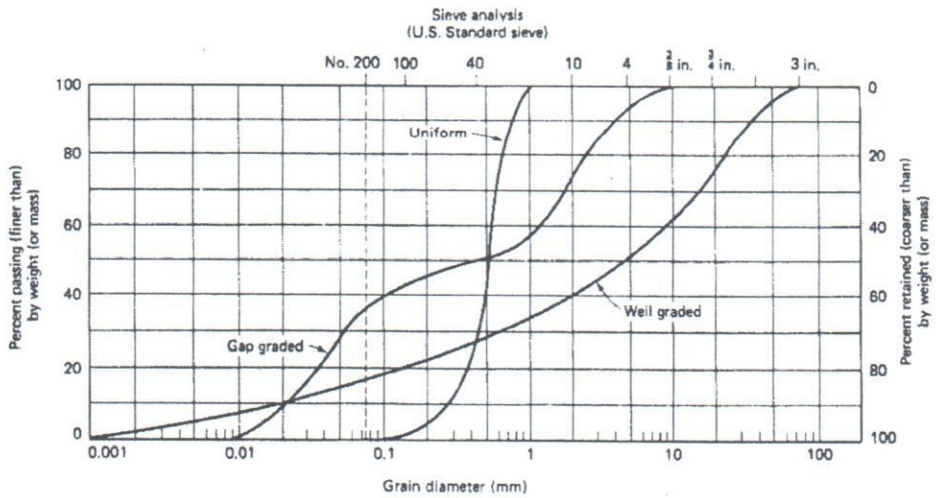
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบเพื่อนหาคุณสมบัติของดินในด้านต่างๆที่เกี่ยวกับการทดลองครั้งนี้ โดยดินทรายแป้งที่นำมาใช้ในการวิจัยได้จากแหล่งดิน บ้านจั่น ตำบลโนนผึ้ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น โดยทดสอบทั้งดินตัวอย่างที่ไม่ได้ปรับปรุงค่าความซึมได้และดินที่ปรับปรุงค่าความซึมได้แล้ว ดังนี้

3.2.1 Grain Size Analysis

เป็นการทดลองเพื่อทำการการจำแนก (Classification) และอธิบายลักษณะของดินประเภทต่าง ๆ โดยขนาดและการกระจายของเม็ดดินเป็นหนึ่งในคุณลักษณะสำคัญที่ต้องพิจารณา ขนาดและการกระจายของเม็ดดินนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการเกิดและการถูกพัดพา (Transportation)
โดย น้ำ ลม ธารน้ำแข็ง หรือแรงโน้มถ่วงของโลก

ดินที่มีขนาดเม็ด (Grain Size) กระจายอยู่ในช่วงแคบ ๆ เรียกว่า มีลักษณะการกระจายแบบ Uniform สำหรับดินลักษณะนี้ ถ้า Grain Size มีขนาดใหญ่จะเป็นดินที่บดอัดให้แน่นได้ยาก ซึ่งตรงข้ามกับดินที่มีขนาดเม็ดกระจายสม่ำเสมอในช่วงกว้างหรือที่เรียกว่า Well Grade สำหรับดินที่มี Grain Size กระจายอยู่ในช่วงแคบ ๆ 2 ช่วงที่แตกต่างกันเรียกว่ามีลักษณะการกระจายแบบ Gap Grade ซึ่งพบได้ในดินที่เป็นชั้น (Layered Soil)

ปกติดินจะประกอบด้วยหลายขนาดปะปนกัน เป็นสัดส่วนต่าง ๆ กัน เรียกว่าการกระจายขนาดหรือการคละของดิน โดยแร่งดินตัวอย่างผ่านชุดตะแกรง (Sieve analysis) ใช้สำหรับดินเม็ดหยาบ ที่มีขนาดใหญ่กว่า *0.075* มิลลิเมตร หรือมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของช่องเปิดของตะแกรงเบอร์ *200*



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการกระจายขนาดของมวลดิน

สัมประสิทธิ์บ่งชี้การคละขนาด ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์ของโค้งการกระจายขนาดของมวลรวม (Coefficient of curvature, C_c) หรือ

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

อีกตัวหนึ่งคือสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอของขนาดมวลรวม (Coefficient of curvature, C_u) หรือ

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

เมื่อ D_{10}, D_{30}, D_{60} เป็นขนาดมวลรวมที่มีส่วนละเอียดกว่า (Percent finer) ร้อยละ *10*, *30* และ *60* โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

สำหรับดินที่คละขนาดดี C_c จะมีค่าระหว่าง $1-3$ ($1 < C_c < 3$) และ C_u มากกว่า *4* (สำหรับกรวด) หรือ C_u มากกว่า *6* (สำหรับทราย)

อุปกรณ์

1. ตะแกรงร่อนมาตรฐานพร้อมถาดรองด้านล่าง
2. ตาชั่ง
3. แปลงปัดตะแกรง
4. เครื่องเขย่าตะแกรง

ตะแกรงร่อน (10) ใช้สำหรับวิเคราะห์การกระจายขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 0.075 mm. ชุดการทดลองประกอบด้วยตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ (U.S. Standard) ดังนี้

ตาราง 3.2 ตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ (U.S. Standard)

Sieve No.	Opening (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425

ตาราง 3.2 ตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ (U.S. Standard)(ต่อ)

60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

ขั้นตอนการทดสอบ

รายการทดลองไม่จำเป็นต้องใช้ตะแกรงทุกเบอร์ในตาราง แต่ให้เลือกใช้บางเบอร์ตามความเหมาะสม ตัวอย่างเช่น เบอร์ 4 , 10 , 20 , 40 , 60 , 100 และ 200 เป็นต้น หลักการทำงานของชุดการทดลอง Sieve Analysis คือการร่อนดินตัวอย่างให้ผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ โดยตะแกรงขนาดใหญ่กว่าจะอยู่ด้านบน โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. อบตัวอย่างดินประมาณ 500 กรัม ในเตาอบประมาณ 24 ชม.
2. ในกรณีที่เม็ดดินจับตัวเป็นก้อน ต้องบี้ให้ก้อนดินแตก
3. ทำความสะอาดและชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกอันที่จะใช้งาน
4. ประกอบชุดตะแกรงร่อนดินเข้ากับเครื่องเขย่า (Sieve Shaker) โดยร่องระหว่างตะแกรงแต่ละอันต้องติดกันสนิท แล้วเปิดเครื่องประมาณ 10 นาที่
5. ปิดเครื่องเขย่า แยกตะแกรงออกมาทีละอัน แล้วชั่งน้ำหนักตะแกรงรวมกับดินที่ค้างอยู่ในตะแกรง จากนั้นลบออกด้วยน้ำหนักของตะแกรง (ข้อ 3) เพื่อหาเฉพาะน้ำหนักของดินที่ค้างอยู่ในตะแกรง
6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ (เทียบกับน้ำหนักดินตัวอย่างของดินที่ผ่านตะแกรงแต่ละอัน แล้วพล็อตแสดงผลการกระจายของเม็ดดิน
7. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่งเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

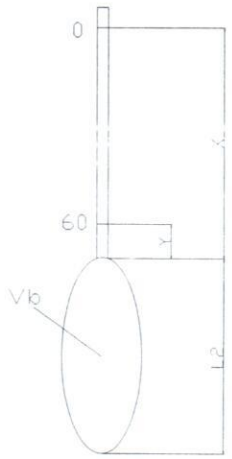
สำหรับดินที่มีขนาดเล็กกว่าสามรถหาการกระจายขนาดของเม็ดดินได้โดย วิธี Hydrometer โดย Hydrometer เป็นอุปกรณ์ที่สามารถหา น้ำหนักของสสาร ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ/ หน่วยปริมาตรของส่วนผสมนั้นๆ ได้โดยอาศัยหลักการของความถ่วงจำเพาะและกฎของสโตค (Stoke's Law) ที่ว่าความเร็วของการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ดดิน ความหนาแน่นของของเหลว ความหนืดของของเหลว

และขนาดของเม็ดดิน กล่าวคือ ดินเม็ดใหญ่จะตกตะกอนเร็วกว่าดินเม็ดเล็ก ดังนั้นเมื่อทราบความเร็วของการตกตะกอนก็สามารถคำนวณหาขนาดของตะกอนเม็ดดินได้

อุปกรณ์

1. ตาชั่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
2. เครื่องกวน
3. ไฮโดรมิเตอร์แบบ 152H
4. กระบอกตวงขนาด 1000 ลบ.ซม. จำนวน 2 กระบอก
5. อ่างน้ำสำหรับควบคุมอุณหภูมิ
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. ถาด
8. สารละลาย calgon (เข้มข้น 6%)
9. นาฬิกาจับเวลา
10. ขวดเติมน้ำกลั่น

ข้อมูลเกี่ยวกับไฮโดรมิเตอร์



รูปที่ 3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับไฮโดรมิเตอร์

ความยาวของกระเปาะ (L_2)	=	14	cm.
ปริมาตรของกระเปาะ (V_b)	=	67	cm^3.
ระยะ X	=	10.5	cm.
ระยะ Y	=	0.7	cm.

การใช้ไฮโดรมิเตอร์

ก่อนที่จะเริ่มลงมืออ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ในของเหลว นักศึกษาต้องบันทึกรายละเอียดของไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้ เช่น แบบของไฮโดรมิเตอร์ (152H) และเลขที่ของไฮโดรมิเตอร์ จากนั้นก็ต้องทำความคุ้น

กับสเกล (Scale) บนก้านของไฮโดรมิเตอร์เสียก่อนและควรฝึกหย่อนไฮโดรมิเตอร์ไปในของเหลว โดยสามารถทำให้ไฮโดรมิเตอร์ลอยอยู่นิ่งๆ ในของเหลวพร้อมที่จะอ่านค่าได้ภายใน เวลา 10 วินาที

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมกระบอกตวง 1 กระบอก สำหรับบรรจุน้ำกลั่นและน้ำยาช่วยการกระจายตัวของเม็ดดิน (Dispersing agent) ซึ่งได้แก่ Calgon ปริมาตร 10 ลบ.ซม. โดยใช้ปริมาตรรวมของส่วนผสมมีค่าเท่า 1000 ลบ.ซม. นำกระบอกตวงไปแช่ในอ่างสำหรับควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้อุณภูมิของเหลวในภาชนะทั้งสองมีค่าเท่ากัน
2. หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวงที่เตรียมไว้ในข้อ 1. แล้วอ่านค่าที่ระดับบนและระดับล่างของ meniscus ผลต่างของค่าทั้งสองคือ C_m ซึ่งเป็นค่าแก้ไขเนื่องจากอิทธิพลของแรงตึงผิว (Meniscus correction)
3. ชั่งตัวอย่างดินแห้ง 50 กรัม (ซึ่งได้จากการล้างตัวอย่างดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำไปอบให้แห้ง) ใส่ดินในถ้วยของเครื่องกวน เติมน้ำลงไปประมาณครึ่งถ้วย พร้อมกับเติมน้ำยา calgon ปริมาณ 10 ลบ.ซม. ลงไปผสมด้วย (ถ้าดินที่ทดสอบเป็นดินเหนียวหรือมีส่วนผสมของดินเหนียวมาก หลังจากเติมน้ำยาแล้วจะต้องปล่อยให้ตัวอย่างดินแช่อยู่ในถ้วยไม่น้อยกว่า 16 ชม. ก่อนจะเริ่มการกวน) จากนั้นนำส่วนผสมของดิน น้ำกลั่น และน้ำยาเข้าเครื่องกวน ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนประมาณ 5-15 นาที เพื่อให้เม็ดดินแยกตัว
4. เทส่วนผสมของดิน น้ำกลั่นและน้ำยา (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า ส่วนผสมรวม) ที่กวนเสร็จแล้วให้ใส่ลงไปในกระบอกตวงขนาด 1000 ลบ.ซม. ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในกระบอกตวงอันนี้ไว้ด้วย) ใช้น้ำกลั่นชะล้างเม็ดดินที่ติดอยู่บนถ้วยให้ลงไปในกระบอกตวงให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อให้ปริมาตรของส่วนผสมรวมเท่ากับ 1000 ลบ.ซม. พอดี (ควรแช่กระบอกตวงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้อุณหภูมิของส่วนผสมรวมมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในอ่าง)
5. ใช้จุกยางอุดปากกระบอกตวงแล้วเขย่าให้เม็ดดินอยู่ในภาพลอยตัว ซึ่งทำได้โดยการคว่ำกระบอกตวงแล้วหงายขึ้น ทำกลับไปกลับมาอย่างน้อย 1 นาที จนแน่ใจว่าเม็ดดินทั้งหมดอยู่ในสภาพลอยตัวในของเหลวโดยไม่มีดินติดอยู่ที่ปลายล่างของกระบอกตวง
6. ให้เริ่มจับเวลาทันทีที่หยุดการเขย่ากระบอกตวงและตั้งกระบอกตวงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นค่อยๆ จุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงไปในส่วนผสมรวมและอ่านค่าบนไฮโดรมิเตอร์ (โดยอ่านที่ระดับบนของ mensiscus เพราะระดับล่างอ่านไม่ได้) ที่เวลา 15, 30, 45 วินาที 1 นาที และ 2 นาที ในระหว่าง 2 นาที ที่อ่านค่านี้จะไม่มีการยกไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกตวง (ค่าไฮโดรมิเตอร์ที่อ่านได้ให้มีค่าเท่ากับ R_a)
7. เมื่ออ่านค่าที่ 2 นาทีเสร็จแล้ว ให้นำไฮโดรมิเตอร์ออกจากส่วนผสมรวมและทำการเขย่ากระบอกตวงใหม่ (เหมือนกับวิธีในข้อ 5) แล้วทำการอ่านค่าในข้อ 6 ซ้ำอีก ทำเช่นนี้อย่าง

น้อย 3-4 ครั้ง จนกว่าค่าที่อ่านได้ในแต่ละชุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก จากนั้นก็นำไฮโดรมิเตอร์ไปอ่านค่าในกระบอกตวงที่มีน้ำกลั่นและน้ำยา โดยอ่านค่าที่ระดับบนของ meniscus ค่าที่อ่านได้จะเป็นค่า R_{wd} เมื่อเสร็จแล้วจึงทำการทดสอบในข้อ 8 ต่อไป

8. เริ่มการทดสอบใหม่ โดยการเขย่ากระบอกตวงและทำการจับเวลาใหม่ โดยเริ่มจับเวลาเมื่อหยุดเขย่ากระบอกตวง แต่ในคราวนี้จะเริ่มอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ที่เวลา 2 นาที จากนั้นจึงยกไฮโดรมิเตอร์ออกจากส่วนผสมรวม แล้วนำไปอ่านค่าในกระบอกตวงอีกอันหนึ่งซึ่งมีส่วนผสมของน้ำกลั่นและน้ำยา โดยอ่านค่าที่ระดับบนของ meniscus เช่นกัน (ค่าที่อ่านได้จะเป็น R_{wd}) ในระหว่างที่รอการอ่านค่าที่เวลาถัดไปให้เก็บไฮโดรมิเตอร์ในกระบอกตวงที่มีน้ำกลั่นและน้ำยา (ห้ามแช่ไฮโดรมิเตอร์ในส่วนผสมรวมเพราะจะเป็นการขัดขวางการตกตะกอนของเม็ดดิน) การอ่านค่าครั้งต่อไปจะกระทำที่ 4 นาที , 8 นาที , 15 นาที , 30 นาที , 1 ชม. 2, ชม. , 4 ชม. 8 ชม. และ 24 ชม. ตามลำดับ การอ่านค่าแต่ละครั้งให้หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในส่วนผสมรวมก่อนจะถึงเวลาทำทำการอ่านประมาณ 10 วินาที เมื่ออ่านค่า R_s เสร็จแล้วให้นำไฮโดรมิเตอร์ไปอ่านค่า Rwd ทุกครั้งและอ่านค่าอุณหภูมิของของเหลวในกระบอกทั้งสอง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในอ่านควบคุมอุณหภูมิ
9. หลังจากจากอ่านค่าสุดท้ายที่กำหนดไว้ในข้อ 8 แล้ว ให้เทส่วนผสมรวมลงในถาดโดยชะล้างเม็ดดินที่ติดอยู่บนกระบอกตวงออกให้หมด แล้วจึงนำเข้าเตาอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้งที่ใช้ในการทดสอบ (W_s) ค่าดังกล่าวอาจจะน้อยกว่า 50 กรัม เล็กน้อย

3.2.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (specific gravity of soil particle,Gs) เป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนระหว่างหน่วยน้ำหนักของเม็ดดิน (unit weight of soil particle, γs) ต่อ หน่วยน้ำหนักของน้ำ (unit weight of water, γw) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการคำนวณคุณสมบัติต่างๆของดิน ยกตัวอย่างเช่น ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง (void ratio,e) ค่า e จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า Gs ค่า e ที่คำนวณได้จะสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการประมาณค่า อัตราการทรุดตัว (rate of consolidation) และแรงเฉือนของดินได้

ค่าความถ่วงเพาะของเม็ดดิน ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ธาตุ (Mineral) ที่เป็นองค์ของดินนั้น ดังตัวอย่าง

ตาราง 3.3 ชนิดของแร่ธาตุและค่าความถ่วงจำเพาะ

Mineral	Gs
Quartz	2.65
Kaolinite	2.6
Illite	2.8
Montomorillonite	2.65 – 2.8
Halloysite	2.0 – 2.55
Potassium feldspar	2.57
Chlorite	2.6 – 2.9

อุปกรณ์

1.ขวดทดสอบ 250 หรือ 500 cc

2.เตาไฟฟ้า

3.เทอร์โมมิเตอร์

4.ตาชั่งไฟฟ้า

5.แท่งแก้ว

6.ถาดสำหรับอบดิน

ขั้นตอนการทดสอบ

จากคำจำกัดความของค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินนั้นค่า Gs สามารถเขียนได้ในรูป

$$Gs = \gamma s / \gamma w \text{ (4 องศาเซลเซียส)}$$

ในการหาค่า γs นั้น สิ่งจำเป็นต้องรู้ คือ น้ำหนักแห้ง (dry weight)ของเม็ดดิน (Ws) และปริมาตรของเม็ดดิน (Vs) ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง โดยที่สมาการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\gamma s = Ws / Vs$$

การหาน้ำหนักแห้งของดินตัวอย่างนั้นทำได้โดยการ ใส่ดินตัวอย่างในภาชนะทนความร้อนแบบไม่มีฝาปิด แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 110องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทั้งหมด (น้ำหนักภาชนะ + น้ำหนักดินแ.ห้ง) แล้วหักออกด้วยน้ำหนักภาชนะ

