# การศึกษาคุณสมบัติในการบดอัดของชุดดินสิบแปดชุดในภาคตะวันออก เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับงานก่อสร้าง

**โดย**

นางสุวณี ศรีธวัช ณ อยุธยา
นายสมปอง นิลพันธ์
นายเจดีย์ ปิตยานนท์
นางสาวสุจิตรา สุวรรณสถิตกุล

กลุ่มวินิจฉัยและประเมินกำลังผลิตของดิน
กองสำรวจและจำแนกดิน
กรมพัฒนาที่ดิน

เอกสารวิชาการ
ฉบับที่ 384
มิถุนายน 2539

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 37 38 01 07 000 09 05 18 11

สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 1 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 2 |
| การบดอัดดิน | 4 |
| ผลการศึกษา | 16 |
| 1. ความหนาแน่นแห้งสูงสุดของชุดดินต่าง ๆ | 16 |
| 2. ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว | 20 |
| 3. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินและ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม สำหรับการอัดตัวกับประเภทเนื้อดิน ตามการจำแนกดินในระบบ USDA Unified และ AASHO | 22 |
| สรุป | 28 |
| ภาคผนวก | 32 |

# สารบัญตาราง

**หน้า**


ตารางที่ 1 เนื้อที่ของชุดดิน 18 ชุดดิน ในภาคตะวันออก

ตารางที่ 2 ลักษณะที่สำคัญของชุดดินต่าง ๆ

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม สำหรับการอัดตัว ของชุดดินต่าง ๆ ตามการจำแนกดินในระบบ USDA Unified และ AASHO

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยเฉลี่ยจากดินบนถึงดินล่าง ของชุดดินต่าง ๆ ในภาคตะวันออก

ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินกับ ประเภทเนื้อดินในระบบ USDA

ตารางที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินกับ ประเภทเนื้อดินในระบบ Unified

ตารางที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินกับ ประเภทเนื้อดินในระบบ AASHO

ตารางที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความความชื้นที่เหมาะสม สำหรับ การอัดตัวกับประเภทเนื้อดินในระบบ USDA

ตารางที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความความชื้นที่เหมาะสม สำหรับ การอัดตัวกับประเภทเนื้อดินในระบบ Unified

ตารางที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความความชื้นที่เหมาะสม สำหรับ การอัดตัวกับประเภทเนื้อดินในระบบ AASHO

# คำนำ

ดินเป็นวัสดุตามธรรมชาติอย่างหนึ่ง ที่เกิดจากการแปรสภาพหรือการผุพังของหินและแร่ และเนื่องจากขบวนการการกำเนิดดินเป็นเหตุให้ดินแต่ละแห่งหรือแต่ละบริเวณมีคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงมีความจำเป็นต้องมีการสำรวจดินเพื่อแบ่งแยกดินไว้เป็นหมวดหมู่ สำหรับประเทศไทยโดยกองสำรวจและจำแนกดิน (Soil Survey and Classification Division) กรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department)ใช้ระบบการจัดจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานเป็นบรรทัดฐาน โดยแบ่งแยกดินไว้ในระดับชุดดิน (soil series) ผลการสำรวจและจำแนกดินดังกล่าว สามารถนำไปใช้ได้ทั้งทางด้านการเกษตรและด้านวิศวกรรม ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานด้านวิศวกรรมนั้น เนื่องจากดิน มีความสัมพันธ์กับงานฐานรากสำหรับรองรับน้ำหนักของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ และที่สำคัญยังใช้ดินเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างหลายประเภทเป็นต้นว่า งานการทาง สนามบิน คันกั้นน้ำ เขื่อนดิน พื้นโรงงาน งานเหล่านี้สิ่งสำคัญอย่างยิ่งคือ การบดอัดดินเพื่อเพิ่มความหนาแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดอัตราการทรุดตัวของดินและลดอัตราการไหลซึมของน้ำ ปัญหาอยู่ที่ว่าดินแต่ละชนิดจะบดอัดได้แน่นที่สุดเท่าใด และปริมาณความชื้นขณะบดอัดควรเป็นเท่าใด เพื่อประสิทธิภาพของการทำงาน

เพื่อให้แผนที่ดินที่กองสำรวจและจำแนกดินจัดทำไว้สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับงานดังกล่าวได้ จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการบดอัดของชุดดินต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางประกอบการวางแผนทำโครงการต่าง ๆ ที่ต้องใช้ดินนั้น ๆ ค่าการบดอัดดินในสนามจะเป็นเท่าใดขึ้นอยู่กับค่ามาตรฐานที่กระทำในห้องปฏิบัติการ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการควบคุมประสิทธิภาพการบดอัดดินในสนาม

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการบดอัดของชุดดินต่าง ๆ ในภาคตะวันออก รวม 18 ชุดดิน แต่ละชุดดินนอกจากจะทำการจำแนกดินตามระบบ USDA แล้ว ยังได้จำแนกดินตามระบบ Unified และ AASHO ซึ่งใช้กับงานด้านวิศวกรรมไว้ด้วย เพื่อให้วิศวกรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การศึกษาเป็นการทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor test) ซึ่งเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ทดสอบการบดอัดดินในงานก่อสร้างโดยทั่วไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุดตามมาตรฐานในห้องปฏิบัติการของชุดดินต่าง ๆ ในภาคตะวันออก รวม 18 ชุดดิน เพื่อใช้ในการประเมินความมั่นคงและความแข็งแรงของ ดินในการรับน้ำหนัก
2. เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว ที่ทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูง สุดของชุดดินต่าง ๆ
3. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว กับประเภทของเนื้อดินตามการจำแนกดินในระบบ USDA Unified และ AASHO
4. เพื่อทราบว่าชุดดินใดมีความเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานดันทาง

## อุปกรณ์และวิธีการ

**อุปกรณ์**

1. profile description ของชุดดินต่าง ๆ รวม 18 ชุดดิน
2. เครื่องมือเก็บตัวอย่างดิน
3. เครื่องมือวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดิน
4. สมุดเทียบสีดิน
5. เครื่องมือวิเคราะห์ความหนาแน่นแห้งของดิน โดยวิธี Standard Procter Compaction test
6. เครื่องมือวิเคราะห์การกระจายของเม็ดดิน (Grain size distribution) และ คุณสมบัติ ความเหนียวของดิน (Plasticity)
7. เครื่องมือวิเคราะห์หาความหนาแน่นรวมของดิน (bulk dlnsity)

**วิธีการ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้**

1. ศึกษาลักษณะชุดดินต่าง ๆ ในภาคตะวันออก รวม 18 ชุดดิน จากคำบรรยายหน้าตัดของดิน (soil profile description) และจากเอกสารการวิจัย เรื่องการจำแนกและกำหนดลักษณะดินในภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย (ปุญญะ และคณะ 2536)

2. เก็บตัวอย่างดินทั้ง 18 ชุดดิน โดยอาศัยแผนที่ดิน และการตรวจสอบลักษณะของดินให้ตรงกับลักษณะของชุดดินที่กำหนดไว้ (Key to soil series of Thailand) แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1 ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturbed soil sample) โดยเจาะหลุมด้วยสว่านลึกประมาณ 1.50 - 2.00 เมตร เพื่อตรวจสอบลักษณะของดินก่อนแล้วจึงขุดหลุมเก็บตามระยะความลึก 0-50, 50-100, 100-180 ซม. หรือตามลักษณะของดินที่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น เนื้อดิน หรือปริมาณเศษหินหรือกรวดลูกรังที่ปะปน ตัวอย่างดินที่เก็บแต่ละชั้นประมาณ 8-10 กิโลกรัม

2.2 ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed soil sample) เก็บด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (metal cylinder core) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 นิ้ว ส่วนใหญ่เก็บที่ความลึก 2 ระดับ คือ ช่วงกลางของระยะแรกและระยะที่ 2 คือประมาณที่ 25 ซม. และ 80 ซม. หรืออาจเป็นช่วงระหว่าง 100-180 ซม. ถ้า 2 ระยะแรกเนื้อดินไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน

3. วิเคราะห์ดิน

3.1 ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ วิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินต่อไปนี้