สำหรับการหาปริมาตรของเม็ดดิน (Vs) นั้น ทำได้โดยการหา น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับเม็ดดินแล้วหารด้วย หน่วยน้ำหนักของน้ำ (γw) ที่อุณหภูมิขณะนั้น ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ผสมตัวอย่างดิน ประมาณ 50 – 100 กรัม กับน้ำกลั่นประมาณ 300 กรัม โดยกวนในเครื่องผสมดิน

2) เทส่วนผสมลงในขวดทดลอง แล้วเพิ่มน้ำกลั่นลงไปประมาณ 200 กรัม

3) นำส่วนประสมในข้อ 2) ไปต้ม หรือ ไล่อากาศในภาชนะสุญญากาศประมาณ 15 นาที หรือจนกระทั่งอากาศหมดไปจากส่วนผสม

4) ค่อยๆเพิ่มน้ำกลั่นลงในขวดทดสอบจนถึงขีดที่กำหนด ถ้าน้ำที่เติมลงไป และน้ำในขวดทดสอบมีอุณหภูมิต่างกัน ให้ใช้แท่งแก้วกวนเบาๆ เพียงเล็กน้อยเพื่อให้น้ำมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ

5) เช็ดคอขวดด้านในและด้านนอกของขวดทดสอบให้แห้ง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักและวัดอุณหภูมิของน้ำในขวดทดสอบ ค่าที่ได้ = Wa

6) เทส่วนผสมลงในถาดสะอาดโดยจะต้องใช้น้ำกลั่นล้างดินตัวอย่างจากขวดทดสอบ ลงในถาดให้หมดแล้วนำไปอบเพื่อหาน้ำหนักแห้งของดิน (Ws)

7) ลบน้ำหนักที่วัดได้จากข้อ 5) ด้วยน้ำหนักของขวดทดลองที่บรรจุน้ำกลั่นถึงขีดที่กำหนดเดียวกัน ณ อุณหภูมิเดียวกัน (Wb) ก็จะได้ค่าเท่ากับ น้ำหนักของเม็ดดินทั้งหมดในขวด (Ws) - น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับเม็ดดินที่อยู่ในขวดทดลอง (Ww (at t))

$$Wa - Wb = Ws - Ww(at\ t)$$

$$Ww(at\ t) = Ws - (Wa - Wb)$$

$$Vs = Ww(at\ t) / \gamma w(at\ t)$$

แทนค่า Vs ในสมการ (1.2)

$$\gamma s = Ws / (Ww(at\ t) / \gamma w(at\ t))$$

แทนค่า γs ในสมการ (1.1)

$$Gs = Ws / (Ww(at\ t) / \gamma w(at\ t) \times (1 / \gamma w(at\ t)$$

หรือ

$$Gs = [Ws / Ww(at\ t)] \times Gw(at\ t)$$

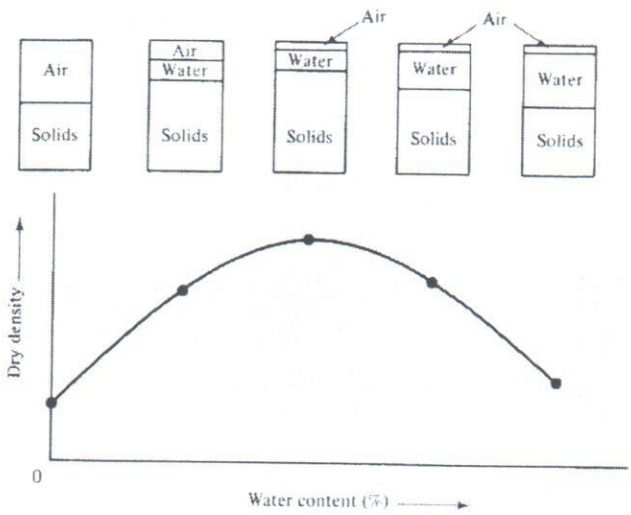
อย่างไรก็ตาม เป็นการยากที่จะหา Wb ณ อุณหภูมิที่เท่ากับในข้อ 5) ดังนั้นการทราบความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ และ น้ำหนักขอองขวดทดลองที่บรรจุน้ำกลั่นถึงขีดที่กำหนด จะทำให้ขั้นตอนนี้ง่ายยิ่งขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวหาได้โดยการชั่งน้ำหนักของขวดทดลองที่บรรจุน้ำกลั่นถึงขีดที่กำหนด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วแสดงผลบนกราฟ โดยปกติความสัมพันธ์จะเป็นเส้นตรง

ตารางค่า 3.4 Gw ของน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆ

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9998
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9956	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.8952	0.9848	0.9842	0.9838

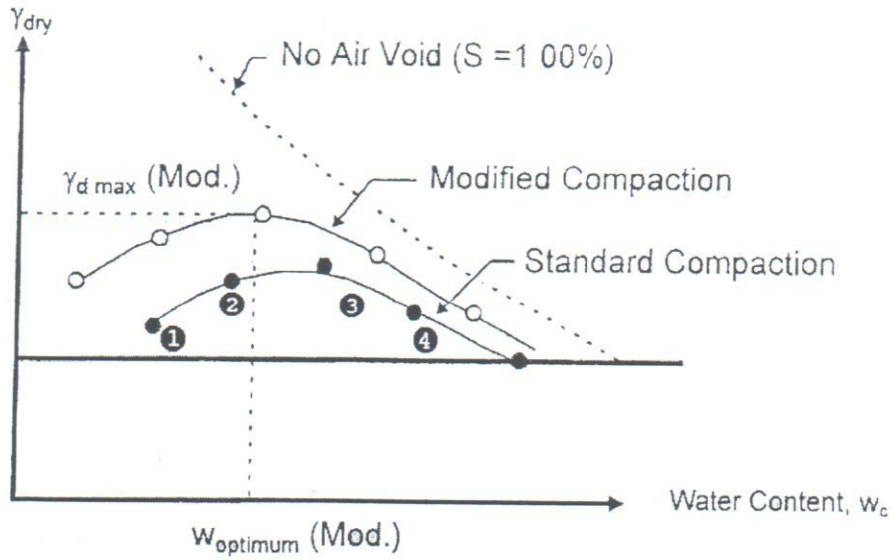
3.2.3 Compaction Test

การบดอัดดิน เป็นกระบวนปรับปรุงคุณภาพดิน คือทำให้ดินแน่น (Dense) สูงสุด เพื่อเหมาะสมแก่งานประเภทต่าง ๆ ในเชิงวิศวกรรม การทำให้ดินแน่น หรือทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงสุดนอกจากจะใช้พลังงานเช่น บดอัด (Compact) แล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้น (หรือปริมาณน้ำ) และช่องว่าง (Void) ในดิน เพราะปกติดินประกอบด้วย มวลดิน ช่องว่าง และน้ำดังแสดงสาธิตในรูปที่ 3.2.3



รูปที่ 3.3 สัดส่วนองค์ประกอบของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ และความแน่นของดิน ณ ภาวะต่าง ๆ

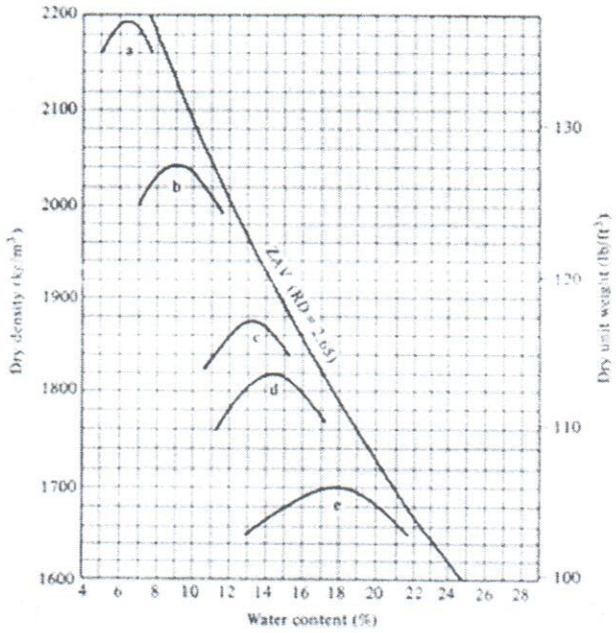
หากปริมาณความชื้นน้อย แรงตึงผิวระหว่างอนุภาคดินสูง มีความฝืด หรือแรงเสียดทานมาก ดังนั้นจึงบดอัดยาก หากเพิ่มความชื้นอนุภาคดินจัดเรียงตัวดีขึ้น บดอัดง่ายขึ้น หากปริมาณน้ำเกินปริมาณที่เหมาะสม จะเกิดแรงผลักกันระหว่างน้ำกับอนุภาคดิน ทำให้อนุภาคดินไม่สามารถเรียง หรืออัดตัวกันได้ดีเท่าที่ควร และบวมตัว (Swelling) หากปริมาณน้ำมากเกินไปจนเข้าไปแทนที่ช่องว่าง ระหว่างอนุภาคดินทำให้ดินใกล้อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) การบดอัดดินจะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของดินสูงขึ้น ขณะที่ช่องว่าง หรือโพรงอากาศระหว่างเม็ดดินลดลง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของดินสูงที่สุด (Maximum Dry Density) เรียก "Optimum Moisture Content, OMC" วิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความแน่นของดินที่บดอัดในห้องปฏิบัติการที่เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้เป็นวิธีทดสอบแบบมาตรฐาน เรียกว่า วิธีทดสอบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) หากต้องการบดอัดดินโดยใช้พลังงานมากขึ้น จึงได้พัฒนาวิธีทดสอบการบดอัดดินโดยเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น ซึ่งเรียกวิธีทดสอบว่า วิธีดัดแปลง (Modified Proctor Test) รูปที่ 3.2.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความแน่นที่ทดสอบโดยวิธีมาตรฐานและวิธีดัดแปลง และแสดงเส้นที่ดินปราศจากโพรงอากาศ หรืออิ่มตัวไปด้วยน้ำ (Non-Air Void, *NAV* หรือ Zero Air Void, *ZAV*)



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้ง และช่วงที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบแบบ Standard และ Modified Proctor

วิธีทดสอบ	มิติของแบบหล่อ นิ้ว (มิลลิเมตร)		น้ำหนักค้อนบดอัด	จำนวนชั้น	ระยะยกค้อน	จำนวนบดอัดแต่ละชั้น	พลังงานต่อปริมาตร
	เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความสูง	ปอนด์ (กิโลกรัม)		นิ้ว (มิลลิเมตร)	ครั้ง	ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต
Standard	4 (100)	4.6 (115)	5.5 (2.48)	3	12 (300)	25	12,400
Proctor	6 (150)	5.0 (125)	5.5 (2.48)	3	12 (300)	56	12,400
Modified	4 (100)	4.6 (115)	10 (4.95)	5	18 (300)	25	56,300
Proctor	6 (150)	5.0 (125)	10 (4.95)	5	18 (300)	56	56,000

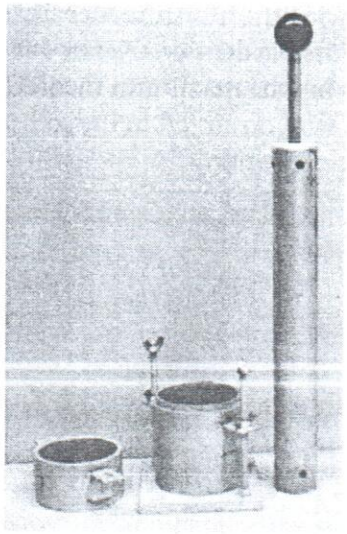


รูปที่ 3.5 ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินชนิดต่าง ๆ

อุปกรณ์

1. แบบหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง-ความสูง *4* × *6* นิ้ว และ *6* × *5* นิ้วพร้อมฐาน (Base Plate) โครงยึดแบบหล่อ และปลอก (Collar) สูง *2.5* นิ้ว
2. ค้อน หรือตุ้มบดอัด เส้นผ่านศูนย์กลาง *2* นิ้ว น้ำหนัก *5.5* ปอนด์
3. ตะแกรงร่อนเบอร์ *4* (Standard Proctor)
4. ม้อนยาง

5. แปรงอ่อน (ใช้ปัดดิน)
6. ช้อนตักดิน
7. บรรทัดเหล็ก (ใช้ปาดดิน)
8. ถาดผสมดิน
9. เครื่องชั่งละเอียด
10. เตาอบ
11. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน
12. เครื่องดันตัวอย่างดินออกจากตัวแบบ (Hydraulic extruder)
13. กระบอกตวง



รูปที่ 3.6 แบบหล่อ และฆ้อน หรือตุ้มบดอัด

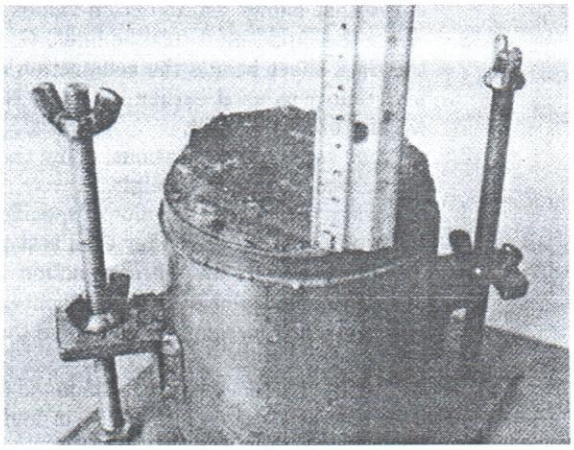
การเตรียมตัวอย่างดิน

เพื่อให้ขนาดอนุภาคดินเหมาะสมกับแบบหล่อ ตัวอย่างดินที่จะใช้ควรผึ่งแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน *60° C* แล้วใช้ฆ้อนยางทุบดินที่เกาะกันเป็นก้อนจนแยกออกจากกัน ส่วนขนาดของดินที่เหมาะสมในการทดสอบบดอัดสำหรับมาตรฐานให้ใช้ใช้ดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ *4* ประมาณ *4 - 5* กิโลกรัม อนึ่ง ตามมาตรฐานกรมทางหลวง กรณีที่ขนาดเม็ดดินมีขนาดโตกว่าเบอร์ *3/4* จะต้องคัดทิ้ง และชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ *3/4* แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ *4* ด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน

ขั้นตอนการทดสอบ

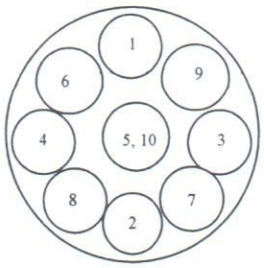
1. วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และคำนวณปริมาตรของแบบหล่อ ชั่งน้ำหนักของตัวแบบให้ได้ละเอียดถึง *0.1* กรัม

2. ประกอบแบบหล่อเข้ากับปลอก แผ่นรอง และจานคั่น (Spacer disc) แล้ววางแบบหล่อบนพื้นที่เรียบและแข็งแรง
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ เติมน้ำลงไปประมาณร้อยละ $3-4$ โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากันเพื่อความชื้นของดินสม่ำเสมอโดยตลอด
4. ตักดินใส่แบบหล่อที่ประกอบเข้ากับปลอก และแผ่นรองแล้ว โดยแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวนเป็นชั้นเท่า ๆ กัน แล้วใช้ฆ้อนบดอัด โดยจำนวนชั้น และจำนวนครั้งที่บดอัด ตามารางที่ 1 ชั้นสุดท้ายให้เหลือพ้นส่วนบนของตัวแบบ เล็กน้อย



รูปที่ 3.7 การบดอัดชั้นสุดท้ายให้พ้นตัวแบบเล็กน้อย

5. บดอัดแต่ละชั้น (ตามรูปที่ 3.7) ด้วยพลังงานที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 3.8 ลำดับขั้นตอนบดอัดดินแต่ละชั้นในแบบหล่อ

6. ถอดปลอกแบบหล่อออก แล้วใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปากแบบหล่อ อุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอขอบตัวแบบ ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอกแบบหล่อ ถอดแผ่นรองออก ชั่งหาน้ำหนักดินในแบบหล่อให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

7. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากแบบหล่อ แล้วผ่ากลางตามแนวตั้ง เพื่อเก็บตัวอย่างดินตามแนวผ่านี้อย่างน้อย *100* กรัม ไปหาปริมาณความชื้น (โดยชั่งน้ำหนักแล้วอบที่อุณหภูมิ *100* °C จนครบ *24* ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักดินแห้งอีกครั้ง)
8. สำหรับการบดอัดขั้นต่อไป ให้ใช้อย่างดินที่บดอัดแล้ว (ตัวอย่างเดิม) มาทุบให้แตกละเอียด ผสมรวมกับตัวอย่างดินที่เหลือ และเติมน้ำเพิ่มอีกประมาณร้อยละ *3* โดยน้ำหนักดินทั้งหมดผสมให้ทั่ว แล้วทดสอบซ้ำตามข้อ (4) ถึงข้อ (7) โดยควรจะเปลี่ยน หรือเพิ่มปริมาณน้ำ *5* ครั้ง เพื่อได้ข้อมูลที่จะสร้างเส้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้ง

การคำนวณ

ความหนาแน่นเปียกของดิน (Wet density, γ_t)

γ_t = น้ำหนักดิน / ปริมาตรแบบหล่อ

ความหนาแน่นแห้ง (Dry density, γ_d)

$$\gamma_d = \frac{W}{V\cdot(1+\omega)}$$

$$= \frac{\gamma_t}{(1+\omega)}$$

เมื่อ W : น้ำหนักดิน (Wet weight) ในแบบหล่อ

V : ปริมาตรแบบหล่อ

ω : ปริมาณความชื้นในดิน

ค่า Dry density บนเส้นที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (NAV หรือ ZAV)

$$\gamma_d = \frac{G_s\cdot\gamma_w}{1+\frac{\omega\cdot G_s}{S}}$$

เมื่อ G_s : น้ำหนักจำเพาะ (Specific gravity) ของดิน

S : Degree of Saturation, ร้อยละ

3.2.4 การทดสอบ DRY DENSITY IN SITU TEST (SAND REPLACEMENT)

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของดินในสนามเพื่อสอบเทียบความแน่นของดินในสนามกับความหนาแน่นที่ ทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีควบคุมการบดอัดของดินในสนาม โดยกำหนดให้ความหนาแน่นที่ได้จากการบดอัด ในห้องทดลองเป็นค่าความหนาแน่นมาตรฐานร้อยละ 100 เพื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นที่ได้จากการทดสอบ ในสนาม เรียกเป็น ร้อยละของการบดอัด (Percent compaction) เพื่อระบุในรายการก่อสร้างทาง เช่น กำหนดให้บดอัดชั้น รองพื้นทางไม่ น้อยกว่าร้อยละ 95 ของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction)

วิธีการทดสอบหาค่าความหนาแน่นในสนามที่นิยมทำมี 3 วิธี คือ ใช้กรวยทราย (Sand Cone) ใช้

ลูกโป่งยาง (Rubber Balloon) หรือกระบอกตอก (Drive Cylinder)

การทดสอบทำโดยหาน้ำาหนักมวลรวมของชั้นที่บดอัด ณ ตำแหน่งที่กำหนด และปริมาตรของหลุมที่ขุดดิน ออก โดยการหาปริมาตรงต้องใช้วัสดุที่ทราบความหนาแน่น หรือความถ่วงจำเพาะแน่นอนแล้วมาแทนที่หลุมขุด ปกติ จะใช้ทรายมาตรฐานที่คงสภาพ หรือเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น หรือ อุณหภูมิ เช่นใช้ Ottawa Sand ซึ่งมีขนาดเท่า ๆ กันเพื่อให้ผลของความหนาแน่นสม่ำเสมอ ไม่

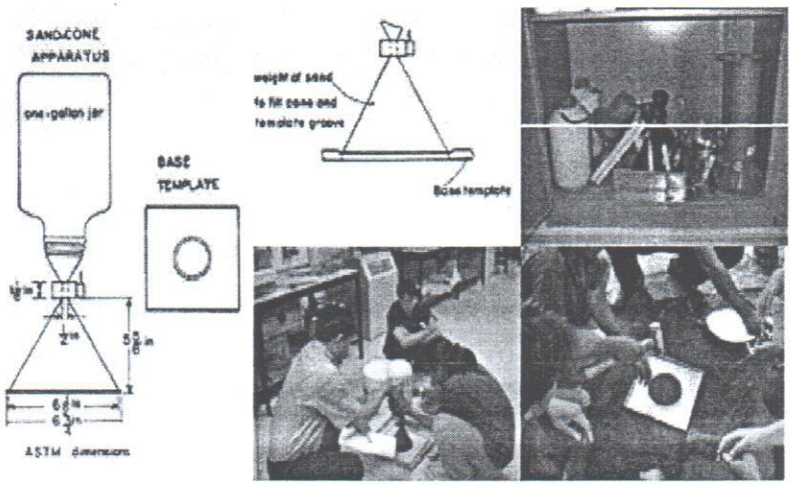
แยกตัว กรณีไม่มีทราย มาตรฐานให้แร่งทรายผ่านตะแกรงเบอร์ 20 แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 30 และเพื่อผลทดสอบถูกต้องแม่นยำ ปริมาตรของหลุมตัวอย่าง และน้ำหนักตัวอย่างมวลรวมที่ใช้หาความชื้นควรขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของมวลรวม

ตารางที่ 3.6 ปริมาตรของหลุมตัวอย่างและน้ำหนักตัวอย่างมวลรวมที่ใช้หาความชื้น

ขนาดโตสุดของมวลรวม	ปริมาตรอย่างต่ำของหลุมตัวอย่าง	น้ำหนักขั้นต่ำของตัวอย่างมวล
เบอร์ (mm)	ft 3 (m3)	รวม(g)
4 # (4.75)	0.025(0.00071)	100
12" (12.5)	0.050 (0.00142)	250
1" (25)	0.075 (0.00212)	500
1" (25)	0.100 (0.00283)	1,000

อุปกรณ์

1. ขวดแก้วชนิดปากเกลียว พร้อมกรวยโลหะที่สามารถยึดติดปากขวดได้ ปริมาตร 4.5 ลิตร โดยประมาณแท่นถาดโลหะขนาด 300*300 มิลลิเมตร ขอบสูงประมาณ 2.5 เซนติเมตร มีรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 150 ถึง 200 มิลลิเมตร
2. ทรายมาตรฐานที่มีขนาดมวลสม่ำาเสมอ (Uniformed size) หรือกรณีไม่มีทราย มาตรฐานให้แร่งทรายผ่านตะแกรงเบอร์ 20 แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 30(หรือใช้ทรายที่สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 30 แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 แทนได้
3. เครื่องมือชุดขุดเจาะดินด้วยมือ
4. เครื่องชั่งขนาด 10 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียดถึง 5 กรัม
5. ภาชนะ หรือถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างมวลรวม



รูปที่ 3.9 ขวดแก้วบรรจุทราย กรวยโลหะ และแท่นฉาดโลหะ และการทดสอบความแน่นของดินในสนาม

ขั้นตอนการทดสอบ

ลำดับขั้นตอน และวิธีทดสอบมีดังนี้

1. หาน้ำหนักทรายในกรวย
   - 1.1 เติมทรายมาตรฐานลงในขวดแก้วที่ยึดกับกรวยโลหะประมาณครึ่งขวด แล้วชั่งน้ำหนัก
   - 1.2 ปิดวาล์วแล้วคว่ำขวดแก้วลงบนพื้นที่เรียบ
   - 1.3 เปิดวาล์วให้ทรายไหลลงเต็มกรวยสังเกตจากระดับทรายหยุดนิ่ง
   - 1.4 ปิดวาล์วเมื่อทรายหยุดไหล ชั่งน้ำหนักขวดแก้วพร้อมกรวยกับทรายที่เหลือ
   - 1.5 คำนวณหาน้ำหนักทรายที่หายไปเป็นน้ำหนักทรายเต็มกรวย $(W)_c$

2. คำนวณหาความหนาแน่นหลวมของทรายจากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักทราย ต่อ ปริมาตร ดังนี้
   - 2.1 ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมกรวยโลหะ
   - 2.2 วางขวดบนพื้นเรียบ เททรายมาตรฐานให้มากกว่าระดับวาล์ว แล้วปิดวาล์ว แล้วเททรายส่วนที่ค้างในกรวยออกหมด
   - 2.3 ชั่งน้ำหนักขวดพร้อมกรวย และทรายเต็มขวด
   - 2.4 คำนวณหาน้ำหนักทรายเต็มขวดโดยทำซ้ำ2-3ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย (W avg)
3. ปรับแก้ (Calibrate) การหาปริมาตรขวด (หากทราบปริมาตรที่แน่ชัดก็ให้ละการปรับแก้นี้ได้)
   - 3.1 เททรายออกหมด ทำความสะอาดขวด และกรวย เติมน้ำให้เกินระดับวาล์วแล้วปิดวาล์ว เทน้ำส่วนที่เกินทิ้ง

3.2 ชั่งน้ำหนักขวดพร้อมน้ำ คำนวณน้ำหนักน้ำเต็มขวด เพื่อหาปริมาตรขวดโดยทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย (V avg)

3.3 เทน้ำในขวดออกหมด เช็ดขวดและกรวยให้แห้ง

4. หาความหนาแน่นของการบดอัดดินในสนาม

4.1 เตรียมพื้นที่ทดสอบให้มีขนาดประมาณ 450 450 ตารางเซนติเมตร ปรับระดับดินให้เรียบ วางถาดโลหะที่มีช่องขนาดเท่าเส้นผ่านศูนย์กลางปากกรวยโลหะ อาจตอกตะปูยึดกับดินให้แน่น

4.2 ขุดหลุมให้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดรูตรงกลางถาดโลหะ และให้ได้ความลึกอย่างน้อย 150 มิลลิเมตร หรือลึกเท่ากับชั้นวัสดุที่บดอัด ดินที่ขุดออกทั้งหมดใส่ภาชนะไว้

4.3 ชั่งน้ำหนักดินที่ขุดออก (W) 2

4.4 เก็บตัวอย่างดินเพื่อใช้หาปริมาณความชื้น (Moisture Content, w) n

4.5 ชั่งน้ำหนักขวดพร้อมกรวย และทรายเกือบเต็มขวด ปิดวาล์วแล้วคว่ำลงตรงถาดโลหะแล้วเปิดวาล์วปล่อยให้ทรายไหลลงหลุมโดยอิสระ

4.6 ปิดวาล์วเมื่อทรายหยุดไหล นำขวดพร้อมทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก

4.7 คำนวณน้ำหนักทรายในหลุมรวมทรายในกรวยโลหะ (W) 3

การคำนวณ

สิ่งที่ต้องคำนวณ มีดังนี้ คำนวณหาปริมาตรของขวด

$$V = W T \qquad (1)$$

เมื่อ V : ปริมาตรขวด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

W : น้ำหนักน้ำเต็มขวด (กรัม)

T : ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักหนึ่งกรัมที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 3.7 ปริมาตรของน้ำ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิองศาเซลเซียส	ปริมาตรของน้ำ cm^3 / g
12	1.00038
14	1.00073
16	1.00103
18	1.00138
20	1.00177
22	1.00221
24	1.00268
26	1.00320
28	1.00375
30	1.00435
32	1.00497

ความหนาแน่นหลวมของทราย (γ_s)

$$\gamma_{s=\frac{W_{avg}}{V_{avg}}}$$

ความหนาแน่นของดิน (γ)

น้ำหนักทรายในหลุม = $W_3 - W_c$

ปริมาตรของหลุม = V_2

$$= \frac{W_3 - W_c}{\gamma_s}$$

$$\gamma = \frac{W_2}{V_2}$$

ความหนาแน่นแห้งของดิน (γ_d)

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w_n}$$

ร้อยละหรือความหนาแน่นของการบดอัด

$$\text{percent compaction} = \left(\frac{\gamma_{in-situ}}{\gamma_{lab}}\right)*100$$

3.2.5 ค่าความซึมได้ของน้ำในดิน

ช่องว่างในดินไม่ใช่อยู่เป็นโพรงแยกอยู่โดด ๆ ไว้กักเก็บน้ำเหมือนอ่างเก็บน้ำ แต่เป็นช่องเล็กๆ คดเคี้ยวไปมาต่อเนื่องกันระหว่างเม็ดดิน ซึ่งน้ำจะไหลผ่านได้ ดังนั้นเมื่อมีความดันหรือระดับต่างกัน 2 จุดในดิน ก็จะมีการไหลของน้ำผ่านช่องว่างเหล่านี้ ความสามารถที่น้ำไหลซึมผ่านดินได้นี้ เรียกว่า ความซึมได้ของน้ำในดิน (k) การที่น้ำจะไหลผ่านได้เร็วหรือช้านั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน เช่น ดินพวกกรวด หรือทราย จะยอมให้น้ำไหลซึมผ่านไปได้เร็ว ค่า k จะสูง เรียกว่า ดินที่น้ำสามารถไหลซึมผ่านได้ง่าย (Pervious soil) ส่วนดินพวกตะกอนทรายหรือดินเหนียว จะยอมให้น้ำไหลซึมผ่านไปได้ช้า ค่า k จะต่ำ เรียกว่า ดินที่น้ำสามารถไหลซึมผ่านได้ยาก(Impervious soil)

ค่าความซึมได้ของน้ำในดินจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งต่อไปนี้

1.ขนาดของเม็ดดิน หากเม็ดดินมีขนาดใหญ่ ค่าความซึมได้ของน้ำในดินก็จะมีค่ามาก เนื่องจากมีช่องว่าระหว่างเม็ดดินเยอะ

2.คุณสมบัติของของเหลวในช่องว่าง ของเหลวในช่องว่างคือน้ำ คุณสมบัติของน้ำที่สำคัญที่จะเปลี่ยนแปลก็คือความหนืด (Viscosity) ความหนืดของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดจะลดลง ทำให้น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย อุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้บอกค่าความซึมได้ของน้ำในดินคือที่ 20 องศาเซลเซียส

3.อัตราส่วนช่องว่างของดิน ดินที่มีอัตราส่วนช่องว่างมาก น้ำย่อมไหลสะดวกกว่าดินที่มีช่องว่างน้อย เช่น ทรายหลวมน้ำย่อมไหลได้สะดวกและเร็วกว่าในทรายอัดแน่น

4.รูปร่างและการจัดเรียงตัวของช่องว่าง ช่องว่างของดินที่มีรูปร่างและการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบเป็นแถวเป็นแนวในทิศทางการไหลของน้ำ น้ำย่อมไหลได้สะดวกและเร็วกว่าในช่องว่างของดินที่มีรูปร่างและการจัดเรียงตัวสลับซับซ้อนและคดเคี้ยวไปมา

5.ระดับความอิ่มตัว ในดินที่ไม่อิ่มตัว ช่องว่าจะมีฟองอากาศอยู่ด้วย ซึ่งจะคอยกั้นการไหลของน้ำ ทำให้น้ำไหลซึมผ่านไม่สะดวก

ตารางที่ 3.8 สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดิน

ชนิดของดิน	ค่าความซึมได้ของน้ำในดิน (มม./วินาที)	คุณสมบัติการะบายน้ำ
กรวด	มากกว่า 10	ดี
ทราย	$10 - 10^{-2}$	ดี
ทรายละเอียด ตะกอนทรายหยาบ	$10^{-2} – 10^{-4}$	ปานกลาง
ตะกอนทราย	10^{-4}-10^{-6}	เลว
ดินเหนียว	น้อยกว่า 10^{-6}	น้ำซึมผ่านได้ยาก

ในปี ค.ศ. 1856 ดาร์ซี่ (Darcy) ได้เสนอ สมการที่อธิบายการไหลของน้ำผ่านดินอิ่มตัวดังนี้

$$V = ki$$

เมื่อ v คือ ความเร็วเฉลี่ยในการไหล และ i คือค่า hydraulic gradient เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานอันเนื่องมาจากการไหลต่อหน่วยความยาวของตัวกลาง การเปลี่ยนแปลงของพลังงาน piezometric level ซึ่งมีค่าเท่า h เนื่องจากน้ำไหลผ่านมวลดินที่มีความยาว L ในกรณีนี้ค่า $i = h / L$

ในการทดลองหาค่า k ของดินนั้น เราจะต้องสามารถ หาค่า I และวัดอัตราการไหล (q) เพื่อคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยในการไหล (v)

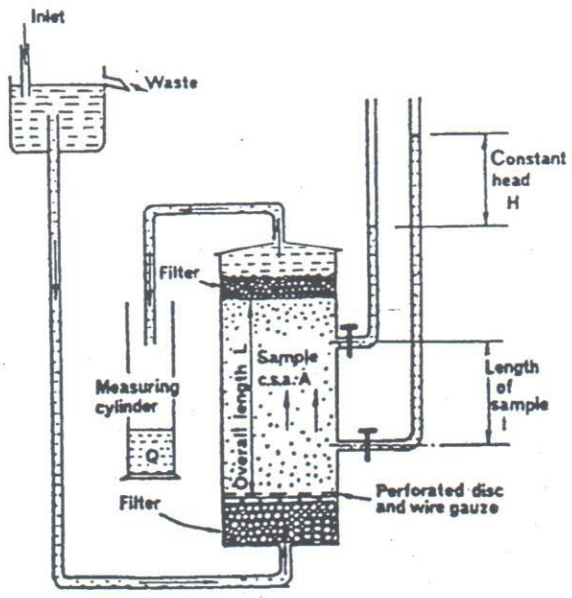
$$V = q / A$$

โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินเมื่อแทนค่า v และ I ลงในสมการ จะสามารถหาค่า k ได้ ถ้าวัดปริมาตรน้ำที่ไหลได้ Q ในเวลา t ค่าอัตราการไหล q จะเท่ากับ Q/t และสามารถหาค่า k ได้ดังนี้

$$k = qL / Ah$$

อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์หาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน (permeameter)
2. ดินตัวอย่าง (ดินทราย ดินทรายแป้ง)
3. นาฬิกาจับเวลา
4. ถ้วยตวงวัดปริมาตร 500 – 1000 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.10 การทดสอบความซึมได้ของน้ำในดินโดยวิธี Constant Head

ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดขนาดและน้ำหนักของ permeameter เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาตรและหาน้ำหนักของดิน ตัวอย่างที่จะใส่ลงไป
2. นำดินตัวอย่างซึ่งอบแห้งมาแล้วมาคลลุกเคล้าเพื่อไม่ให้ดินตัวอย่างนี้จับตัวเป็นก้อน
3. ใส่แผ่นแผ่นลวดลงและใส่กระดาษกรองลงไปด้านล่างของ permeameter แล้วค่อยๆใส่ดินลงไป
4. นำ permeameter ที่ใส่ดินแล้วไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อหาน้ำหนักของดิน (Ws) ภายใน permeameter
5. วัดความสูงของดินใน permeameter แล้วหาปริมาตรของดิน (V)
6. คำนวณหาค่าความหนาแน่นของดินแห้ง (dry density , γd) โดยที่

$$\gamma d = Ws / V$$

7. ปล่อยน้ำออกจากถังซึ่งวางให้อยู่สูงกว่าผิวบนของตัวอย่างดินประมาณ 20 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้ไหลเข้าด้านล่างของดินอย่างช้าๆ แล้วปล่อยให้น้ำไหลผ่านดินแล้วไหลออกทางท่อระบายน้ำด้านบนขั้นตอนนี้เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าดินตัวอย่างนั้นมีสภาพอิ่มตัวและปราศจากอากาศซึ่งอาจจะมีผลต่อการหาค่า permeability ของดิน
8. เมื่อดินอิ่มตัวแล้วปิดวาล์วด้านล่างของ permeameter เพื่อป้องกันไม้ให้น้ำไหลย้อนกลับลงมาแล้วจึงนำ permeameter ไปติดตั้งเพื่อทำการทดลอง
9. เมื่อติดตั้ง permeameter แล้วปล่อยน้ำจาก constant head tank ให้ไหลผ่านดินตัวอย่างจากด้านบนของดินตัวอย่าง
10. ปล่อยน้ำให้ไหลผ่านตัวอย่างดินสักครู่ เมื่อเห็นว่าน้ำไหลอย่างสม่ำเสมอแล้วจึงเริ่มจับเวลาแล้ววัดอัตราการของน้ำเพื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของดิน
11. แต่ละค่า h ให้ทำการทดลอง 3 ครั้ง จากนั้นเปลี่ยนค่า h โดยการเปลี่ยนระดับของ permeameter ให้สูงขึ้นหรือต่ำลง
12. ทำการทดลองที่ค่า h ทั้งหมด 3 ค่า แล้วคำนวณหาค่า k เฉลี่ย

บทที่ 4
หลักการออกแบบและก่อสร้างสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง

4.1 ปรัชญาในการออกแบบสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง

เทคโนโลยีที่จะใช้ในการกักเก็บน้ำในพื้นที่ดินทรายคือ "สระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง" ปรัชญาในการออกแบบสระเก็บน้ำต้านภัยแล้งเริ่มจากการพิจารณาความล้มเหลวที่เกิดขึ้นของการขุดสระเก็บน้ำที่ไม่สามารถกักเก็บน้ำได้และไม่สามารถนำน้ำไปใช้ได้ตามจุดประสงค์ มูลเหตุแห่งความล้มเหลวสามารถจำแนกดังแสดงในหวข้อ 4.1.1 และจากสาเหตุของความล้มเหลวในการขุดสระจะสามารถสรุปปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบดังแสดงในหัวข้อ 4.1.2

4.1.1 สาเหตุของความล้มเหลวในการขุดสระเก็บน้ำ (ฉัตรภูมิ 2551)

1) เมื่อสระอยู่นอกเขตชลประทานทำให้ไม่มีน้ำเติมหรืออยู่ห่างจากแหล่งน้ำที่นำมาใช้เติมสระได้
2) สระส่วนมากอาศัยน้ำใต้ดิน สระที่มีน้ำตลอดปีได้โดยมากมีระดับน้ำใต้ดินสูงตลอดปี
3) เมื่ออาศัยน้ำฝนโดยลำพังไม่อาศัยน้ำใต้ดินก็จะล้มเหลวเพราะฝนตกเฉลี่ยต่อปีประมาณ 1-1.8 เมตร เสียน้ำจากการระเหยประมาณ 1-2 เมตรต่อปี ช่วงแล้ง 5 เดือน ธันวาคม ถึง เมษายน ระเหยประมาณ 0.7-1.0 เมตรและหากดินไม่อุ้มน้ำด้วยแล้วก็สูญเสียน้ำที่เก็บกักไปทั้งหมดแม้จะมีน้ำจากระบบชลประทานมาก็เก็บกักไว้ได้ไม่นาน ในภาคอีสานหรือพื้นที่ดินปนทรายการสูญเสียน้ำโดยรั่วซึมออกจากสระเนื่องจากดินมีความซึมได้สูงจะมากกว่าการสูญเสียน้ำจากการระเหยมาก
4) น้ำฝนที่ตกหากจะเริ่มไหลเข้าสระได้ก็ต่อเมื่อดินอิ่มตัวยวดยิ่งแต่โดยมากปริมาณฝนที่ตกมิได้ทำให้ดินอิ่มตัวและเกิดการไหลเข้าสระ และหากไหลเข้าสระจริงกลับเป็นผลเสียเพราะเป็นน้ำที่ขุ่นมาก
5) หากไม่มีการปรับปรุงภูมิทัศน์รอบปากสระและพื้นผิวของสระก็เป็นสาเหตุให้น้ำขุ่นเพราะเกิดการชะผิวดินและกัดเซาะ อีกทั้งน้ำฝนส่วนใหญ่บริเวณรอบสระเกิดการสูญเสียเนื่องจากจะซึมลงผิวดินลึกไม่กี่เซนติเมตรและระเหยกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศเกือบทั้งหมดภายใน 1-2 วัน (น้ำที่ซึมลงชั้นดินลึกได้ต้องเป็นที่ลุ่มน้ำไหลมารวมกันซึ่งทำให้อัตราการซึมลงดินสูงกว่าการระเหย)

รูปที่ 4.1 สระน้ำที่อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี โดยทำการบันทึกในวันที่ 25 ธันวา 50 มีน้ำก้นสระลึกเพียง 10-20 ซม สระนี้ลึก 4 เมตร โดยช่วงที่ฝนมากสุดมีน้ำแค่ 80 ซม. ในบริเวณแอ่งก้นสระอีกทั้งน้ำที่กัก

เก็บได้ในปริมาณเล็กน้อยยังมีความขุ่นสูงจึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงเป็นการพิสูจน์ได้อย่างแน่ชัดว่าหากปราศจากน้ำใต้ดินสระที่พึ่งน้ำจากน้ำฝนจะไม่ประสพความสำเร็จในการกักเก็บน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งดินในภาคอีสานซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินทรายแป้ง (ชนิด SP-SM, SM, SC) มีค่าความซึมได้อยู่ในเกณฑ์สูง เป็นผลให้สระน้ำแห้งเกือบตลอดปี

รูปที่ 4.1 สระน้ำขุดลึก 4 เมตร ที่ไม่ประสพความสำเร็จในการกักเก็บน้ำทั้งหน้าฝนและหน้าแล้ง (อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี บันทึกในวันที่ 25 ธันวาคม 2550)

4.1.2 ปัจจัยที่พิจารณาในการออกแบบ

จากข้อมูลข้างต้นในการออกแบบสระต้องคำนึงถึงแหล่งน้ำที่ใช้ในการเติมสระ ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำของสระซึ่งในกรณีเป็นพื้นที่ดินทรายต้องมีการสร้างชั้นกันซึมที่ผิวภายในสระ การลดความขุ่นของน้ำและการยืดอายุชั้นกันซึมสามารถทำได้โดยสร้างชั้นป้องกันการกัดเซาะบนชั้นกันซึมอีกทีหนึ่ง ปัจจัยในการพิจารณาในการออกแบบพอแยกเป็นข้อๆได้ดังนี้

1) ปริมาณน้ำต้นทุนเพื่อกำหนดขนาดสระและพิจารณาแหล่งน้ำในการเติมสระให้เต็ม (น้ำฝน น้ำใต้ดิน น้ำชลประทาน น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ) หากเป็นน้ำฝนต้องมีพื้นที่รับน้ำฝนรอบปากสระให้เพียงพอ หากเป็นน้ำใต้ดินต้องมีการตรวจวัดและทำการคำนวณอัตราการไหลและค่า yield ของปริมาณน้ำใต้ดิน

2) ผิวสระจะมีการออกแบบสองชั้นโดยชั้นแรกที่วางบนผิวดินเดิมจะเป็นชั้นกันซึม (impervious layer or liner) และชั้นที่สองที่วางบนชั้นกันซึมจะเป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะ (erosion protection layer)

2) การเลือกวัสดุชั้นกันซึมของผิวภายในสระอาจเป็นดินเหนียวธรรมชาติ ดินลูกรังที่มีส่วนผสมดินเหนียวมีลักษณะเนื้อละเอียด หรือดินทรายแป้งในแหล่งขุดสระแล้วปรับปรุงโดยผสมเบนโทไนต์ ส่วนรอบปากสระใช้พลาสติกคลุมดินเป็นชั้นกันซึม

3) การเลือกวัสดุป้องกันการกัดเซาะโดยที่ตัวผิวภายในสระใช้ดินซีเมนต์, concrete slab, shotcrete ส่วนผิวภายนอกรอบปากสระก็คือพลาสติกคลุมดินซึ่งทำทั้งป้องกันการซึมและป้องกันการกัดเซาะในเวลาเดียวกัน

3) เสถียรภาพของลาดสโลปของสระ (slope stability) เสถียรภาพของรอยต่อระหว่างชั้นกันซึมกับดินเดิมของสระ และรอยต่อระหว่างชั้นกันซึมกับชั้นป้องกันการกัดเซาะ

4) ขนาดและลักษณะของพื้นที่รับน้ำฝนโดยพื้นที่รับน้ำฝนอาจเป็นพลาสติกคลุมดินเรียบ พลาสติกคลุมแปลงดินปลูกพืช หรือโรงเรือนหลังคาพลาสติกโปร่งแสงซึ่งขึ้นกับงบประมาณ

5) การระเหยและการรั่วซึมของน้ำจากสระ

4.2 แนวทางการออกแบบและก่อสร้างสระต้านภัยแล้งโดยใช้ดินปรับปรุงเบนโทไนต์

1) เบนโทไนต์ที่นำมาใช้เป็นชนิด Na-Bentonite และต้องมีการตรวจวัดหาสารปนเปื้อนเช่นโลหะหนัก อีกทั้งต้องตรวจสอบ swell index ตาม ASTM D 5890 ให้ได้ดัชนีอย่างน้อย 25 ml/2 g หากได้ต่ำกว่านี้แสดงว่าเบนโทไนต์ไม่เหมาะสมในการนำมาปรับปรุงดินสำหรับชั้นกันซึม
2) เจาะสำรวจชั้นดินและเก็บค่า Standard Penetration Test (SPT) สำหรับทุกชั้นดินจนลึกกว่าก้นสระ 2-3 เมตร สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดสโลปของสระโดยตัวประกอบความปลอดภัยต้องได้มากกว่า 2 โดยเฉพาะในหน้าฝนที่ดินนอกสระอิ่มตัวด้วยน้ำ
3) เก็บตัวอย่างดินและทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม sieve analysis (ASTM D 422-63), Atterberg's limit (ASTM D 4318-93) สำหรับการจำแนกชนิดของดินตามแนวทาง Unified Soil Classification System
4) ทำการทดสอบหา moisture content (ASTM D 2216-90), specific gravity ของดินตัวอย่าง ดินที่เหมาะสมในการปรับปรุงเป็นชั้นกันซึมตามแนวทางงานวิจัยคือ ดินตระกูล SP-SM, SM ซึ่งคือดินถึงที่ระดับความลึกสระส่วนใหญ่ของภาคอีสาน
5) ทดสอบหา unconfined compressive strength (ASTM D 2166-91) ของดินซีเมนต์ควรได้มากกว่า 17.5 ksc โดยสระต้นแบบปูชั้นดินซีเมนต์หนา 10 ซม.
6) ทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (standard compaction test ASTM D 1140-34) เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดของดินผสมเบนโทไนต์ และดินผสมซีเมนต์ โดยปกติการบดอัดในหน้างานด้วยเรื่องตบดิน (ใช้แรงคนเข็น) จะสามารถให้ความหนาแน่นแห้งอย่างน้อย 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดเมื่อบดอัดไม่เกินชั้นละ 10 ซม. ซึ่งเป็น

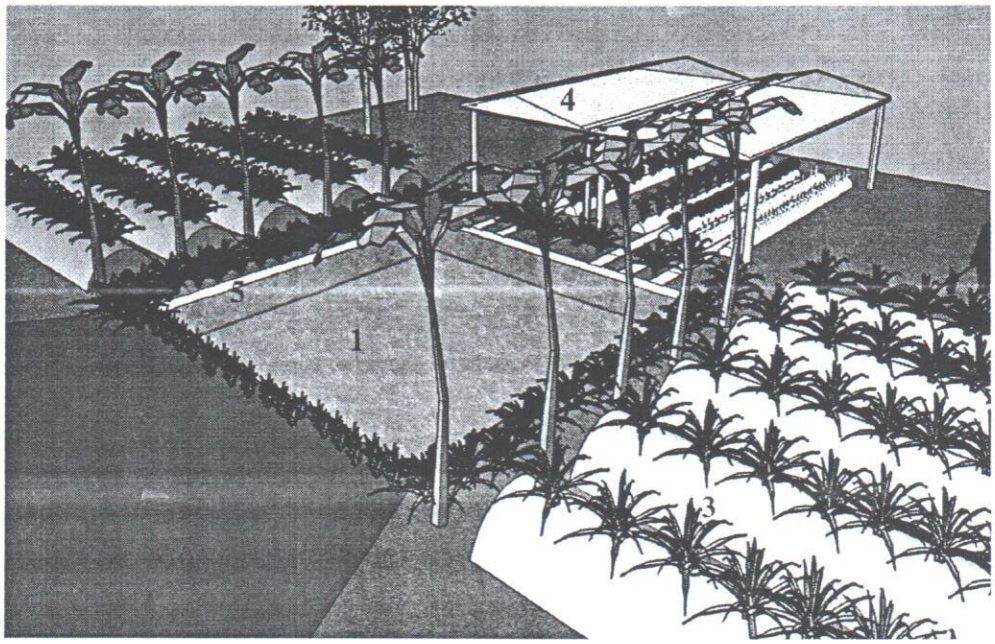
การเพียงพอแต่ก็ต้องทำการทดสอบหาความหนาแน่นแห้งในสนามเพื่อการควบคุมคุณภาพ สระต้นแบบออกแบบชั้นดินผสมเบนโทไนต์หนา 10 ซม. สามารถได้ความหนาแน่นแห้งที่ประมาณ 100% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด ความหนาของชั้นกันซึมจะหนาขึ้นเป็นสัดส่วนกับความลึกของน้ำที่กักเก็บ

7) ทำการทดสอบหาค่าความซึมได้ (permeability test ASTM 5084-90) ของดินเดิมตระกูล SM ก้ำกึ่ง SP-SM จากงานวิจัยนี้ หากไม่บดอัดจะมีค่าความซึมได้ประมาณ 10^{-5} เมตรต่อวินาที เมื่อบดอัดจะมีค่าความซึมได้ประมาณ 10^{-7} เมตรต่อวินาที สำหรับดินเดิมผสมเบนโทไนต์ 5% บดอัดแบบมาตรฐาน (standard proctor) จะมีค่าความซึมได้ประมาณ 10^{-10} เมตรต่อวินาที สูงกว่ามาตรฐานชั้นกันซึมที่ต้องการให้ค่าความซึมได้ต่ำกว่า 10^{-9} เมตรต่อวินาที

8) การผสมดินกับเบนโทไนต์หรือดินกับซีเมนต์สำหรับสระต้นแบบใช้โม่ผสมคอนกรีตทั่วไปให้คุณภาพการผสมดีเพียงพอ ปริมาณน้ำของดินผสมควรใช้ความชื้นเหมาะสำหรับดินผสมเบนโทไนต์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการเพราะง่ายต่อการบดอัด สำหรับดินซีเมนต์ให้บดอัดที่ความชื้นสูงกว่าความชื้นที่เหมาะสมที่ได้จากห้องปฏิบัติการประมาณ 1-2% เพื่อให้น้ำส่วนเกินทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้ shear strength สูงขึ้น เมื่อปูดินซีเมนต์เสร็จต้องรีบพรมน้ำบ่มดินซีเมนต์ทันทีและควรมีวัสดุปกคลุมเพื่อให้ดินซีเมนต์ได้กำลังอัดและลดการแตกร้าวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ

4.3 องค์ประกอบสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง

สระเก็บน้ำต้านภัยแล้งมีองค์ประกอบดังแสดงในรูปที่ 2 โดยที่หมายเลข 1 คือตัวสระ หมายเลข 2 คือพื้นที่รับน้ำฝนก่อสร้างเป็นพลาสติกคลุมดินบดอัดเรียบ หมายเลข 3 พื้นที่รับน้ำฝนก่อสร้างเป็นพลาสติกคลุมแปลงปลูกพืช หมายเลข 4 พื้นที่รับน้ำฝนก่อสร้างเป็นโรงเรือนหลังคาพลาสติกโปร่งแสง หมายเลข 5 คือลาดสโลปของสระ โดยพื้นที่รับน้ำฝนดังกล่าวข้างต้นจะมีความลาดเอียงเข้าสู่ตัวสระประมาณ 5-10% พื้นที่รับน้ำฝนถูกออกแบบให้น้ำไหลเข้าสระโดยสูญเสียจากการซึมให้น้อยที่สุด การใช้หลังคาของอาคารสิ่งก่อสร้างรอบปากสระเป็นอีกทางเลือก แต่เมื่อไม่มีองค์อาคารโดยรอบปากสระวัสดุที่เหมาะสมคือการใช้พลาสติกในบริเวณพื้นที่รับน้ำฝนเพราะพลาสติกเกิดการรั่วซึมน้อยมากอีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นวัสดุป้องกันการกัดเซาะหน้าดิน ราคาของพลาสติกคลุมดินมีราคาถูกไม่เกินตารางเมตรละ 10 บาท เมื่อหมดหน้าฝนก็รื้อเก็บไว้ใช้ในฤดูกาลถัดไปได้



รูปที่ 4.2 พื้นที่รับน้ำฝนลักษณะต่างๆของสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง

4.4 พื้นที่รับน้ำเทียมเพื่อรับน้ำฝน (artificial catchments)

ขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนรอบปากสระประมาณได้จากความจุของสระตัวอย่างสมมุติออกแบบให้มีความจุ 6000 ลบ.ม. มีพื้นที่สระโดยคิดเฉลี่ยที่ก้นสระและปากสระได้ 1500 ตร.ม. สระจะมีความลึกของน้ำที่เก็บ 4 เมตร จากตัวอย่างสถิติกรมทรัพยากรน้ำ (2547) ฝนตกโดยเฉลี่ยที่จังหวัดอุบลราชธานีประมาณ 1400 มิลลิเมตร (หากเป็นพื้นที่อื่นก็สามารถสืบค้นได้จากข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำหรืออาจดูได้จากแผนภาพ isoheight ซึ่งแสดง contour ของปริมาณน้ำฝนได้โดยประมาณ) หากคิดว่าสระมีประสิทธิภาพในการกักเก็บ 100 % คือไม่เกิดการรั่วซึมและมีปริมาณน้ำฝนประสิทธิผลในช่วงฝน (พฤษภาคม-กันยายน) 90%X1400 = 1260 มม. โดยประมาณจะได้น้ำกักเก็บในสระได้ 1.26X1500 ~ 1600 ลบ.ม. เมื่อสิ้นฤดูฝน เมื่อคิดคำนวณการระเหยในปีเดียวกันนั้นประมาณ 1.8 เมตร สระจะไม่มีน้ำไว้ใช้และประกอบกับสระทั่วไปในดินทรายมีการรั่วซึมสูงอาจซึมสูงถึง 2 เมตรใน 1 เดือน จากการเก็บข้อมูลสระโดยรอบมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (ฉัตรภูมิ 2551) ดังนั้นหากจะให้สระสัมฤทธิ์ผลในการกักเก็บน้ำไว้ใช้ตลอดแล้งนอกจากต้องป้องกันการรั่วซึมยังต้องเติมน้ำเข้าสู่สระให้เต็มความจุสูงสุดก่อนหมดฤดูฝน ทางออกของปัญหาคือใช้พื้นที่รับน้ำเทียมเพื่อรับน้ำฝน (artificial catchments) ให้มีขนาด 3-5 เท่า ของพื้นที่ปากสระโดยคิดประมาณการคร่าวๆได้ว่าพื้นที่รับน้ำฝน 1 เท่าของพื้นที่สระจะได้น้ำฝนกักเก็บในสระความลึกเพิ่มขึ้น 1 เมตร สำหรับสระตัวอย่างข้างต้นการทำพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 4500 ตร.ม. ก็เป็นการเพียงพอ