3.11 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว (optimum moisture content) โดยวิธี Standard Proctor Compaction Test ของชุดดินต่าง ๆ โดยการนำเอาวัสดุที่จะบดอัดผึ่งให้แห้ง แล้วค่อย ๆ เพิ่มน้ำเข้าไปในปริมาณที่พอเหมาะ แล้วเริ่มทำการบดอัดใน mold ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว สูง 4.6 นิ้ว น้ำหนักของ hammer 5.5 ปอนด์ นำ mold ไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความหนาแน่น ในครั้งต่อไปจะเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อย ๆ อย่างน้อย 4-6 ครั้ง เมื่อทราบความชื้นของการบดอัดแต่ละครั้ง ก็จะหาความสัมพันธ์ของ ความหนาแน่นแห้งของดินกับความชื้น โดยปรากฏเป็นเส้นกราฟโค้งมีจุดยอดซึ่งเรียกว่า "ความหนาแน่นแห้งสูงสุด" มีหน่วยเป็นปอนด์/ฟุต$^3$ หรือ กิโลกรัม/เมตร$^3$ แล้วแต่ความนิยมของแต่ละหน่วยงาน และความชื้นที่จุดนั้นเรียกว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

3.12 ค่าการกระจายของเม็ดดิน (grain size distribution) โดยการผ่านตะแกรง No.4, No.10 No. 40 และ No.200 และหาคุณสมบัติความเหนียวของดิน (plasticity) โดยการหา

ค่า Liquid Limit (L.L) และ Plastic Limit (P.L.) เพื่อนำไปจำแนกประเภทของดินตามระบบ Unified และ AASHO เพื่อให้วิศวกรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านวิศวกรรม ซึ่งไม่คุ้นเคยกับชุดดิน หรือการจำแนกดินด้านการเกษตร สามารถเข้าใจและนำไปใช้ประโยชน์ได้

3.13 เนื้อดิน (texture) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว

3.2 ตัวอย่างดินคงสภาพ นำไปวิเคราะห์หาความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เพื่อใช้เปรียบเทียบความหนาแน่นของดินตามธรรมชาติและหลังการบดอัด

4. วิเคราะห์ข้อมูล

4.1 หาความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดดินทั้ง 18 ชุด ในภาคตะวันออก

4.2 เปรียบเทียบความหนาแน่นแห้งสูงสุด และ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมกับประเภทของเนื้อดิน ตามการจำแนกในระบบ USDA Unified และ AASHO

5. เขียนรายงาน

## การบดอัดดิน (Compaction)

วิธีการบดอัดดินให้ได้ความแน่น (density)สูงตามความต้องการเพื่อประโยชน์ในการก่อสร้างถนน สนามบิน เขื่อนดิน พื้นโรงงาน ฯลฯ เพื่อรองรับน้ำหนักหรือป้องกันการซึมของน้ำ หลักการบดอันดิน (compaction)เป็นวิธีการเพิ่มความหนาแน่นของดินโดยการทำให้อนุภาคดิน (soil particles) จัดตัวให้ใกล้ชิดกันมากที่สุด โดยการขับไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีขนาดเล็กลง โดยปกติการบดอัดดินต้องใช้น้ำเป็นตัวหล่อลื่น ถ้าดินมีน้ำมากเกินไปอณูของเม็ดดินจะแยกห่างกัน และถ้ามีน้ำน้อยเกินไปการบดอัดจะไม่แน่นเท่าที่ควรการบดอัดดินให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดจะต้องใช้น้ำปริมาณที่พอเหมาะ ซึ่งดินแต่ละชุดดินต้องการความชื้นที่ต่างกัน และอัตราความแน่นของดินก็มีความแตกต่างกันด้วย อัตราความแน่นของการจัดตัวของเม็ดดินในปริมาตรหนึ่ง ๆ นั้น วัดออกมาในรูปของ dry density หรือเป็นการวัดปริมาณ (น้ำหนัก) ของ solid soil particle ในปริมาตรนั้น ๆ ความหนาแน่นแห้งของดินที่ได้จากการบดอัดขึ้นอยู่กับเครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในการบดอัด ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินในขณะที่ทำการบดอัดและคุณสมบัติของดิน

การบดอัดดินโดยมาตรฐานใด ๆ ก็ตามความหนาแน่นของดินนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือ water content ของดินในขณะที่ทำการบดอัดซึ่งได้กำหนดขึ้นเป็นทฤษฎีเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง moisture content ของดินในขณะที่ทำการบดอัดกับค่า dry density ที่ได้จากการบดอัดแล้ว (ดูรูปที่ 1) แสดงเส้นโค้ง ก-ข-ค-ง เรียกว่า Moisture - density relation curve

รูปที่ 1 Moisture - Dry Density Relationship

โดยปกติจะเป็นรูปโค้งคล้ายระฆังคว่ำ และไม่สามารถเขียนแทนด้วยสมการใด ๆ ได้ แต่สามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนดังนี้

ก. เมื่อความชื้น(moisture content) ของดินที่ทำการบดอัดมีค่าต่ำ ดินจะแห้งและยากแก่การจัดเรียงตัวให้แน่น ทำให้มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินหลังจากการบดอัดมาก และมีอากาศอยู่ในระหว่างเม็ดดินเป็นส่วนใหญ่

ข. เมื่อความชื้นของดินมีค่าสูงขึ้นน้ำในดินจะทำหน้าที่หล่อลื่นเม็ดดิน ทำให้เม็ดดินสามารถเคลื่อนที่จัดตัวเองได้สะดวกขึ้น และยังทำให้แรงยึดเหนี่ยวประจุไฟฟ้าระหว่างเม็ดดินลดลง ดินจะสามารถจัดตัวได้แน่นกว่าในข้อ ก. ปริมาณของช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะลดลง และปริมาณน้ำที่มีอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเพิ่มขึ้น

ค. เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เราจะสามารถบดอัดดินได้แน่นขึ้น มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อยลง และปริมาณอากาศ (air content) ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อยลง ทำให้ค่าระดับความอิ่มตัว(degree of saturation) เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อเพิ่มความชื้นถึงจุดหนึ่ง เราจะสามารถลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินลงได้จนค่าน้อยที่สุด และสามารถขับไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้จนหมด ระดับความอิ่มตัวจะมีค่าเท่ากับ 100% ที่จุดนั้นอนุภาคของดิน จะสามารถจัดตัวกันได้มีความหนาแน่นสูงสุดภายใต้ลักษณะวิธีการบดอัดดังกล่าว และค่าความชื้น ที่จุดนี้เรียกว่าความชื้นที่เหมาะสม (optimum moisture content)

ง. ถ้าเราทำการบดอัดดินในขณะที่ดินมีค่าความชื้น สูงกว่า optimum moisture content เราจะพบว่าค่าความหนาแน่นแห้ง(dry density) ที่ได้จะลดลงต่ำกว่าค่า maximum dry density ทั้งนี้เพราะเหตุว่าในข้อ ค. เราได้บดอัดดินจนกระทั่งสามารถขับไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินจนหมดและช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีเหลืออยู่เป็นจำนวนน้อยที่สุดแล้ว เมื่อเราเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปน้ำจะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีจำนวน (ปริมาณ) เพิ่มขึ้นมากกว่าในข้อ ค. นั่นคือน้ำจะไปแย่งที่อนุภาคดินที่เป็นของแข็ง (solid soil particle) ทำให้อนุภาคดินจัดตัวกันได้ไม่แน่นเท่ากับในข้อ ค. และอนุภาคดินที่เป็นของแข็ง ในหนึ่งหน่วยปริมาตรจะมีปริมาณน้อยลง มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง แต่ค่าระดับความอิ่มตัว ณ จุดใด ๆ บน moisture density relation curve หลังจากที่ผ่านพ้นความชื้นที่เหมาะสมไปแล้วจะเท่ากับ 1 (หรือ 100%) อยู่เสมอ

การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความหนาแน่น (density) ของดิน ที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ทดสอบการบดอัดดินในงานก่อสร้างโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ

1. การทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor test) ใช้กับงานก่อสร้างทั่วไปที่ต้องการรับน้ำหนักไม่มากนัก

2. การทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor test) เป็นการทดสอบที่ใช้พลังงานสูงขึ้น ใช้กับสิ่งก่อสร้างที่รับน้ำหนักมากขึ้น

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะ การทดสอบแบบมาตรฐาน ดังต่อไปนี้ คือ

**วิธีการทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐาน** (Standard Proctor test)

ทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่จะใช้บดอัดในสนามมาผึ่งให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140°F แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของ mold

2. ชั่งน้ำหนักของ mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

3. ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กก. ผสมน้ำลงไป 3-4% คลุกเคล้าให้ทั่ว จนได้ความชื้นของดินสม่ำเสมอกันตลอด

4. ตักดินใส่ใน mold ที่ประกอบ collar และ base plate แล้วแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่า ๆ กัน เมื่อ compact เสร็จแล้ว ขั้นสุดท้ายให้เหลือพ้นส่วนบนของ Mold เล็กน้อยประมาณ 1-2 ซม.