4.5 ปัจจัยพิจารณาวัสดุชั้นกันซึม

วัสดุชั้นกันซึมอาจเป็นดินเหนียวธรรมชาติบดอัด หรืออาจใช้ดินทรายแป้งในบริเวณขุดสระแล้วปรับปรุงโดยเบนโทไนต์เพื่อลดค่าความซึมได้ การเลือกใช้วัสดุใดนั้นต้องพิจารณาค่าขนส่งซึ่งเป็นปัจจัยหลัก การขนดินเหนียวธรรมชาติย่อมสิ้นเปลืองกว่าการขนเบนโทไนต์ซึ่งใช้ทั่วไปประมาณ 5% ของน้ำหนักดินที่จะปรับปรุง แต่ถ้าแหล่งดินเหนียวอยู่ไม่ไกลจากสระอาจเหมาะสมกว่าการใช้ดินทรายแป้งผสมเบนโทไนต์ซึ่งจะต้องมีขั้นตอนการผสมดินอันอาจมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการขนส่งดินเหนียว แต่โดยสภาพชั้นดินภาคอีสานแหล่งดินเหนียวไม่ได้มีจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วไปจึงมีแนวโน้มที่แหล่งดินเหนียวจะอยู่ห่างจากแหล่งขุดสระทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูงโดยเฉพาะในสภาวะน้ำมันเชื้อเพลิงสูงมากในปัจจุบัน การก่อสร้างสระเก็บน้ำจะก่อสร้างในหน้าแล้งเพื่อให้พร้อมรับน้ำฝนในฤดูฝนที่จะมาถึงซึ่งดินเหนียวในหน้าแล้งโดยมากมีความชื้นธรรมชาติต่ำ มีการเกาะตัวเป็นก้อนยากแก่การทำงานที่จะบดอัดเป็นชั้นกันซึม การเลือกดินเหนียวธรรมชาติโดยมากจึงเป็นการเปิดหน้าดินเพื่อเอาดินเหนียวใต้ดินซึ่งมีความชื้นไม่ต่ำเกินและเหมาะแก่การบดอัดโดยเงื่อนไขดังกล่าวยิ่งเป็นการยากที่จะหาแหล่งดินเหนียวเพื่อใช้เป็นชั้นกันซึม การปรับปรุงดินทรายโดยเบนโทไนต์แม้จะต้องมีขั้นตอนผสมดินก่อนการบดอัดแต่การผสมดินตระกูลทรายด้วยเบนโทไนต์เพียงเล็กน้อยทำให้การผสมเป็นไปโดยไม่ยากและดินปรับปรุงที่ได้มีเนื้อเดียว ง่ายต่อการบดอัด ถือว่าเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าการใช้ดินเหนียวธรรมชาติโดยเฉพาะในพื้นที่ภาคอีสาน เทคโนโลยีของวัสดุกันซึมที่เป็นไปได้คือ geomembrane เป็นวัสดุธรณีสังเคราะห์โดยมากทำจาก High Density Polyethylene (HDPE) แต่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ อีกเทคโนโลยีที่เป็นไปได้และราคาไม่สูงมากคือการใช้ geosynthetic clay liner (GCL) คือแผ่นเบนโทไนต์ประกบด้วยแผ่น non-woven geotrextile (มีลักษณะคล้ายผืนผ้าซับใน) แผ่น GCL มีกำลังรับแรงดึงไม่สูงไม่เหมาะสมใช้กับลาดด้านข้างสระโดยลำพังโดยมากใช้ควบคู่กับ Geomembrane โดย Geomembrane นอกจากเป็นวัสดุกันซึมยังทำหน้าที่รับแรงดึงโดยมีปลาย Geomembrane ฝังเป็นสมอไว้ที่ปากสระ การใช้ GCL โดยลำพังบนลาดด้านข้างของสระโดยเฉพาะเมื่อต้องมีดินบดอัดปิดหน้าเป็นชั้นป้องกันความเสียหายผิวหน้าจะเป็นการเพิ่มน้ำหนักกระทำและเกิดการฉีกขาดได้ง่าย การออกแบบที่ใช้ GCLโดยลำพังจึงต้องพิจารณารูปแบบการวิบัติที่จะเกิดขึ้นและทำการคำนวณอย่างระมัดระวัง หากเป็นสระที่ไม่ลึกคือประมาณ 2 เมตร โดยมากก็จะไม่เกิดการวิบัติจากการฉีกขาด

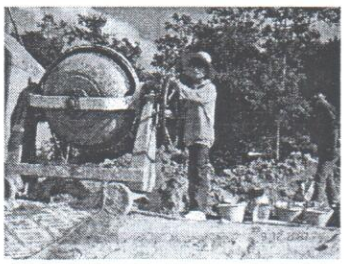
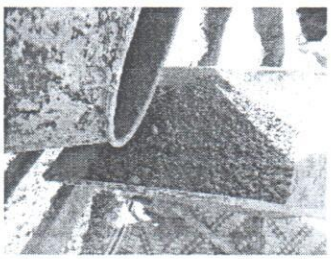
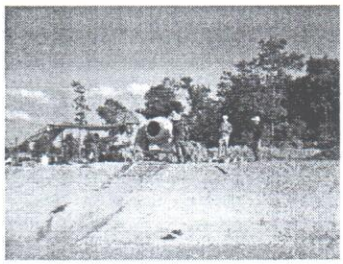
4.6 ขั้นตอนก่อสร้างสระต้นแบบขนาดเล็กของสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง ณ บ้านอุ่มยาง อำเภอพนา จังหวัดอำนาจเจริญ (ฉัตรภูมิ 2551)

1. วางผังบริเวณให้ได้ขนาดของบ่อ จากนั้นใช้รถแม็คโครขุดเปิดหน้าดินให้ได้ความลาดชัน1 : 3 ส่วนดินที่ขุดออกจากบ่อนำไปกองเก็บไว้เพื่อรอการปรับปรุงสภาพดิน

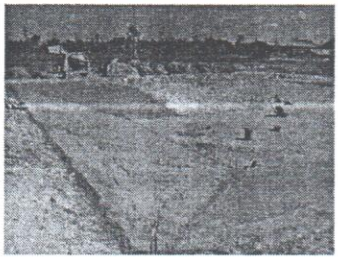
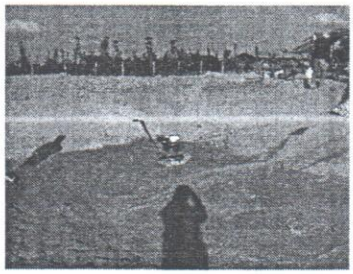
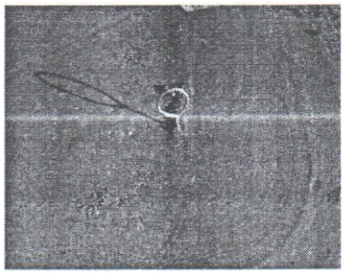
2. ใช้กำลังคนทำการปรับระดับและความลาดชันให้เรียบ และตรวจสอบดูให้ดีว่ามีเศษรากไม้หรือไม่เพราะอาจเป็นสาเหตุทำให้สระเก็บน้ำรั่วซึมได้

3. ทำการบดอัดดินให้แน่นและเรียบด้วยเครื่องตบดินให้ทั่วทุกด้านของสระน้ำ การบดอัดดินต้องพรมน้ำให้ได้ความชื้นตามปริมาความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการบดอัดให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดของดิน

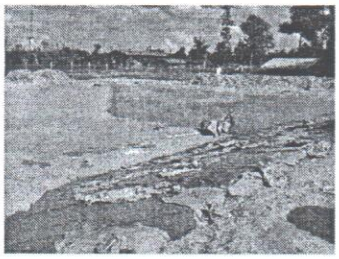
4. นำดินที่ขุดออกจากมาปรับปรุงคุณภาพใช้เป็นชั้นกันซึมโดยผสมกับเบนโทไนต์ 5% ผสมกันที่ความชื้นเหมาะสมเท่ากับ 10.60 % สำหรับสระนี้ ทำการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยโม่ แล้วลำเลียงดินปรับปรุงคุณภาพทำการบดอัดต่อไป

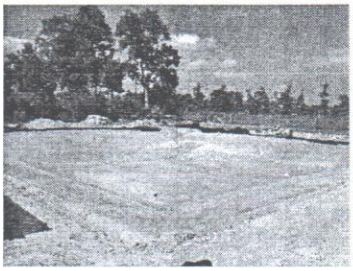




5. ทุกครั้งก่อนนำดินปรับปรุงสภาพมาบดอัดต้องพรมน้ำชั้นดินเดิมให้เปียก แล้วนำดินปรับปรุงมาเริ่มบดอัดเริ่มจากบริเวณก้นสระก่อน จากนั้นจึงทำการบดอัดดินปรับปรุงด้านข้างที่ละด้านจนครบทุกด้าน ด้วยเครื่องตบดิน และต้องบดอัดให้ได้ระดับที่กำหนด

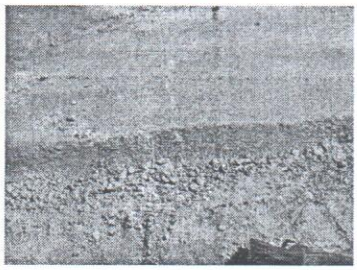
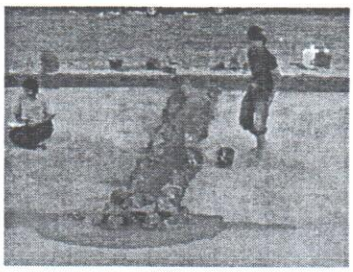




6. เตรียมดินซีเมนต์ทำการบดอัดแบบเดียวกับดินปรับปรุงคุณภาพกันซึม เพื่อใช้เป็นชั้นกันการกัดเซาะ เมื่อทำการบดอัดเสร็จแล้วต้องคลุมด้วยกระสอบชุ่มน้ำหรือพลาสติกทันทีที่ทำการบดอัดเสร็จแต่ละด้าน

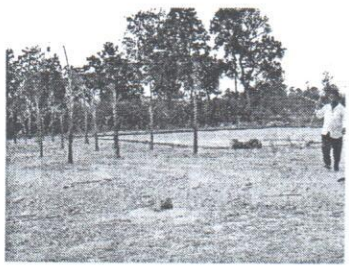
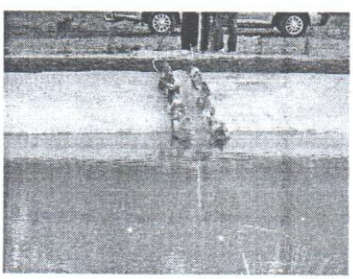
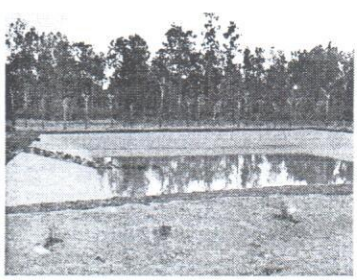




7. เซาะร่องรอบขอบสระเพื่อป้องกันน้ำโคลนที่ผิวดินไหลลงสระ จากนั้นเรียงหินเป็นแนวรับน้ำลงสู่สระแล้วทำความสะอาด

8. ปรับภูมิทัศน์ปลูกพืช ผัก ผลไม้ที่ต้องการรอบบริเวณ แล้วนำน้ำสะอาดไหลลงสระเก็บน้ำ

9. ติดตั้งบ่อสังเกตการณ์เพื่อทำการตรวจวัดระดับน้ำใต้ดิน

บทที่ 5

โปรแกรมการสำรวจ ผลการทดสอบดิน การวิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย

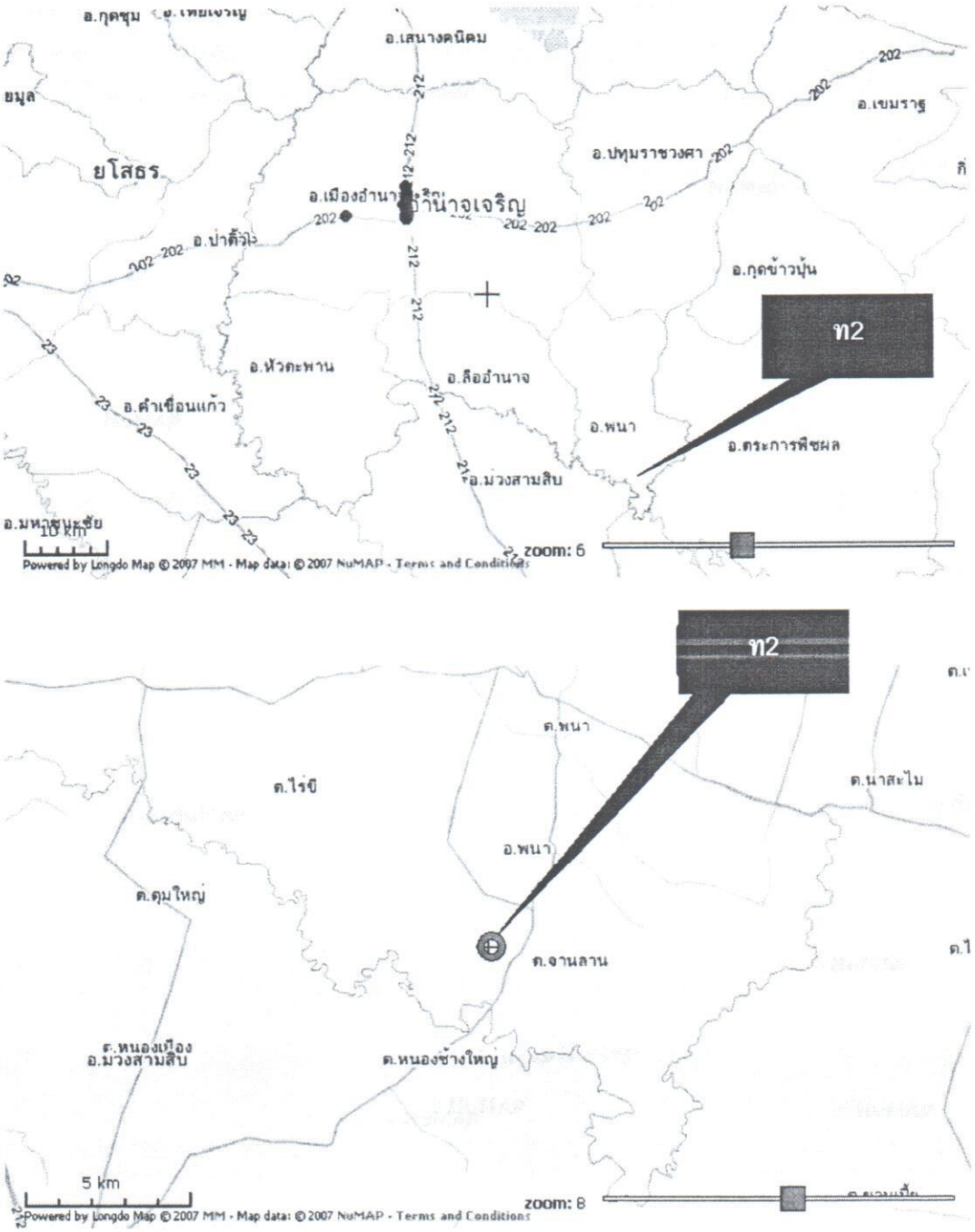
5.1 โปรแกรมการสำรวจ

ข้อมูลดินในพื้นที่ตามแนวตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างทั้งหมด 5 จุด โดยเก็บจากฝั่งไทย 2 จุด โดยจุดที่ 1 (ท1) อ.วารินฯ, จ.อุบลฯ และจุดที่ 2 (ท2) อ.พนา, จ. อำนาจเจริญ ส่วนข้อมูลดินจากฝั่งลาวมี 3 จุด โดยจุดแรก (ล1) คือกิโลเมตรที่ 36 จากช่องแม็กเข้าเมืองปากเซ สปป.ลาวโดยยังคงเป็นฝั่งขวาแม่น้ำโขง เช่นเดียวกับดินในฝั่งไทย จุดที่ 2 (ล2) บริเวณสนามบินนานาชาติ สปป.ลาว แขวงจำปาศักดิ์ และจุดที่ 3 (ล 3) บ.ภูม่วง ต.ภูม่วง อ.ปากเซ แขวงจำปาศักดิ์ โดยจุดที่ 2 และ 3 ในประเทศลาวเป็นดินที่อยู่ฝั่งซ้ายแม่น้ำโขง จุดเก็บข้อมูลดินทั้ง 5 จุด แสดงในรูปที่ 5.1-5.3

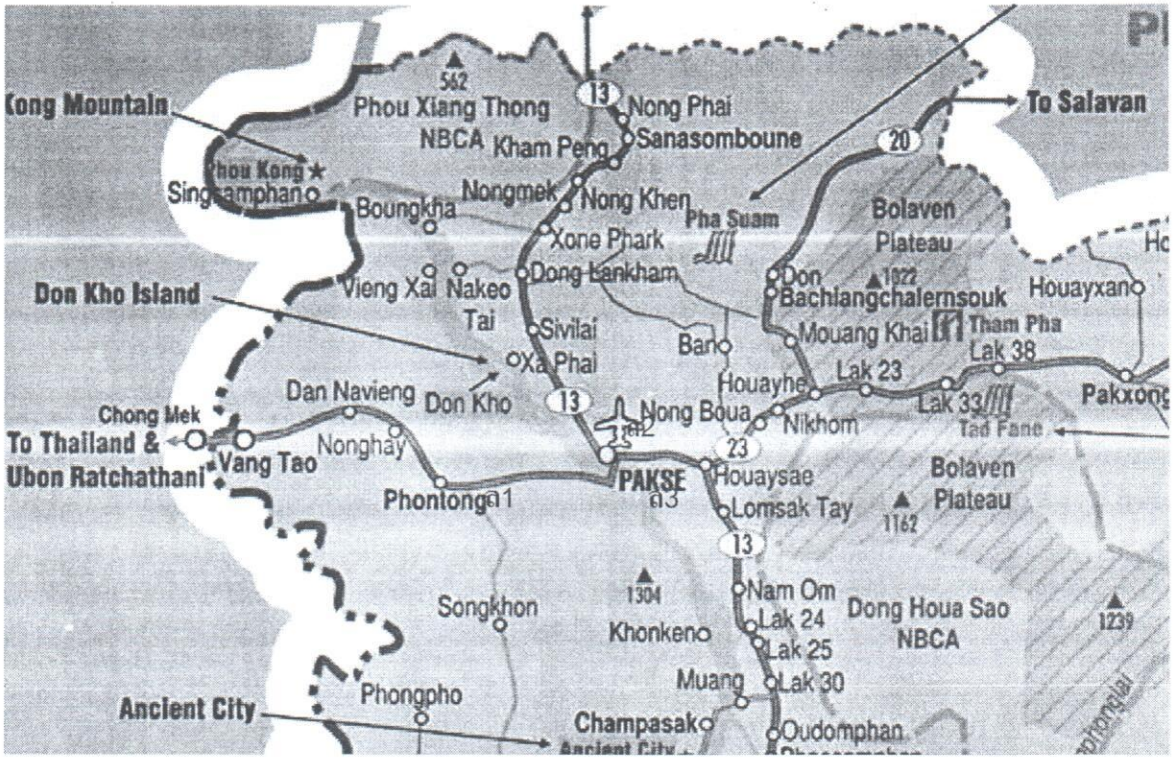
เนื่องจากเป็นโครงการเบื้องต้นจำนวนจุดสำรวจจึงมีจำนวน 5 จุดให้สอดคล้องเวลาและงบประมาณ โดยเฉพาะการทดสอบค่าความซึมได้ของดินปรับปรุงซึ่งมีค่าความซึมได้ต่ำจะกินเวลาอย่างน้อย 1 ½ เดือน สำหรับ 1 ตัวอย่าง แต่กระนั้นก็ตามข้อมูลเบื้องต้นนี้ก็สามารถแสดงถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงดิน เพื่อลดความซึมได้เพื่อประโยชน์ในการกักเก็บน้ำในพื้นที่ตามแนวตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่าง

ข้อมูลหลักของดินที่ต้องการทราบคือดินในพื้นที่ตามแนวตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างว่ามีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำอย่างไร เหมาะสมในการขุดสระเพื่อกักเก็บน้ำหรือไม่ หากไม่เหมาะสมก็ทำการทดสอบการปรับปรุงดินตัวอย่างว่าสามารถลดค่าความซึมได้จนอยู่ในระดับที่สระสามารถกักเก็บน้ำได้ โดยการปรับปรุงดินจะทดสอบโดยผสมเบนโทไนต์ 5% โดยน้ำหนักแล้วทำการบดอัด การทดสอบพื้นฐานที่ต้องการทราบคือชนิดของดิน โดยทำการจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification Sysytem การทราบชนิดของดินสามารถทำให้ทราบคุณสมบัติทางวิศวกรรมได้อย่างคร่าวๆจึงเป็นสิ่งสำคัญเบื้องต้น การทดสอบที่เป็นเป้าหมายคือค่าความซึมได้ของดินโดยเฉพาะเมื่อปรับปรุงแล้ว ในการก่อสร้างจริงต้องมีการบดอัดดินปรับปรุงดังนั้นการทดสอบก็ต้องมีการเตรียมตัวอย่างให้ใกล้เคียงกับสภาพดินในหน้างานจึงจำเป็นที่ต้องทำการทดสอบการบดอัดเพื่อให้ทราบความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงในการบดอัดโดยดูจากความชื้นที่ทำให้ได้ก้อนตัวอย่างบดอัดมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด

รูปที่ 5.1 จุดเก็บดินจุดที่ 1 ฝั่งไทย (ท1)



รูปที่ 5.2 จุดเก็บดินจุดที่ 2 ฝั่งไทย (ท2)



รูปที่ 5.3 จุดเก็บดินจุดที่ 1 ฝั่งลาว (ล1, ล2, ล3)

5.2 ผลการสำรวจและทดสอบในห้องปฏิบัติการดิน

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลอง

สถานที่	Soil Classification (USCS)	Max Dry Density (g/cc) of Soil+ Bentonite	% Compaction of Soil-Bentonite Specimens	ค่าความซึมได้ดินเดิมบดอัด (m/sec)	ค่าความซึมได้ดินผสมเบนโทไนต์ 5% (m/sec)
ล1: หลัก กม. ที่ 36 จากช่องเม็กเข้าเมืองปากเซ (ฝั่งขวาแม่น้ำโขง)	SP-SM	1.964	97.12	4.56E-07	3.81E-10
ล2: บริเวณสนามบินนานาชาติ สปป.ลาว แขวงจำปาศักดิ์ (ฝั่งซ้ายแม่น้ำโขง)	SP-SC	1.969	96.04	1.44E-07	2.43E-10
ล3: บ.ภูม่วง ต.ภูม่วง อ.ปากเซ แขวงจำปาศักดิ์ (ฝั่งซ้ายแม่น้ำโขง)	SP-SM	1.966	97.63	2.66E-07	1.72E-10
ท1: บ้านจั่น ต.โนนผึ้ง อ.วารินฯ จ. อุบลฯ (ฝั่งขวาแม่น้ำโขง)	SP-SM ก้ำกึ่ง SW-SM	1.973	96.58	9.96E-08	1.52E-10
ท2: บ้านอุ่มยาง ต.จานลาน อ.พนา จ. อำนาจเจริญ (ฝั่งขวาแม่น้ำโขง)	SP-SM ก้ำกึ่ง SM	1.968	96.39	1.13E-07	1.67E-10

5.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

5.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินตัวอย่าง

ดินตัวอย่างในงานวิจัยนี้เมื่อจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification System ได้ดิน SW-SM, SP-SM, SP-SC โดยดิน SW (Sand Well Graded), SP (Sand Poorly Graded) มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมทั่วไปคือ น้ำซึมผ่านได้ค่อนข้างสูง (การแจกแจงแยกเป็น 4 ระดับคือ ต่ำ พอประมาณ ค่อนข้างสูง สูง) จึงไม่เหมาะในการใช้เป็นชั้นกันซึม กำลังรับแรงเฉือนของดินบดอัดเมื่ออิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าการยุบตัวต่ำ (ดีพอใช้ในการใช้ในงานก่อสร้างฐานราก) ความยากง่ายในการใช้ดินในการก่อสร้างอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ส่วนคุณสมบัติของดิน SM (Silty Sand) น้ำซึมผ่านได้พอประมาณถึงค่อนข้างสูงจึงไม่เหมาะในการใช้เป็นชั้นกันซึม กำลังรับแรงเฉือนของดินบดอัดเมื่ออิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีแต่ถ้าไม่บดอัดอยู่ในสภาพธรรมชาติไม่บดอัดจะมีกำลังรับแรงเฉือนค่อนข้างต่ำ ค่าการยุบตัวต่ำเช่นเดียวกับดิน SP ความยากง่ายในการใช้ดินในการก่อสร้างอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ดิน SP, SM, SP-SM, SW-SM, SP-SC (Sand Poorly Graded and Clayey Sand) (ฉัตรภูมิ 2551) ซึ่งเป็นดินส่วนใหญ่ของภาคอีสานรวมทั้งบริเวณตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่าง โดยรวมจะเป็นดินที่ไม่ทนทานต่อการกัดเซาะเหมือนเช่นดินตระกูลดินเหนียว (CL, CH) ดังนั้นในการขุดสระเก็บน้ำในดินดังกล่าวนอกจากจะมีชั้นกันซึมแล้วยังต้องมีชั้นป้องกันการกัดเซาะ การใช้ดินเดิมในบริเวณขุดสระเป็น Protection Layer จะทนการกัดเซาะไม่ได้หากเป็นกลุ่มดินดังกล่าวจึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ทนทานต่อการกัดเซาะนอกเหนือจากการลดค่าความซึมได้ของดิน

ถึงแม้ว่าในการจำแนกดินแสดงถึงการปนของ SC ในดินตัวอย่างฝั่งลาวแต่ก็เป็นลักษณะปกติของดินทรายแป้งทั่วไปในภาคอีสานเช่นกันโดยดินแม้จะเป็น SP-SC แต่ก็เป็นรอยต่อในการจำแนกเป็น SP-SM กล่าวคือดินมีความเป็นพลาสติกไม่สูงหรือไม่เป็นชุดดินเหนียวที่เด่นชัด ดังนั้นคุณสมบัติทางวิศวกรรมโดยเฉพาะค่าความซึมได้จึงไม่ต่างกันมากโดยดิน SP-SC อาจมีค่าความซึมได้ต่ำกว่าดิน SP-SM เล็กน้อยดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 5.1 ดินเดิมของกลุ่มชุดดินดังกล่าวเมื่ออยู่ในสภาพหลวมจะมีค่าความซึมได้ค่อนข้างดีคือประมาณ 10^{-4}-10^{-5} เมตรต่อวินาที เมื่อทำการบดอัดจะมีค่าความซึมได้ประมาณ 10^{-7}-10^{-8} เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าความซึมได้ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ไม่สูงแต่ก็ยังไม่ดีเพียงพอที่จะใช้เป็นชั้นกันซึม (ค่าความซึมได้ , $k < 10^{-9}$ เมตรต่อวินาที) ผลการทดลองเมื่อผสมเบนโทไนต์เข้ากับดินเดิมประมาณ 5% สามารถลดค่าความซึมได้ของดินลงได้ประมาณ 1000 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 5.1 แต่คุณสมบัติของดินตระกูลดินทรายไม่ทนทานต่อการกัดเซาะดังนั้นแม้จะทำการบดอัดดินในส่วนที่บดอัดก็จะถูกกัดเซาะอย่างเร็วในการตกของฝนเพียง 1-2 ครั้ง แต่ด้วยการปรับปรุงดินกลุ่มดังกล่าวโดยการผสมเบนโทไนต์จะถูกนำไปใช้เป็นชั้นกันซึมได้และเมื่อผสมกับซีเมนต์สามารถใช้เป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะได้ดังชี้แจงแล้วในบทที่ 4

5.3.2 การเทียบเคียงกลุ่มชุดดินตามแบบกรมพัฒนาที่ดิน

จากฐานข้อมูลดินของกรมพัฒนาที่ดินซึ่งแบ่งดินเป็น 62 กลุ่มสามารถแบ่งได้

1) กลุ่มชุดดินหรือหน่วยดินที่เหมาะสมดีในการขุดสระเก็บน้ำได้แก่กลุ่มชุดดินที่1, 2, 3, 4, 5, 6,7,8,9,10 และ 14

2) กลุ่มชุดดินหรือหน่วยดินที่เหมาะสมปานกลางในการขุดสระเก็บน้ำได้แก่กลุ่มชุดดินที่11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 28, 31 และ 54

3) กลุ่มชุดดินหรือหน่วยดินที่ไม่เหมาะสมในการขุดสระเก็บน้ำได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 24, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57 และ 58

โดยในพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี และ อ.พนา จ.อำนาจเจริญ ดินในอำเภอนี้ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม 40, 41, 44 เป็นลักษณะดินปนทราย ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำคือระบายน้ำได้ดีซึ่งสอดคล้องกับผลทดลองค่าความซึมได้ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องปรับปรุงดินเพื่อลดค่าความซึมได้สระจึงจะสามารถกักเก็บน้ำได้ รายละเอียดของ 62 กลุ่มชุดดิน (Group of soil series) มีลักษณะทั่วไปของกลุ่มชุดดินต่าง ๆ ดังนี้

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มชุดดิน				
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
1	บ้านหมี่ (Bm) บ้านโพด (Bpo) ช่องแค (Ck) โคกกระเทียม (Kk) ลพบุรีที่ต่ำ (Lb-lo) ท่าเรือ (Tr) บุรีรัมย์ทำนา (Br-lo) วัฒนา (Wa)	Bm Bpo Ck Kk Lb-lo Tr	- ดินลึก เหนียวจัด สีดำหรือเทาแก่ตลอด - การระบายน้ำเลว - ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) - มักมีน้ำแช่ขังในฤดูฝน	- ที่ราบลุ่มหรือราบเรียบ (<1%)
2	ชุมแสง(Cs) มหาโพธิ์(Ma) ท่าขวาง(Tq) บางเขน(Bn) บางน้ำเปรี้ยว(Bp)	Cs Ma	- ดินเหนียวสีเทา ดินลึกมีการระบายน้ำเลว - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) - ถ้าเกิดบริเวณชายฝั่งทะเลหรือที่ราบลุ่ม ภาคกลาง จะมีจุดสีเหลืองฟางข้าวของสารจาโรไซต์ในระดับ ความลึกประมาณ 150 ซม. ทับอยู่บนดินเลน	- ที่ราบลุ่มหรือราบเรียบ (<1%)

	บางปะอิน(Bin) ศรีสงคราม(Ss) อยุธยา (Ay)		ซึ่งเป็นตะกอนน้ำทะเลสีเทาปนเขียว	
3	บางกอก (Bk) พิมาย (Pm) สิงห์บุรี (Sin) สมุทรปราการ (Sm) บางเขน (Bn) บางแพ (Bph) ฉะเชิงเทรา (Cc)	Bk Pm Sin Sm	- ดินลึก เหนียวจัด - การระบายน้ำเลว -ปฏิกิริยาดินบนเป็นกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ส่วนดินล่างจะเป็นด่างอ่อน (pH 7.5-8.0) - มักมีน้ำแช่ขังในฤดูฝน	- ที่ราบลุ่มหรือราบเรียบ (<1%)
4	ชัยนาท (Cn) ราชบุรี (Rb) สระบุรี (Sb) บางมูลนาค(Ban)	Cn Rb Sb	- ดินเหนียวสีเทา สีน้ำตาลปนเทา หรือสีเทาปนเขียวมะกอก - การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย	- ที่ราบลุ่มหรือราบเรียบ (<1%)

กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
	ท่าพล (Tn)		(pH 5.5-6.5) ถ้าดินมีก้อนปูนปะปนจะเป็นด่าง(pH 7.0-8.0) - ดินล่างในบางชุดดินอาจพบก้อนปูนทุติยภูมิ	
5	หางดง (Hd) พาน (Ph) ละงู (Lgu)	Hd	- ดินลึก เหนียว - การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว - ปฏิกิริยาดินบนเป็นกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ส่วนดินล่างถ้ามีก้อนปูนปะปนจะเป็นด่างอ่อน (pH 7.5-8.0)	- ราบเรียบ (<1%)
6	เชียงราย (Cr)	Cr	- ดินลึก เหนียว	- ราบเรียบถึงค่อนข้าง

	แกลง (Kl) มโนรมย์ (Mn) นครพนม (Nn) ปากท่อ (Pth) สตูล (Stu) คลองขุด (Kut) ท่าศาลา (Tsl) บางนรา (Ba) พะวง (Paw) วังตง (Wat) สุไหงโกลก (Gk)	Kl Mn Nn Pth Stu	- การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว -ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5)	ราบเรียบ (<2%)
7	เดิมบาง (Db) นครปฐม (Np) ผักกาด (Pat) สุโขทัย (Skt) ท่าตูม (Tt) พิจิตร (Pic) อุตรดิตถ์ (Utt)	Db Np Pat Skt Tt	- ดินลึก เหนียว - การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0)	- ราบเรียบถึงค่อนข้าง ราบเรียบ (<2%)
8	ดำเนินสะดวก(Dn) สมุทรสงคราม (Sso) ธนบุรี (Tb)	Dn	- ดินเหนียวสีเทาแต่ดินบนมีการทับถม เป็นชั้นๆ ของดินและอินทรียวัตถุเนื่องมาจากการ ขุดลอกร่องน้ำ - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง	- ที่ราบลุ่ม (<1%)
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
9	ชะอำ (Ca)	Ca	(pH 6.0-7.0) - ดินเหนียวสีเทา มีจุดประสีเหลืองฟางข้าวของ จาโรไซต์ในระดับตื้น	- ที่ราบลุ่มชายฝั่งทะเล (<1%)

			- ดินบนมีpH 4.0 หรือน้อยกว่า ดินล่างเป็นดินเลนและเป็นดินเค็ม pH 7.0-8.5 - ดินมีการระบายน้ำเลว	
10	มูโน๊ะ (Mu) องค์รักษ์ (Ok) เชียรใหญ่ (Cyi) รังสิตกรดจัด(Rs-va)	Mu Ok	-ดินเหนียวสีดำหรือสีเทามีจุดประสีเหลืองฟางข้าว ของจาโรไซด์ในระดับตื้นหรือดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำกว่า 4.5 ภายในความลึก 50 ซม. - ดินมี การระบายน้ำเลว	- ที่ราบลุ่มชายฝั่งทะเล (<1%)
11	ดอนเมือง (Dm) รังสิต (Rs) ธัญญบุรี (Tan) เสนา (Se)	Dm Rs	- ดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดกำมะถัน - ดินลึก เหนียว - การระบายน้ำเลว - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.0) - พบชั้นจาโรไซท์ในระดับความลึก 50-100 ซม.	- ที่ราบชายฝั่งทะเลหรือที่ราบลุ่ม (<1%)
12	ท่าจีน (Tc)	Tc	- ดินเลนเหนียวสีดำปนเทาหรือสีเทา ปนเขียว - ดินลึก การระบายน้ำเลว - เป็นดินเค็มจัด - ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง (pH 7.0- 8.0)	- ที่ราบน้ำทะเลท่วมถึง (<1%)
13	บางปะกง (Bpg) ตะกั่วทุ่ง (Tkt)	Bpg	- ดินเลนที่เป็นดินเค็มและมีกรดกำมะถันแฝงอยู่ ดินจะเป็นกรดจัดมากเมื่อระบายน้ำออก - ดินลึก การระบายน้ำเลว	- ที่ราบน้ำทะเลท่วมถึง (<1%)
14	ระแงะ (Ra)	Ra	-ดินเหนียวสีเทาเป็นกรดจัดมากมีการระบายน้ำเลว	- ที่ลุ่มต่ำชายฝั่งทะเล

	ต้นไทร (Ts)		- ดินล่างเป็นดินเลน สีเทาปนเขียว มีสารประกอบกำมะถันมาก - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก (pH <4.5)	(<1%)
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
15	แม่สาย (Ms) หล่มสัก (La) น่าน (Na) เฉลียงลับ (Cl) แม่ทะ (Mta) ลับแล (Le)	Ms	- ดินลึก ร่วนเหนียว หรือร่วนเหนียว ปนทรายแป้ง - การระบายน้ำค่อนข้างเลว - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึง เป็นกลาง (pH 6.0-7.5)	- ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ (<2%)
16	ลำปาง (Lp) หินกอง (Hk) ศรีเทพ (Sri) พานทอง (Ptg) เกาะใหญ่ (Koy)	Lp	- ดินลึก เป็นดินร่วนปนทรายแป้งถึงร่วนเหนียวปนทรายแป้ง - สีเทาถึงสีน้ำตาลปนเทา - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด ถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0)	- ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ (<2%)
17	หล่มเก่า (Lk) ร้อยเอ็ด (Re) เรณู (Rn) วิสัย (Vi) โคกเคียน (Ko) บุณฑริก (Bt) สงขลา (Sng) สายบุรี (Bu) สุไหงปาดี (Pi)	Lk Re Rn Vi	- ดินลึกมีการระบายน้ำค่อนข้างเลว - ดินบนเป็นดินร่วนหรือร่วนปนทราย ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด ถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5)	- ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ (<2%)