5. ใช้ hammer ขนาด 5.5 lb. compact ดินใน mold ในแต่ละชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอดขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง

6. เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอปาก mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold แล้วถอด base plate ออกนำไปชั่งหาน้ำหนักดินใน mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

7. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่านี้อย่างน้อย 100 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและเข้าอบในเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป

8. เอาตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบย่อยให้ร่วนและผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% คลุกเคล้ากันให้ทั่วสม่ำเสมอ แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึงข้อ 7 อีก จนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลง และอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

รูปที่ 3 การ compact ตัวอย่างดินใน mold ด้วย hammer

**ตารางที่ 1** เนื้อที่ของชุดดิน 18 ชุด ที่พบในภาคตะวันออก

| Soil series | Symbol | area (Rai) |
|---|---|---|
| 1. Khlong Chak | Kc | 919,837 |
| 2. Sattahhip | Sh | 443,297 |
| 3. Ban Bung | Bbg | 340,561 |
| 4. Klaeng | Kl | 301,223 |
| 5. Huai Pong | Hp | 283,738 |
| 6. Mab Bon | Mb | 236,091 |
| 7. Phak Kat | Pat | 220,995 |
| 8. Chon Buri | Cb | 213,568 |
| 9. Ma Kham | Mak | 104,772 |
| 10. O Lum Chiak | Oc | 93,902 |
| 11. Rayong | Ry | 61,596 |
| 12. Bung Chanang | Bng | 58,676 |
| 13. Tha Mai | Ti | 43,088 |
| 14. Phattaya | Py | 33,030 |
| 15. Trad | Td | 16,337 |
| 16. Sri Racha | Sr | 4,491 |
| 17. Pong Nam Ron | Pon | 2,322 |
| 18. Nong Bon | Nb | 612 |

รวมเนื้อที่ 18 ชุดดิน 3,378,136 ไร่

เท่ากับ 15.65% ของเนื้อที่ภาคตะวันออก 21,582,802 ไร่

## ผลการศึกษา

**1. ความหนาแน่นแห้งสูงสุดของชุดดินต่าง ๆ**

จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อหา ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) ของชุดดินต่าง ๆ ในภาคตะวันออก ทั้ง18 ชุดดิน ที่ทำการบดอัดด้วยวิธีการทดสอบแบบมาตราฐาน( Standard Proctor Compaction Test) ที่ระดับความลึกของชั้นดิน คือ 0-50, 50-100, 100-180 ซม. แล้วนำมาหาค่าความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย สามารถแยกออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

1.1 ชุดดินที่เป็นพวกดินเหนียวปนกรวดลูกรัง (clayey skeletal soils) ได้แก่ชุดดินคลองชาก (Kc) มีความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 129.8 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต

1.2 ชุดดินที่เป็นพวกดินร่วนมีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวอยู่ระหว่าง 18-35% คือพวก fine -loamy ได้แก่ชุดดินมาบบอน(Mb) ชุดดินชลบุรี(Cb) ชุดดินศรีราชา(Sr) มีความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยระหว่าง 113.2-121.5 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต และพวก fine-silty ได้แก่ชุดดินโป่งน้ำร้อน (Pon) ความหนาแน่นแห้ง 110.1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต

1.3 ชุดดินที่เป็นพวกดินทราย (sandy) ได้แก่ ชุดดินสัตหีบ (Sh) ชุดดินพัทยา(Py) ชุดดินระยอง(Ry) และชุดดินบ้านบึง(Bbg) มีความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยระหว่าง 105.2-115.5 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต

1.4 ชุดดินที่เป็นพวกดินเหนียว(clayey)มีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวระหว่าง 35-60% แยกออกได้เป็น 2 พวกคือ

1.4.1 พวกที่มีขนาดอนุภาคทราย ซิลท์ และดินเหนียว ปริมาณใกล้เคียงกัน เช่น ชุดดินห้วยโป่ง(Hp) ชุดดินตราด(Td) และชุดดินแกลง(Kl) มีความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยระหว่าง 107.2-110 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต

1.4.2 พวกที่มีขนาดอนุภาคซิลท์และดินเหนียวสูง แต่ขนาดอนุภาคทรายต่ำ ได้แก่ ชุดดินท่าใหม่(Ti) ชุดดินผักกาด(Pat) ชุดดินโอลำเจียก(Oc) และชุดดินหนองบอน(Nb) มีค่าความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยระหว่าง 77.5-86.4 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต

สำหรับชุดดินมะขาม (Mak) ซึ่งเป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนต่างยุคกัน กล่าวคือ ชั้นดินบนเป็นพวกดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย ค่าความหนาแน่นแห้งประมาณ95-100 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ส่วนดินล่างเป็นพวกดินเหนียว ความหนาแน่นแห้ง 90-93 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต (ดูตารางที่ 3)

จากผลของการศึกษาพบว่าชุดดินที่มีความหนาแน่นหลังการบดอัดสูง คือชุดดินที่มีเนื้อดินเป็นพวกดินเหนียวปนกรวดลูกรัง และดินร่วนเหนียวปนทราย หรือเหนียวปนทราย ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างอนุภาคขนาดต่าง ๆของดินที่มีทั้งขนาดอนุภาคหยาบ (coarse particle) และอนุภาคละเอียด (fine particle) ซึ่งจะเป็นตัวยึดดิน( soil binder) ทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงในการบดอัด ตัวอย่างชุดดินคลองชาก (Kc) ซึ่งมีเนื้อ

ดินเป็นดินเหนียวปนกรวดลูกรัง มีความหนาแน่น 129.8 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต และชุดดินมาบบอน (Mb) ชลบุรี (Cb) ซึ่งมีเนื้อดินร่วนเหนียวปนทรายถึงเหนียวปนทราย มีความหนาแน่น 121.5 และ 117.2 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต ชุดดินที่มีความหนาแน่นรองลงมา คือชุดดินที่มีเนื้อดินพวกดินทราย มีความหนาแน่นระหว่าง 105-115 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต เช่นชุดดินบ้านบึง (Bbg) 105.2 พัทยา (Py) 107.2 ระยอง (Ry) 108.9 และ สัตหีบ (Sh) 115.5 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต ส่วนเนื้อดินที่บดอัดแล้วมีความหนาแน่นต่ำ คือดินเหนียวมีความหนาแน่นระหว่าง 77-108 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต เช่นชุดดินท่าใหม่ (Ti) 77.5 ผักกาด (Pat) 79.2 หนองบอน (Nb) 86.9 มะขาม (Mak) 95.7 บึงชะนัง (Bng) 107.2 ตราด (Td) 107.8 และ แกลง (Kl) 108.6 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต และยังพบว่านอกจากเนื้อดินจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติของการบดอัดแล้ว วัตถุต้นกำเนิดที่ต่างกันก็มีผลต่อความหนาแน่นแห้งของดินเช่นเดียวกัน ดินที่มีเศษหินแข็ง เช่น แกรนิต (granite) ควอร์ตไซต์ (Quartzite) หรือบะซอลต์ (Basalt) ปะปนจะมีความหนาแน่นแห้งสูงกว่าดินที่เกิดจากหินที่มีเนื้ออ่อน (soft rock) เช่น หินดินดาน (Shale) ฟิลไลต์ (Phyllite) หรือ หินชนวน (Slate) ตัวอย่างชุดดินมาบบอน (Mb) ที่เกิดจากหินแกรนิต หรือชุดดินโป่งน้ำร้อน (Pon) จากหิน basalt เมื่อบดอัดแล้วจะมีความหนาแน่นสูงกว่าชุดดินโอลำเจียก (Oc) ซึ่งเกิดจากหินดินดาน เป็นต้น แต่สำหรับหินบะซอลต์ ซึ่งแม้จะเป็นหินที่แข็งมากมีค่าการแตกหักของมวลวัสดุเมื่อถูกกระแทก (AIV : Aggregate Impact Value) และค่าการแตกหักเมื่อถูกแรงบดขยี้ (ACV : Aggregate Crushing Value) ต่ำ แต่จะมีค่าการดูดซึมน้ำ (WA : Water Absorbtinon) สูง (ธวัชชัย , 2531) เมื่อยังไม่สลายตัวเนื้อหินมีความแข็ง แต่เมื่อสลายตัวแล้วจะเป็นดินที่มีความหนาแน่นต่ำ เมื่อทำการบดอัดจะมีความหนาแน่นแห้งต่ำ เช่นชุดดินหนองบอน (Nb) และชุดดินท่าใหม่ (Ti)

**ตารางที่ 3** ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวของชุดดินต่าง ๆ ตามการจำแนกดินในระบบ USDA Unified และ AASHO

| ชุดดิน | ความลึก (ซม.) | Classification | | | $\gamma d_{max}$ | | $W_{opt}$ (%) | ρb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | USDA | Unified | AASHO | lbs/ft$^3$ | kg/m$^3$ | | gm/cm$^3$ |
| 1. Ban Bung (Bbg) | 0-50 | SL | SM | A-4 (2) | 106.7 | 1,707 | 11.6 | 1.6 |
| | 50-100 | LS | SM | A-4 (3) | 104.0 | 1,664 | 12.0 | 1.5 |
| | 100-180 | LS | SM | A-4 (2) | 105.0 | 1,680 | 12.1 | - |
| 2. Bung Chanang (Bng) | 0-18 | SiL | MH | A-7-5 | 85.6 | 1,370 | 26.5 | 1.2 |
| | 18-40 | gCL | GC | (20) | 104.8 | 1,677 | 17.6 | 1.5 |
| | 40-180 | vgC | GC | A-2-7 (1) | 110.2 | 1,763 | 14.2 | 1.6 |
| | | | | A-2-7 (2) | | | | |
| 3. Chon Buri (Cb) | 0-50 | SL | SM | | 113.8 | 1,821 | 10.4 | 1.7 |
| | 50-100 | SC | SC | A-4 (3) | 118.6 | 1,898 | 10.4 | 1.6 |
| | 100-180 | L | SC | A-2-6 (1) | 119.2 | 1,907 | 10.2 | 1.6 |
| | | SC | | A-2-6 (2) | | | | |
| 4. Huai Pong (Hp) | 0-17 | L | SC | | 104.0 | 1,664 | 16.0 | 1.5 |
| | 17-60 | | SC | A-2-6 (1) | 111.3 | 1,781 | 13.9 | 1.6 |
| | 60-100 | SC | SC | A-7-5 (2) | 113.7 | 1,819 | 13.2 | 1.6 |
| | 100-180 | L | SC | A-2-7 (2) | 108.2 | 1,731 | 16.4 | - |
| | | SC | | A-2-7 (3) | | | | |
| 5. Khlong Chak (Kc) | 0-50 | L | SC | | 120.5 | 1,928 | 13.7 | 1.5 |
| | 50-100 | SC | GC | A-2-4 (0) | 135.7 | 2,171 | 11.9 | 1.6 |
| | 100-180 | SC | GC | A-2-7 (0) | 132.0 | 2,112 | 12.16 | - |
| | | | | A-2-7 (0) | | | | |
| | 0-50 | sgC | MH | | 107.3 | 1,717 | | 1.6 |
| | 50-100 | L | CH | A-7-5 | 112.0 | 1,792 | 15.0 | 1.5 |
| | 100-180 | vgC | CH | (14) | 107.2 | 1,715 | 14.0 | - |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6. Klaeng (Kl) | | vgC<br><br>C<br>C<br>C | | A-7-6 (20)<br>A-7-6 (20) | | | 16.1 | |
| ชุดดิน | ความลึก (ซม.) | Classification | | | $\gamma d_{max}$ | | $W_{opt}$ (%) | ρb |
| | | USDA | Unified | AASHO | lbs/ft$^3$ | kg/m$^3$ | | gm/cm$^3$ |
| 7. Ma Kham (Mak) | 0-50 | SL | ML | A-4 (8) | 100.2 | 1,603 | 14.0 | 1.5 |
| | 50-100 | SC | CL | A-6 (10) | 95.5 | 1,528 | 19.5 | 1.4 |
| | 100-180 | L<br>C | CL | A-7-5 (10) | 93.0 | 1,488 | 23.7 | 1.4 |
| 8. Mab Bon (Mb) | 0-50 | | SM | | 119.0 | 1,904 | 11.3 | 1.7 |
| | 50-100 | SL | SC | A-2-4 (0) | 120.0 | 1,920 | 9.9 | - |
| | 100-150 | SC | SC | A-2-6 (2) | 123.0 | 1,968 | 8.7 | 1.6 |
| | 150-200 | L<br>SC | SC | A-2-6 (1)<br>A-2-7 (2) | 124.2 | 1,987 | 9.1 | - |
| 9. Nong Bon (Nb) | 0-20 | L | MH | | 84.3 | 1,349 | 26.0 | 1.2 |
| | 20-50 | SC | MH | A-7-5 | 83.9 | 1,342 | 32.1 | 1.2 |
| | 50-150 | | MH | (18) | 88.4 | 1,414 | 27.5 | - |
| 10. O Lum Chiak (Oc) | 0-25 | SiL<br>SiC | MH | A-7-5 (19) | 86.7 | 1,387 | 27.1 | 1.3 |
| | 25-80 | L | CH | A-7-5 | 84.9 | 1,358 | 29.0 | 1.3 |
| | 80-150 | SiC | CH | (17) | 86.5 | 1,384 | 26.3 | 1.4 |
| 11. Phak Kat (Pat) | 0-50 | C | CH | A-7-5 | 73.8 | 1,181 | 38.0 | 1.1 |
| | 50-100 | C | CH | (13) | 77.0 | 1,232 | 30.2 | 1.2 |
| | 100-180 | C | CH | A-7-6 (20) | 85.2 | 1,363 | 25.3 | - |
| 12. Pong | 0-50 | C | CL | A-7-6 | 103.5 | 1,656 | 21.5 | 1.4 |
| | 50-100 | C | GM | (16) | 115.1 | 1,842 | 16.3 | - |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nam Ron (Pon) | 100-150 | C | GC | A-7-5 (15) | 111.7 | 1,787 | 16.6 | - |
| | 0-50 | sgC | SP-SM | A-7-6 (20) | 107.5 | 1,720 | 13.4 | 1.57 |
| | 50-100 | L | SP | | 108.2 | 1,731 | 11.7 | 1.54 |
| | 100-180 | vgC | | | 106.3 | 1,701 | 16.7 | - |
| 13. Phattaya (Py) | | L | SP | A-7-6 (20) | | | 5 | |
| | | - | | | | | | |
| | | S | | A-7-6 (6) | | | | |
| | | S | | A-2-4 (0) | | | | |
| | | S | | A-2-6 (0) | | | | |
| | | | | A-3 (0) | | | | |
| | | | | A-3 (0) | | | | |
| | | | | A-3 (0) | | | | |

| 19Soil series | depth (cm) | classification | | | $\gamma d_{max}$ | | $W_{opt}$ (%) | ρb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | USDA | Unified | AASHO | lbs/ft$^3$ | kg/m$^3$ | | gm/cm$^3$ |
| 14. Rayong (Ry) | 0-50 | S | SP | A-3 (0) | 109.7 | 1,755 | 15.7 | 1.48 |
| | 50-100 | S | SP | A-3 (0) | 109.5 | 1,752 | 15.9 | 1.47 |
| | 100-180 | S | SP | A-3 (0) | 108.1 | 1,730 | 16.5 | - |
| 15. Sattahip (Sh) | 0-50 | LS | SM | A-2-4 (0) | 112.2 | 1,795 | 12.4 | 1.63 |
| | 50-100 | LS | SM | A-2-4 (0) | 115.3 | 1,845 | 12.0 | 1.60 |
| | 100-180 | LS | SM | A-2-4 (0) | 118.9 | 1,902 | 8.3 | - |
| 16. Si Racha (Sr) | 0-50 | SL | ML | A-4 (4) | 111.8 | 1,789 | 13.0 | 1.5 |
| | 50-100 | SCL | SC | A-6 (4) | 112.3 | 1,797 | 12.5 | 1.55 |
| | 100-150 | SC | SC | A-6 (3) | 115.4 | 1,846 | 12.9 | - |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17. Trad (Td) | 0-30 | L | CL | A-7-6 (14) | 93.3 | 1,493 | 24.5 | 1.2 |
| | 30-60 | | CH | | 98.7 | 1,579 | 21.7 | - |
| | 60-100 | CL | GC | A-7-6 (16) | 110.3 | 1,701 | 18.8 | 1.5 |
| | 100-180 | C | GC | | 115.5 | 1,848 | 16.1 | - |
| | | gC | | A-2-7 (6) | | | | |
| 18. Tha Mai (Ti) | 0-50 | vgC | MH | A-2-7 (4) | 77.0 | 1,232 | 38.8 | 1.1 |
| | 50-100 | | MH | | 77.4 | 1,238 | 37.3 | - |
| | 100-180 | SiC | MH | A-7-5 (13) | 77.9 | 1,246 | 38.9 | 1.1 |
| | | L | | | | | | |
| | | SiC | | A-7-5 (14) | | | | |
| | | SiC | | | | | | |
| | | | | A-7-5 (13) | | | | |

**หมายเหตุ :** - $\gamma d_{max}$ หมายถึง ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ( maximum dry density)

- $W_{opt}$ หมายถึง ความชื้นที่เหมาะสม (optimum moisture content)

- $\rho b$ หมายถึง ความหนาแน่นรวม (bulk density)

**2. ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว**

จากการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว (optimum moisture content) จะเป็นปฏิภาคกลับกับ ความหนาแน่นแห้งของดิน กล่าวคือ ชุดดินที่มีความหนาแน่นแห้งสูง ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวจะต่ำ ส่วนชุดดินที่มีความหนาแน่นแห้งต่ำปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะสูง (ดูตารางที่ 4) ตัวอย่างชุดดินมาบบอน (Mb) ชลบุรี (Cb) สัตหีบ (Sh) มีความหนาแน่นแห้งสูงคือ 121.5, 117.5, 115.5 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวจะต่ำ คือ 9.7, 10.3, 10.9% ตามลำดับ ส่วนชุดดินท่าใหม่ (Ti) ผักกาด (Pat) หนองบอน (Nb) โอลำเจียก (Oc) มีความหนาแน่นแห้งต่ำ คือ 77.5, 79.2, 86.9, 85.9 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต จะมีความชื้นที่เหมาะสมสูง คือ 38.4, 30.2, 28.2, 27.4% ตามลำดับ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวเหล่านี้จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับเนื้อดิน(soil texture) เนื้อดินที่มีปริมาณของอนุภาคละเอียดมาก โดยเฉพาะเคลย์ (clay) จะใช้น้ำมากกว่าเนื้อดิน ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยอนุภาคของซิลท์ (silt) และทราย (sand) ทั้งนี้เพราะระหว่างอนุภาคของ clay ประกอบไปด้วยช่องว่างเล็กๆ มากมาย ซึ่งน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านั้นได้มากกว่า

ถึงกระนั้นชุดดินที่มีขนาดอนุภาค (particle size class) พวกเดียวกันอาจมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดต่างกันได้ โดยเฉพาะพวกดินเหนียว (clayey)ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะต่างกันมาก อยู่ระหว่าง 38.4-15.1% จากการศึกษาพบว่าปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ปริมาณความชื้นต่างกันคือ ความหนาแน่นรวม (bulk density) ของดิน (ดูตารางที่ 3) ดินเหนียวที่มีความหนาแน่นรวมต่ำ ความชื้นที่เหมาะสมจะสูง เช่นชุดดินท่าใหม่ (Ti) ผักกาด (Pat) หนองบอน (Nb) ความหนาแน่นรวม 1.1, 1.2, 1.2 กรัม/ลูกบาศก์เซ็นติเมตร ความชื้นที่เหมาะสม 38.4, 30.2 และ 28.2 % ตามลำดับ ส่วนชุดดินแกลง (Kl) ห้วยโป่ง (Hp) ซึ่งเป็นพวกดินเหนียวเหมือนกันแต่มีความหนาแน่นรวมสูงกว่า คือ 1.5-1.6 กรัม/ลูกบาศก์เซ็นติเมตร ความชื้นที่เหมาะสมประมาณ 15-16 % ตามลำดับ ส่วนชุดดินที่เนื้อดินเป็นพวกดินทราย (sandy) จะมีความชื้นที่เหมาะสมระหว่าง 16.1-10.5% คือชุดดินระยอง (Ry) พัทยา (Py) บ้านบึง (Bbg) สัตหีบ (Sh) มีความชื้นที่เหมาะสม 16.1, 14.4, 11.9 และ 10.5% ตามลำดับ และพวก ดินร่วนละเอียด(fine - loamy) ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม 9-12.8% คือชุดดินมาบบอน (Mb) ชลบุรี (Cb) ศรีราชา (Sr) ความชื้นที่เหมาะสม 9.7, 10.3 และ 12.8% ตามลำดับ

ในกรณีชุดดินที่เป็นดินทราย (Quartzipsamments) ซึ่งเป็นดินประเภทไม่มีความเชื่อมแน่น (cohesionless soils) จากการหาความชื้นที่เหมาะสมโดยวิธีนี้อยู่ระหว่าง 10.5-16.1% ซึ่งถ้าพิจารณาตามเนื้อดิน ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมน่าจะต่ำกว่านี้

เนื่องจากดินมีอนุภาคของ clay น้อยมาก หรือไม่มีเลย จากการทดลองสังเกตุได้ว่า ปริมาณน้ำที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นขณะคลุกเคล้าดิน เพื่อให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดนั้น อนุภาคของดินไม่สามารถดูดน้ำไว้ได้หมด
ปริมาณน้ำจึงอาจคลาดเคลื่อนได้ นอกจากจะต้องทำด้วยความระมัดระวังและอาศัยความชำนาญ ถึงกระนั้นงานวิเคราะห์ดินหลายแห่งทั้งภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และของกรมทางหลวง ยังใช้วิธีนี้เช่นเดียวกัน เนื่องจากไม่ยุ่งยาก เหมือนการหาโดยวิธีประเมินออกมาเป็นค่า Relative density ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของ Moisture - density relation curve โดยอาศัย Vibrating hammer หรือ vibrating plate โดยการเขย่าให้ทรายจัดตัวกันแน่นที่สุด และอีกประการหนึ่งที่ยังใช้วิธีนี้กันอยู่เนื่องจากในการบดอัดดินนั้นมักจะให้ความสำคัญกับค่าของความหนาแน่นมากกว่าค่าปริมาณความชื้นที่ได้

**ตารางที่ 4** ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมโดยเฉลี่ยของชุดดินต่าง ๆในภาคตะวันออก

| Soil series | Family | $\gamma d_{max}$ | | $W_{opt}$ (%) |
|---|---|---|---|---|
| | | lbs/ft$^3$ | kg/m$^3$ | |
| 1. Khlong Chak : Kc | c-sk,kao, Typic Paleudults | 129.8<br>121.5 | 2,077 | 12.5<br>9.7 |
| 2. Mab Bon : Mb | fl, mixed, Oxic Paleustults | 117.5 | 1,884 | 10.3 |
| 3. Chon Buri : Cb | fl, mixed, Typic Tropaqualfs | 115.5<br>113.2 | 1,840<br>1,880 | 10.5<br>12.8 |
| 4. Sattahip : Sh | Typic Quartzipsamments | 110.1 | 1,760 | 18.1 |
| 5. Si Racha : Sr | fl, mixed, Oxic Rhodic Paleustalfs | 110.0 | 1,848 | 15.1 |
| 6. Pong Nam Ron : Pon | fsi, mixed, Lithic Eutropepts | 108.9<br>108.6 | 1,741<br>1,810 | 16.1<br>15.2 |
| 7. Huai Pong : Hp | c, kao, Typic Paleudults | 107.2 | 1,760 | 14.4 |
| 8. Rayong : Ry | Typic Quartzipsamments | 107.2<br>107.8 | 1,761<br>1,720 | 15.8<br>19.1 |
| 9. Klaeng : Kl | c, kao, Typic Plinthaquults | 105.2 | 1,680 | 11.9 |
| 10. Trad : Td | c, kao, Typic Paleudults | 95.7 | 1,742 | 19.8 |
| 11. Phattaya : Py | | | | |
| 12. Bung Chanang : Bng | | 86.9 | 1,732 | 28.2 |
| 13. Ban Bung : | | 85.9 | 1,758 | 27.4 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bbg<br><br>14. Ma Kham : Mak<br><br>15. Nong Bon : Nb<br>16. O Lum Chiak : Oc<br>17. Phak Kat : Pat<br>18. Tha Mai : Ti | Typic Quartzipsamments<br>f, mixed, Fluventic Ustropepts<br>Vadic (Aquic) Quartzipsamments (Eutropepts)<br>col/c, siliceous, nonacid, Aeric Tropaquepts<br>c, kao, Typic Haplorthox<br>f, kao, Typic Tropudalfs<br>f, mixed, Aeric Tropaqualfs<br>c, kao, Typic Haplorthox | 79.2<br>77.5 | 1,715<br>1,715<br>1,725<br>1,682<br>1,531<br>1,390<br>1,374<br>1,267<br>1,240 | 30.2<br>38.4 |

**3. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม**

**สำหรับการอัดตัวกับประเภทเนื้อดินตามการจำแนกดินในระบบ USDA , Unified และ AASHO**

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินกับประเภทเนื้อดิน พบว่าเนื้อดินเมื่อบดอัดแล้วมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด คือ เนื้อดินที่เป็นดินเหนียวปนกรวดลูกรังหรือเศษหินและดินร่วนเหนียวปนทรายถึงเหนียวปนทราย รองลงมาคือดินร่วนปนทราย ปนทรายร่วน ถึงดินทราย ส่วนเนื้อดินที่มีความหนาแน่นแห้งต่ำคือดินเหนียวปนทรายแป้ง ร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ร่วนปนทรายแป้ง ถึงดินเหนียวและถ้าแยกตามระบบการจำแนกดินแล้วมีรายละเอียดดังนี้

**ระบบ USDA** จากการศึกษาพบว่าดินเหนียวปนลูกรังมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดเฉลี่ย 129.4 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต รองลงมา คือดินร่วนเหนียวปนทราย (SCL) ดินเหนียวปนทราย (SC) ร่วนปนทราย (SL) ทรายปนร่วน (LS) และดินทราย (S) เฉลี่ย 115.5, 115.4, 112.8,110.1 และ 108.2 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ตามลำดับ ส่วนดินร่วนปนเหนียว (CL) ดินเหนียว ( C )ร่วนปนทรายแป้ง (SiL) ร่วนเหนียวปนทรายแป้ง(SiCL) และดินเหนียวปนทรายแป้ง (SiC) เฉลี่ย 93.3, 92.0, 84.9, 82.3 และ81.2 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ตามลำดับ (ดูตารางที่ 5)

**ระบบ Unified** ดินในกลุ่ม GC มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดเฉลี่ย 118.6 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต รองลงมาคือ SC SM SP เฉลี่ย 116.5,111.9,108.4 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ตามลำดับ และ ML CL CH MH เฉลี่ย 105.2, 96.3, 93.1 และ 85.4 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ตามลำดับ

**ระบบ AASHO** พบว่าดินในกลุ่ม A-2-7 มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดเฉลี่ย 120.4 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต รองลงมาคือ A-2-4, A-2-6, A-4, A-3 เฉลี่ย 116.8 , 114.7, 109.9 และ 108.2 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ตามลำดับ และดินกลุ่ม A-6, A-7-6, A-7-5 มีความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 107.7, 92.2 และ 88.0 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ตามลำดับ

ดูการจำแนกประเภทของดินตามระบบ Unified และ AASHO ได้จากภาคผนวก

**ตารางที่ 5** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินกับประเภทเนื้อดิน ในระบบ USDA

| ประเภทเนื้อดิน | ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ฟุต$^3$) | เฉลี่ย (ปอนด์/ฟุต$^3$) |
|---|---|---|
| Sandy clay loam : SCL | 105.0-123.0 | 115.5 |
| Sandy clay : SC | 108.2-124.2 | 115.4 |
| Sandy loam : SL | 106.7-119.0 | 112.8 |
| Loamy sand : LS | 104.0-118.9 | 110.1 |
| Sand : S | 106.3-109.7 | 108.2 |
| Clay loam : CL | 93.3 | - |
| Clay : C | 73.8-112.0 | 92.0 |
| Silt loam : SiL | 84.3-85.6 | 84.9 |
| Silty clay loam : SiCL | 77.0-95.5 | 82.3 |
| Silty clay : SiC | 77.4-88.4 | 81.2 |

หมายเหตุ : - ในกรณีที่ชั้นดินมีก้อนกรวดลูกรัง หรือเศษหิน ความหนาแน่นแห้งจะสูงขึ้น
- ความหนาแน่นแห้งที่สูงขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของกรวดลูกรังเศษหินที่ปะปนอยู่ ถ้ามีปริมาณและความแข็งมาก ความหนาแน่นจะสูง
- ดินเหนียวปนลูกรัง ความหนาแน่นแห้งประมาณ 120-135 ปอนด์/ฟุต$^3$

**ตารางที่ 6** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินกับประเภทเนื้อดิน ในระบบ Unified

| ประเภทเนื้อดิน | ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ฟุต$^3$) | เฉลี่ย (ปอนด์/ฟุต$^3$) |
|---|---|---|
| GC | 110.3-135.7 | 118.6 |
| SC | 108.2-124.2 | 116.5 |
| SM | 104.0-119.2 | 111.9 |
| SP | 106.3-109.7 | 108.4 |
| ML | 100.2-111.8 | 105.2 |
| CL | 93.0-103.5 | 96.3 |
| CH | 73.8-112.0 | 93.1 |
| MH | 77.0-107.3 | 85.4 |

**ตารางที่ 7** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินกับประเภทเนื้อดินในระบบ AASHO

| ประเภทเนื้อดิน | ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ฟุต$^3$) | เฉลี่ย (ปอนด์/ฟุต$^3$) |
|---|---|---|
| A-2-7 | 104.8-135.7 | 120.4 |
| A-2-4 | 112.2-120.5 | 116.8 |
| A-2-6 | 104.0-123.0 | 114.7 |
| A-4 | 100.2-118.6 | 109.9 |
| A-3 | 106.3-109.5 | 108.2 |
| A-6 | 95.5-115.4 | 107.7 |
| A-7-6 | 73.8-112.0 | 92.2 |
| A-7-5 | 77.0-107.3 | 88.0 |

3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวกับประเภทเนื้อดินตามการจำแนกดินในระบบ USDA , Unified และ AASHO

พบว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำกรับการอัดตัวของดินร่วนปนทรายและทรายปนร่วน มีค่าต่ำสุด รองลงมาคือ ดินร่วนเหนียวปนทรายและเหนียวปนทราย ส่วนร่วนปนเหนียว ดินเหนียวและเหนียวปนทรายแป้งมีค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวสูง และเมื่อแยกตามการจำแนกดินแล้วมีรายละเอียดดังนี้

**ระบบ USDA** จากการศึกษาพบว่าในการบดอัดดินร่วนปนทราย (SL) และทรายปนร่วน (LS) ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะต่ำสุดและใกล้เคียงกัน คือ เฉลี่ย 11.6 และ 11.7 % ตามลำดับ ส่วนดินร่วนเหนียวปนทราย (SCL) และเหนียวปนทราย (SC) ไม่แตกต่างกันคือ 12.3 และ 12.9% ตามลำดับ ส่วนเนื้อดินที่มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสูง คือ ดิน ดินร่วนปนเหนียว (CL) ดินเหนียว ( C ) ร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (SiCL) และเหนียวปนทรายแป้ง (SiC) เฉลี่ย 22.0, 22.7, 29.1 และ 34.5 % ตามลำดับ (ดูตารางที่ 8)

**ระบบ Unified** ดินในกลุ่ม SM มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวต่ำ คือเฉลี่ย 11.4%, SC 12.6%, GC 15.3%, ML 16.17%, CL 22.5%, MH 27.1% และ CH 28.4% (ดูตารางที่ 9)

**ระบบ AASHO** พบว่าดินในกลุ่ม A-4 มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวต่ำ คือ เฉลี่ย 11.7% ส่วนกลุ่ม A-2-4 และ A-2-6 ใกล้เคียงกันเฉลี่ย 12-13%, A-2-7 13.5%, A-3 15%, A-6 15%, A-7-6 25.5% และ A-7-5 27.1%

**ตารางที่ 8** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวกับ ประเภทเนื้อดินในระบบ USDA

| ประเภทเนื้อดิน | ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว % | เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|
| Sandy loam : SL | 10.2-14.0<br>11.3-12.4 | 11.6<br>11.7 |
| Loamy sand : LS | 8.7-16.0<br>9.1-16.4 | 12.3<br>12.9 |
| Sandy clay loam : SCL | 11.7-16.5<br>21.5-24.5 | 15.0<br>22.0 |
| Sandy clay : SC | 14.0-30.0<br>19.5-38.8 | 22.7<br>29.1 |
| Sand : S | 27.5-38.9 | 34.5 |
| Clay loam : CL | | |
| Clay : C | | |
| Silty clay loam : SiCL | | |
| Silty clay : SiC | | |

หมายเหตุ ดินเหนียวปนกรวดลูกรัง (gravelly clay ) ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมประมาณ

12-14%

**ตารางที่ 9** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวกับ ประเภทเนื้อดินในระบบ Unfied

| ประเภทเนื้อดิน | ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว (%) | เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| SM | 10.4-12.4 | 11.4 |
| SC | 9.1-16.4 | 12.6 |
| SP | 11.7-16.7 | 15.3 |
| GC | 11.9-17.6 | 15.3 |
| ML | 13.0-21.5 | 16.17 |
| CL | 19.5-24.5 | 22.5 |
| MH | 13.0-38.9 | 27.1 |
| CH | 21.7-38.0 | 28.4 |

**ตารางที่ 10** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว
กับ ประเภทเนื้อดินในระบบ AASHO

| ประเภทเนื้อดิน | ความชื้นที่เหมาะสม สำหรับการอัดตัว (%) | เฉลี่ย (%) |
|---|---|---|
| A-4 | 10.2-14.0 | 11.7 |
| A-2-4 | 11.3-16.3 | 12.8 |
| A-2-6 | 9.9-16.0 | 13.0 |
| A-2-7 | 9.1-17.6 | 13.5 |
| A-3 | 11.7-16.7 | 15.0 |
| A-6 | 12.5-19.5 | 15.0 |
| A-7-6 | 21.5-30.2 | 25.5 |
| A-7-5 | 13.0-38.9 | 27.1 |

**สรุป**

จากการศึกษาหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว (optimum moisture content) โดยวิธี Standard Proctor Test ของชุดดินต่าง ๆ 18 ชุดดิน ในภาคตะวันออก เพื่อหามาตราฐานในกรณีที่ต้องมีการบดอัดดินเหล่านี้ เพื่อทราบว่าควรจะบดอัดดินให้มีความหนาแน่นเท่าใด จึงจะได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยมีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

1. ความหนาแน่นแห้งสูงสุดของชุดดินทั้ง 18 ชุดดิน มีค่าระหว่าง 77.5-129.8 ปอนด์/ฟุต$^3$ หรือ 1,240-2,077 กิโลกรัม/เมตร$^3$ ชุดดินที่มีความหนาแน่นหลังการบดอัดสูง จะเป็นดินที่เกิดจากการรวมกันของอนุภาคดินที่มีขนาดต่าง ๆกัน หรือเป็นพวกดินที่มีขนาดคละกันดี (Well graded soil) มีตั้งแต่อนุภาคละเอียด (fine particle) จนถึงพวกเม็ดหยาบ (coarse particle) เช่น ชุดดินคลองชาก (Kc) ซึ่งเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนกรวดลูกรัง (very gravelly clay) จะมีความหนาแน่นสูง คือ 129.8 ปอนด์/ฟุต$^3$ หรือ 2,077 กิโลกรัม/เมตร$^3$ หรือชุดดินมาบบอน (Mb) ซึ่งเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (SCL) ถึงเหนียวปนทรายหยาบ (coSC) มีความหนาแน่น 121.5 ปอนด์/ฟุต$^3$ หรือ 1,944 กิโลกรัม/เมตร$^3$ เป็นต้น ส่วนชุดดินที่มีเนื้อดินเป็นพวกดินที่มีขนาดคละกันไม่ดี (Poorly-graded soil) มีอนุภาค ขนาดใดขนาดหนึ่งเป็นส่วนใหญ่ เช่น



ดินเหนียว (clay) หรือดินทราย(sand) ความหนาแน่นจะต่ำกว่า เช่น ชุดดินผักกาด (Pat) ซึ่งเป็นดินเหนียวมีความหนาแน่น 79.2 ปอนด์/ฟุต$^3$ หรือ 1,267 กิโลกรัม/เมตร$^3$ หรือชุดดินพัทยา (Py) ซึ่งเป็นดินทราย จะมีความหนาแน่น 107.2 ปอนด์/ฟุต$^3$ หรือ 1,715 กิโลกรัม/เมตร$^3$

เป็นต้น โดยดินทรายซึ่งขนาดอนุภาคใหญ่กว่าจะมีความหนาแน่นสูงกว่าดินเหนียว (ดูตารางที่ 4)

2. ปริมาณและชนิดของกรวดลูกรังหรือเศษหินที่ปะปนอยู่ จะมีผลต่อความหนาแน่นแห้งของดิน ถ้ามีปริมาณมาก-ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นถ้าเป็นกรวดลูกรังหรือเศษหินที่มีความแข็ง (hard rock) เช่น แกรนิต (Granite) ควอร์ตไซต์ (Quartzite) หรือ บะซอลต์ (Basalt) จะมีความหนาแน่นสูงกว่าดินที่เกิดจากหินที่มีเนื้ออ่อน (soft rock) เช่น หินดินดาน (Shale) ฟิลไลต์ (Phyllite) หรือ หินชนวน (Slate) ด้วยเช่นกัน ตัวอย่างชุดดินมาบบอน (Mb) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิต และชุดดินโป่งน้ำร้อน (Pon) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของหินบะซอลต์ มีความหนาแน่น 121.5 และ 110.1 ปอนด์/ฟุต$^3$ หรือ 1,944 และ 1,762 กิโลกรัม ตามลำดับ มีความหนาแน่นสูงกว่าชุดดิน

โอลำเจียก (Oc) ซึ่งเกิดจากหินดินดานซึ่งมีความหนาแน่น 85.9 ปอนด์/ฟุต$^3$ เป็นต้น แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการสลายตัว (degree of weathering) ด้วย

3. ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัว ส่วนใหญ่จะเป็นปฏิภาคกลับกับความหนาแน่นแห้งของดิน กล่าวคือ ชุดดินที่มีความหนาแน่นแห้งสูง ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการอัดตัวจะต่ำ ส่วนชุดดินที่มีความหนาแน่นแห้งต่ำ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะสูง เช่น
ชุดดินมาบบอน (Mb) ชลบุรี (Cb) สัตหีบ (Sh) มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดคือ 121.5, 117.5,
115.5 ปอนด์/ฟุต$^3$ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะต่ำคือ 9.7, 10.3, 10.9 % ตามลำดับ ส่วนชุดดินท่าใหม่ (Ti) ผักกาด (Pat) หนองบอน (Nb) โอลำเจียก (Oc) มีความหนาแน่นแห้งต่ำ คือ
77.5, 79.2, 86.9, 85.9 ปอนด์/ฟุต$^3$ จะมีความชื้นที่เหมาะสมสูงคือ 38.4, 30.2, 28.2, และ
27.4 % ตามลำดับ

4. ในกรณีชุดดินที่เป็นดินทราย (Ouartzipsamments) ซึ่งเป็นดินประเภทไม่มีความเชื่อมแน่น (cohesionless soil) จากการหาความชื้นที่เหมาะสมโดยวิธีนี้อยู่ระหว่าง 10.5-16.1%
ซึ่งอาจมีความแปรปรวนบ้าง เนื่องจากบางครั้งปริมาณน้ำที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดนั้น อนุภาคของดินไม่สามารถดูดน้ำไว้ได้หมด ปริมาณน้ำจึงอาจมากกว่าความเป็นจริงบ้าง ซึ่งวิธีที่ถูกจะต้องหาโดยวิธีประเมินออกมาเป็นค่า Relative density เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของ Moistuse-density relation curve โดยอาศัย Vibrating hammer หรือ Vibrating plate โดยการเขย่าให้ทรายจัดตัวกันแน่น ซึ่งเป็นวิธีการที่ยุ่งยากมากกว่า แต่งานวิเคราะห์ดินหลายแห่งทั้งภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกรมทางหลวงยังคงโดยวิธี Procter method แต่ต้องทำด้วยความระมัดระวัง

5. จากมาตรฐานของงานทางวัสดุที่จะนำมาใช้ในงานถมคันทาง (Embankment) เมื่อบดอัดโดยวิธี Standard Procter Compaction Test แล้วควรมีความหนาแน่นสูงกว่า 90
ปอนด์/ฟุต$^3$ หรือ 1,440 กิโลกรัม/เมตร$^3$ จากการศึกษาพบว่าชุดดินที่มีความหนาแน่นสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้มี 14 ชุดดิน คือ ชุดดินคลองชาก (Kc) มาบบอน (Mb) ชลบุรี (Cb) สัตหีบ (Sh) ศรีราชา (Sr) โป่งน้ำร้อน (Pon) ห้วยโป่ง (Hp) ระยอง (Ry) แกลง (Kl) พัทยา (Py) บึงชะนัง (Bng) ตราด (Td) บ้านบึง (Bbg) และ มะขาม (Mak) ส่วนชุดดินที่มี

ความหนาแน่นต่ำกว่า มี 4 ชุดดิน คือ ชุดดินหนองบอน (Nb) โอลำเจียก (Oc) ผักกาด (Pat) และ ท่าใหม่ (Ti)

6. ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของชุดดินต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษาถือได้ว่าเป็นค่ามาตรฐาน แต่การบดอัดตามสภาพจริงไม่สามารถทำให้ดินแน่นเท่ากันได้แต่จะบอกเป็นเปอร์เซนต์ของการบดอัด (degree of compaction)ซึ่งงานทางโดยทั่วไป ค่าความหนาแน่นของเม็ดดินที่ต้องการในสนามประมาณ 95-100% ซึ่งสามารถหาได้ คือ

$$\text{เปอร์เซนต์ของการบดอัด} = \frac{\gamma d \text{ (ตามสภาพสนาม)} \times 100}{\gamma d \text{ (ตามมาตรฐาน)}}$$

---



**เอกสารอ้างอิง**

กัญญา ทองฉิม 2527 ปฐพีกลศาสตร์1 วิทยาเขตอุเทนถวาย
หน้า 6-1 ถึง 6-25

จิรพัฒน์ โชติกไกร 2527 วิศวกรรมการทาง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 288 หน้า

ธวัชชัย พิมสาธ 2531 กลสมบัติของหินบางชนิดในประเทศไทย รายงานฉบับที่ วว.113 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม 244 หน้า

ปุญญะ เผ่าศรีทองคำ วุฒิชาติ สิริช่วยชู สุจิตรา สุวรรณสถิตกุล สุวณี ศรีธวัช ณ อยุธยา 2526 การจำแนกและกำหนดลักษณะดิน ในภาคใต้ และภาคตะวันออกของประเทศไทย เอกสารวิชาการฉบับที่ 36 กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน 25 หน้า

วัฒนา ธรรมมงคล วินิต ช่อวิเชียร 2532 ปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 328 หน้า

วรากร ไม้เรียง จิรพัฒน์ โชติกไกร ประทีป ดวงเดือน 2525 ปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 180 หน้า

ศิริชัย กิตยารักษ์ ชิต ทิพย์สุวรรณ ปราโมทย์ อินทอง สุนันท์ คุณาภรณ์ 2522 รายงานการสำรวจดินจังหวัดจันทบุรี กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน 229 หน้า

สุเมธ เชื้อโชติ สมศักดิ์ สังขกุล อดุล โชติมน 2528 รายงานการสำรวจดินจังหวัดระยอง กองสำรวจดิน กรมพัฒาที่ดิน 130 หน้า

สุวณี ศรีธวัช ณ อยุธยา 2532 การจำแนกประเภทของดินทางด้านวิศวกรรม เอกสารวิชาการฉบับที่110 กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน 41 หน้า

Bowles, Joseph E 1978, Engineering properties of soil and their measurment, student Edition ISBN 0-07-006752-X

Jumikis, A.R. (1969) theoritical soil Mechanics, Ven Nostrand Reinhold Company

# ภาคผนวก

**การจำแนกประเภทของดินทางด้านวิศวกรรม** ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มี 2 ระบบ คือ

**1. การจำแนกประเภทของดินตามระบบ Unified** หลักใหญ่ ๆ ของการจัดแบ่งดินระบบนี้ คือ ดินเม็ดหยาบจะจัดแบ่งโดยอาศัยการกระจายของเม็ดดิน (Grain size distribution) ส่วนดินเม็ดละเอียดจะใช้คุณสมบัติทางด้านพลาสติกซิตี้ ดังนี้การจัดแบ่งดินของระบบนี้จะใช้เพียง sieve analysis และ Atterberg limits เท่านั้นก็เพียงพอในการจัดการแบ่งดิน

ระบบ Unified นี้จะใช้สัญญลักษณ์เป็นอักษรภาษาอังกฤษแทนชื่อกรุ๊ฟของดินแต่ละกรุ๊ฟจะมีอักษรอย่างน้อย 2 ตัว ตัวหน้าเป็นกรุ๊ฟหลัก และตัวที่สองจะเป็นกรุ๊ฟย่อยลงไป ตัวอักษรแต่ละตัวจะมีความหมายในตัวของมันเองดังนี้

ดินพวกเม็ดหยาบแบ่งได้เป็น 2 กรุ๊ฟใหญ่ คือ

G หมายถึงพวกกรวด (ย่อมาจาก Gravel)

S หมายถึงพวกทราย (ย่อมาจาก Sand)

นอกจากนี้ยังแบ่งเป็นกรุ๊ฟย่อย (อักษรตัวที่ 2) ได้อีก 4 กรุ๊ฟย่อย คือ

W หมายถึงดินเม็ดคละ (ย่อมาจาก well graded)

P หมายถึงขนาดไม่คละ (ย่อมาจาก uniform) (ย่อมาจาก poorly graded)

M หมายถึงทรายป่น (ย่อมาจาก Mo หรือ Mjala = silt)

C หมายถึงดินเหนียว (ย่อมาจาก Clay)

สามารถเขียนชื่อแต่ละกรุ๊ฟได้ดังนี้ คือ GW GP GM GC SW SP SM และ SC

ดินพวกเม็ดละเอียด แบ่งเป็น 4 กรุ๊ฟใหญ่ คือ

M หมายถึงทรายป่น (Silt)

C หมายถึงดินเหนียว (Clay)

O หมายถึงพวกสารอินทรีย์ (Organic)

$P_t$ หมายถึงพวก Peat

นอกจากนี้ยังแบ่งย่อยได้อีก คือ

H หมายถึง High liquid limit (L.L. > 50%)

L หมายถึง Low liquid limit (L.L. < 50%)

ตัวอย่างชื่อของดินเม็ดละเอียด ได้แก่ MH ML CH CL OH OL และ $P_t$



**2. การจำแนกประเภทของดินตาม ระบบ AASHO**

ระบบนี้แบ่งดินออกเป็น 8 กรุ๊ฟใหญ่ ๆ โดยใช้สัญลักษณ์ A-1 ถึง A-8 และยังแยกย่อยออกไปอี นอกจากนี้ยังมีกรุ๊ฟอินเด็กซ์กำกับไว้ที่ดินแต่ละกรุ๊ฟด้วย โดยกรุ๊ฟอินเด็กซ์นี้จะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มบอกถึงลักษณะของดินดีหรือไม่ เช่น ถ้าค่ากรุ๊ฟอินเด็กซ์ต่ำ ๆ ดินนั้นก็จะดี แต่ถ้าค่ากรุ๊ฟอินเด็กซ์สูงดินนั้นก็จะไม่ค่อยดี หรือไม่เหมาะสมในงานทางวิศวกรรม เป็นต้น

ดินพวกเม็ดหยาบจะถูกแบ่งเป็น A-1 ถึง A-3 A-1 เป็นดินพวก Well graded A-3 เป็นพวก Pooly graded sand ส่วน A-2 เป็นพวกดินเม็ดหยาบก็จริง แต่มีพวกเม็ดละเอียดของพวกทรายปนและดินเหนียวปะปน จึงจัดได้เป็นกรุ๊ฟย่อยได้อีก คือ A-2-4, A-2-5, A-2-6 และ
ฤ-2-7

ดินพวกเม็ดละเอียดสามารถแบ่งได้เป็น A-4 ถึง A-7 ดินพวกนี้จะเป็นพวกทรายปนและดินเหนียว ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางด้านพลาสติกซิตี้ สำหรับกรุ๊ฟ A-7 ยังแบ่งย่อยออกเป็น A-7-5 และ A-7-6 โดยอาศัยค่าพลาสติกซิตี้อินเด็กซ์น้อยกว่าหรือมากกว่า $W_L$ - 30 ตามลำดับ อีกกรุ๊ฟหนึ่งคือ A-8 ซึ่งเป็นดินที่มีพวกอินทรีย์สารปะปนอยู่

สำหรับค่ากรุ๊ฟอินเด็กซ์ มักจะใช้เขียนไว้ในวงเล็บท้ายชื่อกรุ๊ฟ เช่น A-4 (5) หรือ A-7-5 (17) เป็นต้น ตัวเลข 5 และ 17 คือค่ากรุ๊ฟอินเด็กซ์ กรุ๊ฟอินเด็กซ์นี้จะใช้กำหนดดินสำหรับใช้ในงานพื้นทางในชั้น subgrades ต่าง ๆ ค่ากรุ๊ฟอินเด็กซ์อาจหาได้จากการคำนวณ โดยใช้สูตร

$$Gl = (F-35)\,[0.2+0.005\,(W_L-40)] + 0.01\,(F-15)(I_P-10)$$

เมื่อ

Gl = group index (จำนวนเต็มบวก ค่าลบใช้ = 0)

F = % passing No.200 sieve (%)

$W_L$ = liquid limit (%)

$I_P$ = plasticity index