18	**ชลบุรี (Cb)** **เขาย้อย (Kyo)** **โคกสำโรง (Ksr)**	Cb Kyo	**- ดินลึก ดินร่วนปนทรายถึงร่วนเหนียวปนทราย** **- การระบายน้ำเลว** **- ปฏิกิริยาดินบนเป็นกรดแก่ ถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ส่วนดินล่างเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.5)**	**- ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ (<2%)**
19	**มะขาม (Mak)** **วิเชียรบุรี (Wb)**	Mak Wb	**- ดินลึก การระบายน้ำค่อนข้างเลว** **- ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทราย ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินเหนียว** **- ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5)**	**- ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ (<2%)**
กลุ่มชุดดิน	**ชุดดิน**	**ชุดดินที่ทำการวิจัย**	**ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน**	**สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)**
20	กุลาร้องไห้ (Ki) หนองแก (Nk) อุดร (Ud) ร้อยเอ็ดที่มีคราบเกลือ (Re Saline)	Ki Nk Ud	- ดินเค็ม - ดินทรายปนดินร่วนถึงดินร่วนปนทราย - การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว - มีเกลือสูง (Nacl หรือ Exch. Na สูง)	- ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ (<2%)
21	เพชรบุรี(Pb) สรรพยา(Sa)	Pb	- ดินลึก การระบายน้ำดีปานกลางถึง ค่อนข้างเลว - ดินร่วนหรือร่วนปนทรายหรือร่วนปนทรายแป้ง สลับซ้อนกันไม่แน่นอน -ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ถึงเป็นกลาง(pH 5.5-7.0)	- ส่วนต่ำของสันดินริมน้ำ ค่อนข้างราบเรียบ (<1%)
22	สีทน (St)	St	- ดินลึก การระบายน้ำค่อนข้างเลว	- ค่อนข้างราบเรียบ
	สันทราย (Sai)	Sai	- ดินร่วนปนทราย	(<2%)

	ชัยภูมิ (Cy) น้ำกระจาย (Ni)		- ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5)	
23	ทรายขาว (Sak) วังเปรียง (Wp) บางละมุง (Lm)		- ดินทรายลึก สีเทา - การระบายน้ำเลวถึงเลวมาก - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อย ถึงด่างปานกลาง (pH 6.0-7.0) ถ้าดินมีเปลือกหอยปะปนจะเป็นกลางถึงด่างแก่ (pH 7.5-8.5)	- ที่ลุ่มระหว่างสันหาดหรือเนินทรายชายฝั่งทะเล (<1%)
24	บ้านบึง (Bbg) อุบล (Ub) ท่าอุเทน (Tu)	Bbg Ub	- ดินลึก เป็นดินทราย - การระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงดีปานกลาง - ปฏิกิริยาดิน เป็นกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5)	- ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ (<2%)
25	เพ็ญ (Pn) อ้น (On) กันตัง (Kat) ม่วงค่อม (Mm) พยอมงาม (Pym) ทุ่งค่าย (Tuk)	Pn On	- ดินดอนถึงชั้นลูกรัง - ดินบนค่อนข้างเป็นทราย - การระบายน้ำค่อนข้างเลว -ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5)	- ค่อนข้างราบเรียบ (<2%)
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
26	สะท้อน (Stn) ย่านตาขาว (Yk) อ่าวลึก (Ak) กระบี่ (Kbi) ลำภูรา (Ll) ภูเก็ต (Pk)	Ak Kbi Ll Pk	- ดินลึก สีน้ำตาล แดง เหลือง - ดินร่วนถึงดินเหนียว - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่	- ที่ดอนเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเนินเขา (2-35%)

	พังงา (Pga) โคกกลอย (Koi) ท้ายเหมือง (Tim) ปะทิว (Ptu) ปากจั่น (Pac) ห้วยโป่ง (Hp)	Pga	(pH 4.5-5.5)	
27	หนองบอน (Nb) ท่าใหม่ (Ti)	Nb Ti	- ดินเหนียวค่อนข้างร่วนซุยสีแดง - ดินลึก มีการระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 5.0-5.5) - พบบริเวณพื้นที่ที่มีฝนตกชุก	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนชัน (2-20%)
28	ชัยบาดาล (Cd) ลพบุรี (Lb) ดงลาน (Dl) บุรีรัมย์ (Br) วังชมพู (Wc) น้ำเลน (Nal) สมอทอด (Sat)	Cd Lb	- ดินลึก เหนียวจัด สีดำ หรือ น้ำตาล อาจพบชั้นปูนมาร์ลในดินล่าง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกลาง ถึงด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0)	- ที่ดอนราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ (<2%)
29	บ้านจ้อง (Bg) เชียงของ (Cg) โชคชัย (Ci) ห้างฉัตร (Hc) แม่แตง (Mt) หนองมด (Nm)	Bg Cg Ci Hc Mt Nm	- ดินลึก เหนียว สีแดง น้ำตาล หรือเหลือง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเนินเขา (2-35%)

	(ต่อ)			
	ปากช่อง (Pc)	Pc		
	เขาใหญ่ (Ky) สูงเนิน (Sn)	Ky		
30	เชียงแสน (Ce) ดอย ปุย (Dp)	Ce Dp	- ดินลึก เหนียว สีแดง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดิน เป็นกรดแก่ถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5 – 6.5) - อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 500 ม. ขึ้นไป	- ส่วนใหญ่เป็นเนินเขาหรือภูเขา (20-50%)
31	เลย (Lo) ลำสนธิ (Ls) วังไฮ (Wi)	Lo Ls Wi	- ดินเหนียวลึก สีน้ำตาล สีเหลือง หรือสีแดง - การระบายน้ำดีปานกลางถึงดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนชัน (2-20%)
32	ลำแก่น (Lam) รือเสาะ (Ro) ตาขุน (Tkn)	Lam Ro	- ดินลึก ร่วนหรือร่วนเหนียวปนทรายแป้ง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5) - พบบริเวณพื้นที่ที่มีฝนตกชุก	- ที่ดอนค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาด (1-12%)
33	ดงยางเอน (Don) กำแพงแสน (Ks) กำแพงเพชร (Kp) ธาตุพนม (Tp) ตะพานหิน (Tph) น้ำดุก (Nd)	Don Ks	- ดินลึก เป็นดินร่วนปนทรายแป้ง - ดินมีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกลางถึงค่างปานกลางในดินล่าง (pH 7.5-8.0)	- ที่ดอนค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาด (1-12%)
34	คลองท่อม (Km)	Km	- ดินลึก สีน้ำตาล แดง หรือเหลือง	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่น

	ละหาน (Lh) คลองนกกระทุง (Knk) ควนกาหลง (Kkl)	Lh	- ดินร่วนถึงดินเหนียว - การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่	ลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนชัน (2-20%)
	ฉลอง (Chl) ท่าแซะ (Te)		(pH 4.5-5.5) - พบบริเวณพื้นที่ที่มีฝนตกชุก	
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
35	นาท่าม (Ntm) ฝั่งแดง (Fd) ด่านซ้าย (Ds) โคราช (Kt) มาบบอน (Mb) สตึก (Suk) วาริน (Wn) ยโสธร (Yt) ดอนไร่ (Dr)	 Ds Kt Mb Suk Wn Yt	- ดินลึก ดินบนร่วนปนทรายถึงดินทราย ปนดินร่วนดินล่างร่วนเหนียวปนทราย - การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5 – 5.5)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนชัน (2-20%)
36	สีคิ้ว (Si) ศรีราชา (Sr) เพชรบูรณ์ (Pe) ปราณบุรี (Pr)	Si Sr Pe Pr	- ดินลึก ร่วนปนดินเหนียวหรือ ดินร่วนเหนียวปนทราย - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินดินบนเป็นกรดแก่ถึงกรดปานกลาง(pH 5.0-6.0) ดินล่างเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.5-7.5)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนชัน (2-20%)
37	นาคู (Nu) บ่อไทย (Bo) ทับเสลา (Tas)	-	- ดินลึกสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลปนเทาดินล่างอาจมีจุดประสีแดงและศิลาแลงอ่อนปะปน - ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนดินล่างเป็น	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (2-5%)

			ดินเหนียวหรือ ดินเหนียวปนเศษหิน - การระบายน้ำดีปานกลาง - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่(pH 4.5-5.5)	
38	ชุมพลบุรี (Cph) ท่าม่วง (Tm) เชียงใหม่ (Cm) ดอนเจดีย์ (Dc) ไทรงาม (Sg) ป่าสัก (Pa)	Cph Tm	- ดินลึก มีชั้นดินสลับไม่แน่นอนของดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนปนทรายละเอียด สีน้ำตาล - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.0 – 7.0)	- ที่ดอนค่อนข้างราบเรียบ (<2%)
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
39	คอหงส์ (Kh) นาทวี (Nat) สะเดา (Sd) ทุ่งหว้า (Tg)	Kh Nat Sd Tg	- ดินลึก ร่วนปนทรายสีน้ำตาลเหลือง แดง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5) - พบบริเวณที่มีฝนตกชุก	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนชัน (2-20%)
40	ชุมพวง (Cpg) หุบกระพง (Hg) เขาพลอง (Kpg) สันป่าตอง (Sp) ยางตลาด (Yl)	Cpg Hg Kpg Sp	-ดินลึกร่วนปนทรายสีน้ำตาลอ่อนสีเหลืองหรือสีแดง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5 - 5.5)	- ค่อนข้างราบเรียบถึงที่ลาดเชิงเขา (1-20%)
41	กำบง (Kg) บ้านไผ่ (Bi)	- -	- ดินลึก ตอนบนเป็นดินทราย หรือ ดินทรายปนดินร่วนหนา 50-100 ซม. ดินล่างเป็นดิน	- ที่ดอนค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่น

	มหาสารคาม (Mk)	-	ร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย - การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5)	ลอนลาด (1-12%)
42	บ้านทอน (Bh)	Bh	- ดินทรายจัดสีเทาที่มีชั้นดาน อินทรีย์ สีน้ำตาลหรือแดงในดินล่าง - การระบายน้ำดีปานกลาง - พบบริเวณหาดทรายเก่าหรือสันทรายชายทะเล - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ถึงกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0)	- ที่ดอนค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (1-5%)
43	บาเจาะ (Bc) หัวหิน (Hh) หลังสวน (Lan) ไม้ขาว (Mik) พัทยา (Py) ระยอง (Ry) สัตหีบ (Sh) ดงตะเคียน (Dt)	Bc Hh Lan Mik Py Ry Sh	- ดินทรายลึกบริเวณหาดทรายหรือ สันทรายชายทะเลอาจพบเปลือกหอยปะปน - สีเทา น้ำตาลอ่อนหรือเหลือง - การระบายน้ำค่อนข้างมากเกินไป - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) - พบในเขตฝนตกชุก	-ที่ดอนบริเวณหาดทรายหรือสันทรายชายทะเล (1-5%) บางแห่งพบบริเวณที่ลาดเชิงเขา
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
44	จันทึก (Cu) น้ำพอง (Ng)	Cu Ng	- ดินลึก เป็นทราย - การระบายน้ำดีมากเกินไป - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเชิงเขา (2-20%)

45	ชุมพร (Cp) คลองชาก (Kc) หาดใหญ่ (Hy)	Cp Kc	- ดินตื้นถึงชั้นลูกรังหรือกรวด - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเชิงเขา (2-20%)
	เขาขาด (Kkt) หนองคล้า (Nok) ยะลา (Ya)		- พบบริเวณพื้นที่ที่มีฝนตกชุก	
46	เชียงคาน (Ch) กบินทร์บุรี (Kb) สุรินทร์ (Su) โป่งตอง (Po) ภูสะนา (Ps)	Ch Kb Su	- ดินตื้น เป็นดินเหนียวปนกรวดหรือลูกรัง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนลาด (2-12%)
47	หินซ้อน (Hs) ลี้ (Li) มวกเหล็ก (Ml) โป่งน้ำร้อน (Pon) สบปราบ (So) ท่าลี่ (Tl) โคกปรือ (Kok) งาว (Ngo) นครสวรรค์ (Ns) ไพสาลี (Phi)	Hs Li Ml Pon So Tl	- ดินตื้นถึงชั้นเศษหินหนาแน่น เป็นพวกดินเหนียว สีน้ำตาลเหลืองหรือแดง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ถึงเป็นกลาง (pH 5.5 – 7.0)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงเนินเขา (5-35%)
48	แม่ริม (Mr) ท่ายาง (Ty) นาเฉลียง (Nc) น้ำขุน (Ncu) พะเยา (Pao)	Mr Ty	- ดินตื้นที่เป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทรายมีเศษหินหรือกรวดมนหรือพบชั้นหินพื้น - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนชันถึงเนินเขา (12-35%)

กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
49	โพนพิสัย (Pp) สกลนคร (Sk) บรบือ (Bp)	Pp Sk	- ดินตื้นถึงชั้นลูกรังหรือเศษหินทราย - เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย - การระบายน้ำดีปานกลาง - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงถึงลอนลาด (2-12%)
50	พะโต๊ะ (Pto) สวี (Sw)	Pto Sw	- ดินลึกปานกลางถึงชั้นเศษหินหรือลูกรัง - ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ (pH 5.0-5.5) - พบบริเวณที่มีฝนตกชุก	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเนินเขา (2-35%)
51	ห้วยยอด (Ho) ยี่งอ (Yg) ระนอง (Rg)	Ho Yg	- ดินตื้นถึงชั้นเศษหินหนาแน่นของ หินทราย ควอทซ์ หรือ หินดินดาน - เนื้อดินเป็นดินร่วนปนเศษหิน - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ (pH 5.0-5.5) - พบบริเวณที่มีฝนตกชุก	- ที่ดอนที่เป็นที่ลาดเชิงเขาถึงเนินเขา (12-35%)
52	บึงชะนัง (Bng) ตาคลี (Tk)	Bng Tk	- ดินตื้นถึงชั้นปูนมาร์ลหรือก้อนปูน - ดินเหนียวหรือร่วนเหนียว - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างแก่ (pH 7.0-8.5)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนลาด (2-12%)
53	โอลำเจียก (Oc)	Oc	- ดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียว	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่น

	ตราด (Td) คลองเต็ง (Klt)	Td	- ดินลึกปานกลางถึงชั้นลูกรังหรือเศษหิน - เนื้อดินเป็นดินร่วนปนเศษหิน	ลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนชัน (2-20%)
	ตรัง (Tng) นาทอน (Ntn) ปาดังเบซาร์(Pad)		- การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ (pH 5.0-5.5) - พบบริเวณที่มีฝนตกชุก	
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
54	ลำนารายณ์ (Ln) สมอทอด (Sat) ลำพญากลาง (Lg)	Ln Sat Lg	- ดินลึกปานกลางถึงชั้นก้อนปูนสะสมหรือเศษหิน - ดินเหนียวสีน้ำตาลถึงสีแดง - การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0)	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงลอนชัน (5-20%)
55	จตุรัส (Ct) วังสะพุง (Ws)	Ct Ws	- ดินลึกปานกลางถึงชั้นหินผุของหินตะกอนเนื้อละเอียดบางแห่งมีก้อนปูนปะปน - ดินเหนียวสีน้ำตาลถึงแดง - การระบานน้ำดีถึงปานกลาง - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงด่างอ่อน (pH 6.0-7.5)	- ที่ดอนค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาด (1-12%)
56	ลาดหญ้า (Ly) โพนงาม (Png)	Ly Png	- ดินลึกปานกลางถึงชั้นเศษหินหนาแน่น - เป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทรายสีน้ำตาลเหลืองหรือแดง - การระบายน้ำดี - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ถึงกรดปานกลาง	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงเนินเขา (5-35%)

			(pH 5.0-6.0)	
57	กาบแดง (Kd)	Kd	- ดินอินทรีย์หนา 40-100 ซม. ใต้ชั้นอินทรีย์เป็นดินเลน ตะกอนน้ำทะเลสีเทาหรือเทาปนเขียว มีสารไพไรท์มาก - การระบายน้ำเลวมาก - ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก (pH น้อยกว่า 4.5)	- ที่ลุ่มต่ำ (<1%)
58	นราธิวาส (Nw)	Nw	- ดินอินทรีย์หนากว่า 100 ซม. และยังมีการย่อยสลายไม่ดีนัก - พบบริเวณป่าพรุ	- ที่ลุ่มต่ำ (<1%)
59	ดินตะกอนลำน้ำที่มีการระบายน้ำเลว (AC-pd)	-	- มีลักษณะชั้นดินสลับหรือไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดหรือขนาดของตะกอนที่มาทับถม - การระบายน้ำเลว - เป็นดินที่พบบริเวณหุบเขา	- ที่ราบลุ่มในหุบเขาสภาพราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ (<2%)
กลุ่มชุดดิน	ชุดดิน	ชุดดินที่ทำการวิจัย	ลักษณะสำคัญของกลุ่มชุดดิน	สภาพพื้นที่ ๆ พบ (% ความลาดชัน)
60	ดินตะกอนลำน้ำที่มีการระบายน้ำดี (AC-wd)	-	- มีลักษณะชั้นดินสลับไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของตะกอนที่มาทับถม - การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง - เป็นดินที่พบบริเวณหุบเขา	- ที่ดอนค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาด (1-12%)
61	ดินที่ลาดชันเชิงเขา (FSC)	-	- ลักษณะและคุณสมบัติจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัยการกำเนิดดิน โดยเฉพาะหินต้นกำเนิด - พบบริเวณเชิงเขา	- ที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงลอนชัน (5-20%)

62	ทุกชุดดินที่พบบน	-	- ดินมีลักษณะแตกต่างกันไปไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับ	- พื้นที่ ๆ มีความลาดชัน
	สภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35%		ชนิดของหินต้นกำเนิด สภาพภูมิอากาศ พืชพรรณ สภาพพื้นที่ และระยะเวลาในการพัฒนาของดิน	สูง (>35%)

จากที่กล่าวมาข้างต้นการจำแนกกลุ่มดินตามความเหมาะสมในการขุดสระเก็บน้ำมี 3 กลุ่ม ในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลกรมพัฒนาที่ดินมาจำแนกเพื่อดูสัดส่วนขนาดพื้นที่ที่ไม่เหมะสมในการขุดสระโดยทำการคำนวณเฉพาะจังหวัดอุบลราชธานี พบว่าพื้นที่มากกว่า 73% ของจังหวัดอุบลราชธานีเป็นพื้นที่อยู่ในกลุ่มชุดดินที่ไม่เหมาะสมในการขุดสระเก็บน้ำ (กลุ่มชุดดินหรือหน่วยดินที่ไม่เหมาะสมในการขุดสระเก็บน้ำได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 24, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57 และ 58) เนื่องจากดินมีค่าความซึมได้ค่อนข้างดีถึงดีมากจึงไม่สามารถอุ้มน้ำได้ ผลที่ได้จากการจำแนกดินตัวอย่างในงานวิจัยนี้ตามตารางที่ 5.1 สอดคล้องกับฐานข้อมูลดินจากกรมพัฒนาที่ดิน(โดยหลักจำแนกเพื่อการเกษตร) กล่าวคือเมื่อมีการจำแนกดินทางวิศวกรรมตามระบบ Unified Soil Classification System ได้ดินเป็นดินตระกูลทราย (S, Sand) ซึ่งดินทรายมีคุณสมบัติไม่อุ้มน้ำ ดินจากแหล่งตัวอย่างโดยมากเป็นดินทรายขนาดคละเลว (SP) ปนกับดินทรายแป้ง (SM) ซึ่งเรียกว่า SP-SM ดังแหล่งตัวอย่าง ท1 ท2 ล1 ล3 แต่โดยส่วนใหญ่ก็ก้ำกึ่งคืออาจเป็นดินทรายแป้งที่มีส่วนผสมดินเหนียว (C, Clay) เล็กน้อยทำให้ดินมีค่าพลาสติกเล็กน้อยโดยพิจารณาได้จากดินบางแหล่งมีความเหนียวบ้าง ดินกลุ่มนี้เมื่อจำแนกจะอยู่ในกลุ่ม SP-SC ดังแหล่งตัวอย่าง ล2 (ดินทรายขนาดคละเลวปนกับดินทรายแป้งและดินเหนียว) และเมื่อพิจารณาผลค่าความซึมได้ของดินหลวมไม่บดอัด $2.86x10^{-4}$ เมตรต่อวินาทีและเมื่อบดอัดอยู่ที่ 10^{-7}-10^{-8} เมตรต่อวินาที ก็สอดคล้องกับฐานข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินว่าเป็นชุดตระกูลดินทรายและความซึมได้ดีคือไม่อุ้มน้ำ

ฐานข้อมูลดินลุ่มน้ำโขงตอนล่างได้แสดงถึงการกระจายของดินตระกูลดินทรายในพื้นที่ตามรอยตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างดังแสดงในรูปที่ 5.4 แผนที่ของความเหมาะสมของดินในการปลูกพืช (Mekong Secretariat with the Technical Collaboration of B.D.P.A. and Assistance from the Government of France) พื้นที่ตามรอยตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างเป็นดินGroup 9: U-IV/P-IV และ Group 10 : U-IV : ซึ่งโดยรวมคือดินทรายที่ไม่สามารถอุ้มน้ำได้

รูปที่ 5.4 Suitability Map of Mekhong Lower Basin (Mekong Secretariat with the Technical Collaboration of B.D.P.A. and Assistance from the Government of France)

BASSIN INFERIEUR DU MEKONG
LOWER MEKONG BASIN

Carte d'aptitudes culturales des sols — Crop suitability map

au 1/1000 000

UNITE CARTOGRAPHIQUE *MAP UNIT*	CLASSE D'APTITUDES CULTURALES DES SOLS (UNITES PEDOLOGIQUES) *CAPACILITE CLASS (SOIL MAP UNITS)*	APTITUDES GENERALES ET CONTRAINTES MAJEURES *GENERAL SUITABILITY AND MAJOR LIMITATIONS*
ZONES CONVENANT SURTOUT A LA RIZICULTURE *AREAS PRIMARILY SUITED FOR PADDY*		
1	P-I/U-III (8-17)	Conviennent très bien à la riziculture. Deux récoltes avec irrigation - Conviennent moyennement à quelques cultures pluviales. *Very well suited for paddy with irrigation for 2 crops. Moderately suited for some upland crop.*
7	P-II (1-3-8-7)	Conviennent bien à la riziculture. Limitations dues aux inondations et dans les zones côtières risques de salinité *Well suited for paddy - flooding limitations with additional salinty hazards in coastal areas.*
3	P-II/U-III (13)	Conviennent bien à la riziculture, moyennement à quelques cultures pluviales sur les parties les plus hautes et les mieux drainées. Limitations dues à la sécheresse. *Well suited for paddy, moderately suited for some upland crops on higher, better drained areas. Drought limitations.*
2	P-III (5-22)	Conviennent moyennement à la riziculture. Contraintes dues à la sécheresse, à la faible fertilité ou à l'acidité très forte des sols. *Moderately suited for paddy. Drought and soil limitations (low fertility or severe acidity)*
ZONES CONVENANT SURTOUT AUX CULTURES PLUVIALES *AREAS PRIMARILY SUITED FOR UPLAND CROPS*		
5	U-II (2-24-26)	Conviennent moyennement aux cultures pluviales. Contraintes dues aux inondations (sur les sols de berges) et à la faible fertilité de sols. *Moderately suited for upland crops. Flooding (ou levee soils)*
6	U-II/P-III (12)	Conviennent bien aux cultures pluviales, moyennement à la riziculture (dans les régions plates). Contraintes dues à la sécheresse et à la faible profondeur des sols. *Well suited for upland crops. Moderately suited for paddy (on flat area). Drought and soil limitations (shallowness).*
8	U-III (15-16-19-21-25-27-28)	Conviennent moyennement aux cultures pluviales. Contraintes dues à la sécheresse, à la topographie et à la faible fertilité des sols. *Moderately suited for upland crops. Drought, topographic and soils limitations (low fertility).*
ZONES CONVENANT A LA RIZICULTURE ET AUX CULTURES PLUVIALES *AREAS SUITED FOR PADDY AND UPLAND CROPS*		
4	P-III/U-III (23)	Conviennent moyennement à la riziculture et aux cultures pluviales. Contraintes dues à la sécheresse et à la faible fertilité des sols. *Moderately suited for paddy and upland crops. Drought and soil limitations (low fertility).*
ZONES CONVENANT MAL AUX CULTURES *AREAS POORLY SUITED FOR CULTIVATED CROPS*		
9	U-IV/P-IV (4-9-14-29)	Conviennent mal à la riziculture et aux cultures pluviales. Contraintes dues à la forte acidité ou à la faible profondeur des sols, au drainage et/ou aux risques d'inondations ou de salinité. *Poorly suited for upland crops and paddy. Soil (severe acidity or shallowness) and drainage limitations, and/or salinity and flooding hazards.*
10	U-IV (10-11-18-20)	Conviennent mal aux cultures pluviales. Contraintes dues à la topographie à la faible profondeur et/ou à la faible fertilité des sols. *Poorly suited for upland crops. Topographic and soil limitations (shallowness and/or low fertility).*

U Cultures pluviales
Upland crops

P Riziculture (aquatique) le riz strictement pluvial (sans diguette) est incorporé aux cultures pluviales.
Paddy. The term «paddy» is used here to indicate wetland rice ; lunland rice is grouped with the upland crops

Route revêtue importante
Major macadam road

Route non revêtue
Unmetalled road

Chemin ou sentier saisonnier
Seasonal track or path

Voie ferrée
Railway

BANGKOK Capitale
Capital

Roi Et Ville importante
Major town

Lak Sao Autre ville
Other town

Limite d'état
Boundary of state

Limite du bassin versant
Limit of catchment area

Réseau hydrographique important
Major waterway

Réseau hydrographique secondaire
Secondary waterway

Eau
Water

Classification issue de «Soil Survey Interpretation Handbook for Northeast Thailand»
Classification taken from «Soil Survey Interpretation Handbook for Northeast Thailand»

1969

REPUBLIQU
Nakhon Phanom
Khammouane (Thakhek)
Tha U Then
Sakon Nakhon
Nong Han
That Phanom
Mukdahan
Savannakhet
Seno
Kang Kok
MEKONG
Muong Phalane
Muong Phine
Khemarat
Amnat Charoen
Yasothon
Muang Samsip
Khuang Nai
Ubon Ratchathani
Phibun Mangsahan
Warin Chamrap
Uthum Phon Phisai
Sisaket
Muong Khongxedon
Pakse
Panxong
Bas de Lam Dom Noi
Mun
105°00'
106°00'

5.4 สรุปผลงานวิจัย

โดยการพิจารณาการจำแนกชนิดดินจากแหล่งดินตัวอย่างและการพิจารณาเทียบเคียงกับฐานข้อมูลดินกรมพัฒนาที่ดินและฐานข้อมูลดินลุ่มน้ำโขงตอนล่าง มีพื้นที่จำนวนมากในพื้นที่ตามรอยตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างที่ไม่เหมาะสมในการขุดสระเก็บน้ำ แต่ผลการทดลองจากงานวิจัยเทคโนโลยีสระเก็บน้ำต้านภัยแล้ง (ฉัตรภูมิ 2549 และ ฉัตรภูมิ 2551) พบว่าดิน SP, SM, SP-SM, SW-SM, SP-SC (Unified Soil Classification System) สามารถนำมาปรับปรุงเพื่อลดค่าความซึมได้โดยผสมเบนโทไนต์และนำมาปรับปรุงเพื่อต้านทานการกัดเซาะโดยผสมซีเมนต์ โดยหลักการออกแบบสระรวมทั้งแนวทางก่อสร้างสระได้อ้างอิงจาก ฉัตรภูมิ 2549 และ ฉัตรภูมิ 2551 ดังแสดงอยู่ในบทที่ 4 ของรายงานวิจัยนี้ ผลจากงานวิจัยนี้บ่งชี้ว่าเทคโนโลยีของสระเก็บน้ำต้านภัยแล้งสามารถใช้ในการพัฒนาแหล่งน้ำของพื้นที่ตามรอยตะเข็บชายแดนไทยลาวตอนล่างได้อย่างดีเนื่องจากดินในพื้นที่ดังกล่าวเป็นกลุ่มดิน SP, SM, SP-SM, SW-SM, SP-SC เช่นเดียวกับดินส่วนใหญ่ในภาคอีสาน

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, สืบค้น www.pcd.go.th, ม.ค. 2551.

กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สืบค้น www.rid.go.th, ม.ค. 2551.

กรมทรัพยากรน้ำ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, สืบค้น www.dwr.go.th, ม.ค. 2551.

กรมทรัพยากรน้ำ.2547. สถิติอุทกวิทยา 2547. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, สืบค้น www.dgr.go.th, ม.ค. 2551.

กรมอุตุนิยมวิทยา, กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, สืบค้น www.tmd.go.th, ม.ค. 2551.

เจริญ เพียรเจริญ. 2540. น้ำบาดาล-บ่อบาดาล. กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ.

ฉัตรภูมิ วิรัตนจันทร์. 2549. ทฤษฎีและหลักการในการออกแบบสระเก็บน้ำที่ขุดในพื้นที่ดินตระกูลดินทราย (Patent Pending). รายงานการวิจัยฉบับที่ ว.ย. 1/2549: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ฉัตรภูมิ วิรัตนจันทร์. 2551. โครงการวิจัยเพื่อคิดค้นผลงานและหรือสิ่งประดิษฐ์เพื่อป้องกันและหรือแก้ไขปัญหาที่เกิดจากภาวะน้ำท่วมและหรือภัยแล้ง. รายงานการวิจัย (ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2550): ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

เทอดศักดิ์ ถนอมศรี และภูผา พุ่มจันทร์. 2548. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินผสมเบนโทไนต์ที่ใช้เป็นชั้นกันซึม. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สมเกียรติ ประจำวงษ์. 2550. ผ่าทางตันยุทธศาสตร์การพัฒนาแหล่งน้ำของไทย. โยธาสาร , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. **19**(2): 31-37.

สุดารัตน์ สมจันทร์. 2549. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการขุดเจาะบาดาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สุนทร กุลวัฒนวรพงศ์. 2544. ตามรอยพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงทฤษฎีใหม่. สุวีริยาสาส์น. 192 หน้า. กรุงเทพฯ.

Daniel, D. E. and Benson, C. H. (1990). "Water content-density criteria for compacted soil liners." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE 116 (12), 1811-1830.

de Buhan, P. and Salençon, J. (1993). A comprehensive stability analysis of soil nailed structures. *Eur. J. Mech., A/Solids*, 12, 325-345.

Koerner, Robert M. (1999). " Designing with geosynthetics 4th ed", Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Lambe, T. W., and Whitman, R. V. (1969). "Soil Mechanics", John Wiley & Sons.

Michalowski, R.L. (1997). "Stability of uniformly reinforced slopes." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(6), 546-556.

U.S. Dept. of the Navy. 1982. *Soil Mechanics*.ia, NAVFAC Design Manual DM-7.1, Alexandria, VA.

Oweiss, I. S. and Khera R. P. (1998). Geotechnology of Waste Management, PWS, Publishing Company.

Tay, Y. Y., Stewart, D. I., and Cousens, T. W. (2000). "Shrinkage and desiccation cracking in Bentonite-sand landfill liners. *Journal of Engineering Geology*, 60, 263-274.

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley: New York.

Viratjandr, C. and Michalowski, R.L. (2006). "Limit analysis of slope instability caused by partial submergence and rapid drawdown." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 43, no. 8, pp. 802-814.

Waldron, L. J. (1977). "The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil." *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 41, 843-849.

Wu, T. H., McKinnell, W. P. III, and Swanston, D. N. (1979). "Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska." *Can. Geotech. J.*, Ottawa, Canada, 16(1), 19-33..

ประวัติและข้อมูลส่วนตัวนักวิจัย

1) หัวหน้าโครงการวิจัย

1. **ผู้สมัครขอรับทุน (ชื่อ-สกุล ภาษาไทย)** ดร. ฉัตรภูมิ วิรัตนจันทร์
   (ชื่อ-สกุล ภาษาอังกฤษ) Dr. Chardphoom Viratjandr
   เพศ ชาย **อายุ** 43 ปี
   สถานภาพสมรส : .....โสด ...X... สมรส

2. **การทำงาน** .
   ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
   เงินเดือน 21,120 บาท
   สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
   อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
   โทรศัพท์ : 045-353355 โทรสาร : 045-353333
   E-mail : chardv@gmail.com

3. **ที่อยู่(ที่บ้าน)** 372-374, หมู่ 2, หมู่บ้านปิยะพรการ์เดนวิลล์, ต. โนนผึ้ง, อ. วารินชำราบ,
   จ.อุบลราชธานี 34190
   โทรศัพท์ : 085-1002290 โทรสาร : -
   E-mail : chardv@gmail.com

4. ประวัติการศึกษา .
   ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา **สถาบัน** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
   ปีที่สำเร็จ 2533
   ปริญญาโท สาขาวิชา วิศวกรรมธรณีเทคนิค **สถาบัน** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
   ปีที่สำเร็จ 2540
   หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ "การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวในดินเรียงตัวเป็นสองชั้นโดยใช้คำแก้ปัญหาตามทฤษฎียืดหยุ่นของดินที่เรียงตัวเป็นชั้น"
   ปริญญาโท สาขาวิชา Geotechnical Engineering **สถาบัน** U. of Colorado, Boulder, USA
   ปีที่สำเร็จ 2544
   หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ "Shear Strength of Tire Shred-Sand Mixtures"
   ปริญญาเอก สาขาวิชา Geotechnical Engineering **สถาบัน** U. of Michigan, Ann Arbor, USA
   ปีที่สำเร็จ 2549
   หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ "Fiber Reinforcement of Soils and Stability Analysis of Reinforced Foundation Soils"

แหล่งทุนปริญญาเอก : ทบวงมหาวิทยาลัย, Research Assistantship and Teaching Assistantship จาก The University of Michigan , Ann Arbor, USA

5. **สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ** Soil Improvement, Soil Reinforcement, Geomechanics, Geoenvironmental Engineering, Soil Dynamics, Geotechnical Earthquake Engineering, Soil Properties, Rock Mechanics, Soil Plasticity, Earth Retaining Structures, Underground Construction, Water Resource, Civil Engineering

6. **ผลงานวิจัย** .

- Viratjandr, C. and Michalowski, R.L. (2006). "Limit analysis of slope instability caused by partial submergence and rapid drawdown." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 43, no. 8, pp. 802-814. มี impact factor 0.697
- Zornberg, J. G., Cabral, A. R., Viratjandr, C. (2004), "Behaviour of tire shred – sand Mixtures." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 41, no. 2, pp. 227-24. มี impact factor 0.697

- ฉัตรภูมิ วิรัตนจันทร์. 2549. ทฤษฎีและหลักการในการออกแบบสระเก็บน้ำที่ขุดในพื้นที่ดินตระกูลดินทราย (Patent Pending). รายงานการวิจัยฉบับที่ ว.ย. 1/2549: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ฉัตรภูมิ วิรัตนจันทร์. 2551. โครงการวิจัยเพื่อคิดค้นผลงานและหรือสิ่งประดิษฐ์เพื่อป้องกันและหรือแก้ไขปัญหาที่เกิดจากภาวะน้ำท่วมและหรือภัยแล้ง. รายงานการวิจัย (ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2550): ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ฉัตรภูมิ วิรัตนจันทร์. 2552. สระเก็บน้ำในพื้นที่ดินทรายนวัตกรรมสนับสนุนทฤษฎีใหม่ในพื้นที่แล้ง. โยธาสาร , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. **21**(2): 53-62.

7. **ผลงานวิชาการอื่น ๆ** (เช่น Proceeding ตำรา ฯลฯ)

- Michalowski, R.L. and Viratjandr, C. (2005a). "Limit analysis of reinforced soils and limit loads on reinforced soil slabs." In: Geosynthetics and Geosynthetic-Engineered Soil Structures, Symposium honoring Prof. R.M. Koerner, McMat 2005 Conference, Baton Rouge, Louisiana, June 1 – 3, pp. 39-59.

- Michalowski, R.L. and Viratjandr, C. (2005b). "Two-layer reinforced foundation soils loaded to failure." ASCE Specialty Conference: GeoFrontiers, Austin, Texas, ASCE Geotechnical Special Publication 140, pp. 1 – 10.

8. **งานบริหารและผู้ทรงคุณวุฒิ**

- คณะอนุกรรมการปฐพีในสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ มกราคม 2551-ปัจจุบัน
- ประธานกรรมการบริหารหลักสูตรบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมโยธา มิถุนายน 2552-ปัจจุบัน
- กรรมการบริหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พฤษภาคม 2549-พฤษภาคม2551
- ประธานดำเนินการและจัดการประกวด **Engineering Tech Day** ม.อุบลฯ ปี 2551, 2552

- คณะทำงานกลั่นกรองบทความดีเด่นสาขาวิศวกรรมปฐพี งานสัมนาวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14
- TC5-Thailand Coordinator of ISSMGE (International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineers)