หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 2

บททบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและภูมิหลังของทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

2.1 บททบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บททบทวนงานวิจัยเป็นการค้นคว้าเรื่องการหาความแน่นของดินในสนาม (Field Density - Test) กับการหาเปอร์เซนต์การบดอัดอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีพอเป็นสังเขปดังต่อไปนี้

2.1.1 การหาความแน่นของดินในสนาม

Core-Cutter Method หรือ Drive Cylinder Method[8] เป็นการหา wet - density ของดิน โดยใช้เหล็กรูปทรงกระบอกกดจมลงในดินจนกระทั่งมันจมลงไปในระดับที่ต้องการ นำดินที่อยู่ในเหล็กรูปทรงกระบอกไปชั่ง เมื่อรู้น้ำหนักและปริมาตรของดินก็จะหา wet density ของดินได้ สำหรับเหล็กรูปทรงกระบอกนั้น จากการทดลองความหนาของขอบจะมีผลต่อค่า wet density ของดินที่เจาะกล่าวคือ ถ้าความหนาของขอบมากจะทำให้ค่า wet density น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ส่วนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเจาะรูปทรงกระบอกนั้นไม่มีผลต่อค่า wet density ของดิน วิธีการนี้สะดวกและรวดเร็ว แต่ที่ขอบของเหล็กรูปทรงกระบอกมักจะเสียง่าย ต้องคอยลับให้คมอยู่เสมอจึงเหมาะสำหรับดินอ่อนๆ เท่านั้น

Sand-Replacement Method[8] เป็นการหา wet density ของดิน โดยการชั่งน้ำหนักของดินที่เจาะออกมา และหาปริมาตรของดินนั้นโดยใช้ทรายแทนที่ ฉนั้นทรายที่นำมาใช้แทนที่นั้นต้องมีขนาดเกือบเท่ากัน เพราะจะต้องใช้ความแน่นของมันเป็นตัวเปลี่ยนค่าน้ำหนักของมันให้เป็นปริมาตร ซึ่งปริมาตรของทรายนี้จะเท่ากับปริมาตรของหลุมที่มันเข้าไปแทนที่ ค่าความแน่นของทรายที่เรานำมาใช้จะต้องมีค่าเท่ากับขณะที่ใช้มันไปแทนที่หลุมที่เราเจาะในสนาม การสั่นสะเทือนขณะทำการทดลองจะทำให้สภาพต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป ผลการทดลองจะคลาดเคลื่อนได้ วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ค่อนข้างแน่นอน ใช้ได้กับดินทุกชนิด แต่ค่อนข้างช้ากว่าวิธีการอื่นๆ เล็กน้อย

Rubber-Balloon Method[8] เป็นการหา wet density ของดิน ซึ่งหาน้ำหนักของดิน โดยการชั่งและหาปริมาตรของดินโดยใช้ถุงอากาศหรือถุงใส่น้ำ เข้าไปแทนที่ภายในหลุมที่เจาะ

สำหรับตัวถุงเป็นยางที่ยืดได้ เมื่อเราเพิ่มความดันเข้าไปจะทำให้ถุงนั้นขยายออกแนบเข้ากับหลุมที่เจาะได้สนิท วิธีการนี้สะดวกรวดเร็วแต่ผลที่ได้ออกมาไม่ค่อยถูกต้องนัก เพราะเราควบคุมความดันของอากาศที่จะทำให้ถุงยางแนบเข้ากับหลุมที่เจาะได้ยาก ถ้าจะให้ความผิดพลาดน้อยลง เครื่องมือและหลุมที่เจาะจะต้องมีขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้การทำงานไม่สะดวกต้องเสียเวลาเจาะดินมากขึ้น

Oil Displacement Method[8] เป็นการหา wet density ของดินโดยการชั่งหาน้ำหนักของดินที่เจาะออกมา และหาปริมาตรของดินโดยการใช้น้ำมันแทนที่ น้ำมันที่นำมาใช้ต้องข้นยากแก่การซึม วิธีการนี้ใช้ได้รวดเร็วแต่ไม่ค่อยถูกต้องนัก เพราะสภาพจริงๆ ของดินก่อนที่จะไปเจาะไม่ค่อยเรียบและอาจจะเอียงตามสภาพการใช้งาน แต่ผิวของน้ำมันที่เข้าไปแทนที่จะเรียบและรักษาระดับอยู่เสมอ · วิธีการนี้จึงใช้ได้กับดินที่มีขนาดเม็ดเล็ก มีช่องว่างน้อยเช่นพวกดินเหนียว

J.F. Redus[6] ได้ทำการทดลองเพื่อหาขนาดของความผิดพลาดของการหา wet density ของดินของวิธีการดังกล่าวข้างต้น โดยการทดลองในห้องทดลองและทดลองในสนาม การทดลองในห้องทดลองได้นำเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้สำหรับวิธี Rubber-Balloon และ Sand-Replacement มาทำการทดลองหาความถูกต้อง โดยใช้เครื่องมือเหล่านั้นหาปริมาตรของหลุมคอนกรีตที่หล่อให้สภาพต่างๆ เป็นหลุมเหมือนสภาพในสนาม ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ทดลองมีดังนี้

Small Water Balloon ประกอบด้วยกระบอกแก้วรูปทรงกระบอก ภายในมีน้ำบรรจุอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของกระบอกแก้วติดอยู่กับถุงยางที่ยืดได้ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปิด ที่ข้างกระบอกแก้วเจาะรูมีสายยางต่อติด สายยางนี้มีไว้สำหรับเพิ่มความดันอากาศเข้าไปในกระบอกแก้ว ซึ่งจะทำให้น้ำไปดันถุงยางให้ขยายออกไปแนบกับหลุมได้สนิท

Washington-Den-O Meter เป็น Water Balloon ชนิดหนึ่งแต่วิธีเพิ่มความดันอากาศเข้าไปในถุงยางที่มีน้ำอยู่ใช้ลูกสูบ (piston) แทนสายยาง

Glass Jar and Funnel เป็นเครื่องมือที่ใช้หาปริมาตรของหลุม โดยใช้ทรายแทนที่ เครื่องมือชนิดนี้ประกอบด้วยขวดแก้วและกรวยขนาดเล็ก ที่ปากขวดแก้วและปากกรวยมีเกลียวสำหรับต่อเข้ากันให้สนิท ส่วนที่ก้นกรวยมีรูเปิดขนาดเล็ก การหาปริมาตรทำได้โดยยกขวดแก้วที่ใส่ทรายแล้วให้มีความสูงคงที่ แล้วปล่อยให้ทรายไหลลงไปแทนที่หลุมจนเต็ม

Class Jar and Cone เป็นเครื่องมือที่ใช้หาปริมาตรของหลุม โดยใช้ทรายแทนที่

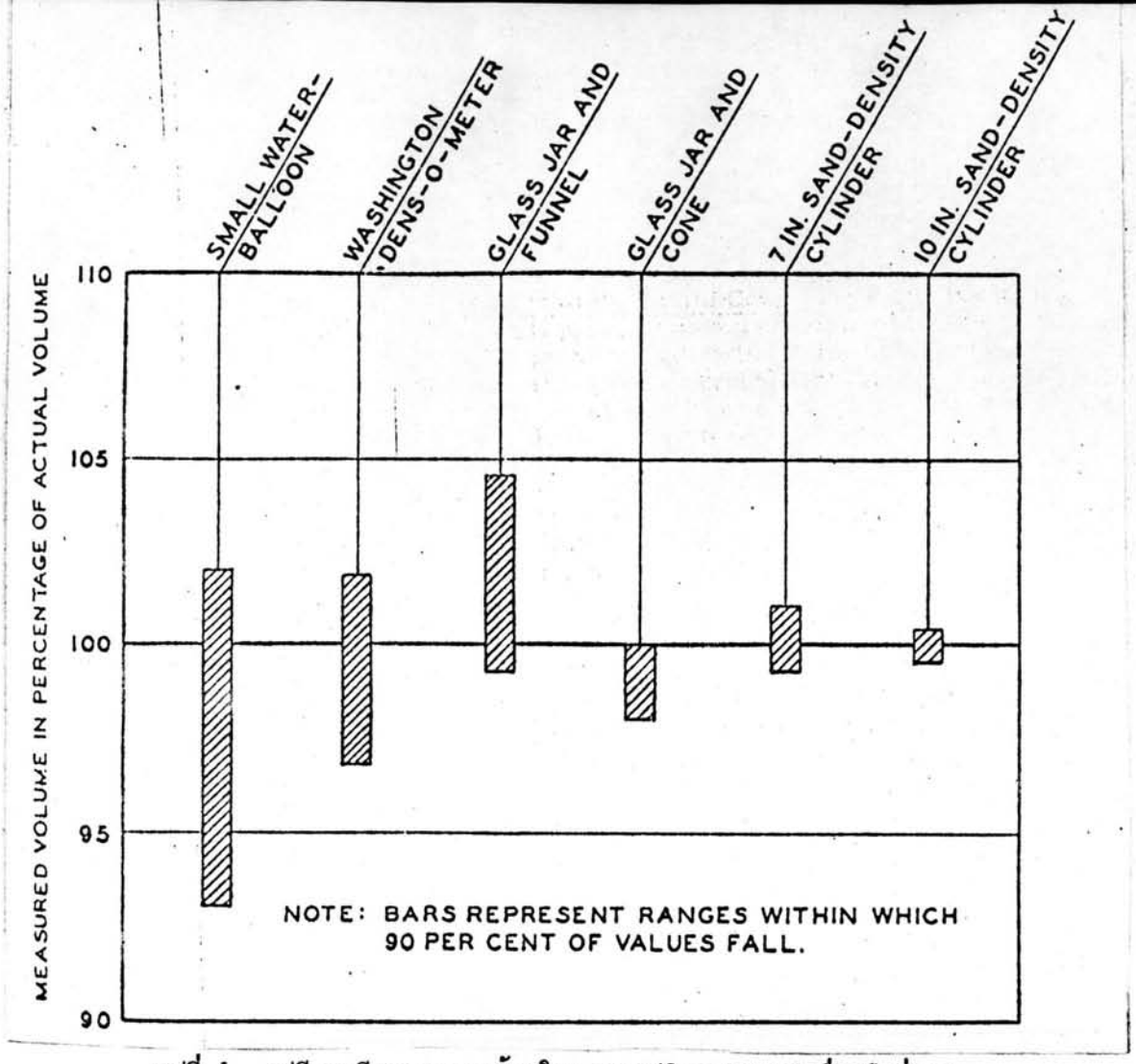
เครื่องมือชนิดนี้ประกอบด้วยขวดแก้วซึ่งที่ปากขวดแก้วมีเกลียวสำหรับต่อเข้ากับกรวย และกรวยสองอันซึ่งต่อเข้าด้วยกันโดยหันก้นกรวยเข้าหากันระหว่างก้นกรวยทั้งสองมีลิ้นเปิดปิดได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{8}$ นิ้ว ปากกรวยด้านหนึ่งมีเกลียวสำหรับต่อเข้ากับปากขวด และปากกรวยอีกด้านหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 นิ้ว กรวยทั้งสองเป็นกรวยที่เอียงทำมุม 60° กับแนวราบ การหาปริมาตรของหลุมทำได้โดย - ประกอบกรวยเข้ากับขวดแก้วที่มีทรายอยู่ แล้วคว่ำขวดแก้วให้ปากกรวยอีกด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นฐานที่ปากหลุม เปิดลิ้นให้ทรายไหลเข้าไปแทนที่หลุม

Sand-Density Cylinder เป็นเครื่องมือที่ใช้หาปริมาตรของหลุม โดยใช้ทรายแทนที่ เครื่องมือชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ เหมือนกับ Glass Jar and Cone แต่กรวยเอียงทำมุม 45° กับแนวราบ และลิ้นเปิดปิดตรงที่กรวยทั้งสองต่อกันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ขวดแก้วที่ใช้เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว และ 10 นิ้ว วิธีการหาปริมาตรของหลุมก็ทำเช่นเดียวกัน

ผลการทดลองปรากฏว่า 10 in Sand Density Cylinder เป็นเครื่องมือที่ให้ความผิด - พลาดน้อยที่สุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 ส่วนผลการทดลองในสนามจริงเราไม่สามารถจะรู้ปริมาตรที่แท้จริงของหลุมที่เจาะเอาดินขึ้นมาได้ ฉนั้นความผิดพลาดของเครื่องมือที่เรานำไปใช้ในสนามจึงไม่สามารถจะรู้ได้ แต่จากการทดลองในห้องทดลองได้ผลว่า Sand Density Cylinder เป็นเครื่องมือที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ดังนั้น J.F. Redus จึงใช้ Sand Density Cylinder เป็นตัวเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ในการทดลองในสนามผลการทดลองในสนามได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

2.1.2 การค้นคว้าเกี่ยวกับการหาเปอร์เซนต์การบดอัดอย่างรวดเร็ว

Nuclear Method[2,5] วิธีการนี้ใช้ได้ทั้งการหา wet density และความชื้นของดิน การหา wet density ของดินนั้นใช้รังสีแกมม่า (Gamma Ray) โดยเราเอาฉากตะกั่วมากั้นกลางระหว่างแหล่งของรังสีกับเครื่องรับรังสี เพื่อไม่ให้มันแผ่รังสีไปยังเครื่องรับรังสีโดยตรง เมื่อปล่อยให้รังสีแผ่ออกจากแหล่งแล้วมันจะแผ่รังสีผ่านดินที่เราต้องการหา wet density แล้วสะท้อนกลับไปยังเครื่องรับ ถ้ารังสีสะท้อนกลับไปมาก แสดงว่าดินนั้นมีความแน่นสูง ส่วนการหาความชื้นของดินนั้นใช้นิวตรอน (Nuetron) เป็นตัววัด โดยเราปล่อยให้มันแผ่กระจายเข้าไปในดินแล้วสะท้อนกลับไปยังเครื่องรับ นิวตรอนที่ผ่านเข้าไปในดินจะชนกับอะตอมของไฮโดรเจน (Hydrogen Atom) ถ้านิวตรอนสะท้อนกลับไปช้า แสดงว่ามีน้ำอยู่ในดินมาก วิธีการนี้ให้ผลทดลองเป็นที่น่าพอใจ สะดวกและรวดเร็วมาก อีกทั้งยังไม่ต้องเจาะดินบริเวณที่จะทำการทดลอง ซึ่งเป็นการทำให้สภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป แต่วิธีการ



รูปที่ 1 เปรียบเทียบความถูกต้องในการหาปริมาตรของเครื่องมือต่างๆ

ที่มา Redus, J.F., "A Study of In-place Density Determination for Base Course and Soils," Highway Research Boord Bulletin 159, pp.29

เปรียบเทียบระหว่าง Sand-Replacement กับ	ผลการเปรียบเทียบ (%)	หมายเหตุ
1. Drive Cylinder	ต่างกันน้อยมาก	ทดลองบนดินเหนียว
2. Glass jar and Funnel	ต่างกันน้อยมาก	ทดลองบนดินเหนียว
3. Glass jar and Cone	ต่างกันน้อยมาก	ทดลองบนหินคลุก
4. Water - balloon	92.8 - 99.5	ทดลองบน Silty Sand และหินคลุก
5. Washington Dens O Meter	98.1 - 101.9	ทดลองบนหินคลุก
6. Oil Displacement	ต่างกันน้อยมาก	ทดลองบนหินคลุก

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการหาความแน่นของดินในสนามโดยเปรียบเทียบกับวิธี Sand - Replacement

นี้จะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและการปรับเครื่องมือให้พอดีทำได้ยาก

Ohio-Typical Moisture-Density Curve Method[4] เป็นการหาเปอร์เซนต์การบดอัด โดยหา wet density ของดินและความชื้นของดินที่เจาะออกมา นำไป plot จุดลงบน chart ซึ่งมี curve ของ wet density กับความชื้นอยู่ ดูว่าจุดที่เรา plot ลงไปนั้นอยู่บน curve เส้นใด จะสามารถรู้ค่า maximum dry density และ optimum moisture content ของดินที่เจาะมาได้ (ใน chart จะมีตารางบอกค่า maximum dry density และ optimum moisture content ของแต่ละ curve อยู่) ข้อดีของวิธีการนี้ก็คือไม่ต้องทำ curve ของ dry density กับความชื้น (control curve) ของดิน แต่วิธีการนี้มีขอบเขตจำกัด กล่าวคือใช้ได้ในพื้นที่มีสภาพภูมิประเทศเหมือนกันเพราะว่า chart ของ Typical Moisture-Density Curve นี้ ได้มาจากการ polt ระหว่าง wet density กับความชื้นของดินชนิดเดียวกัน

สำหรับการค้นคว้าเกี่ยวกับ Typical Moisture-Density Curve ในประเทศไทยนั้น กองวิเคราะห์วิจัยกรมทางหลวง[1] ได้จัด Typical Moisture-Density Curve ของ Silty Sand และลูกรังในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยขึ้น โดยการรวบรวมข้อมูลที่เก็บมาจากงานสร้างทางของกรมทางหลวง 5 สาย บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เนื่องจากดินบริเวณดังกล่าวส่วนมากเป็น Silty Sand และลูกรัง ผลการรวบรวม Typical Moisture-Density Curve ปรากฏว่าสามารถรวบรวม Moisture-Density Curve ของ Silty Sand ที่มีการบดอัดเหมือนกันของทางแต่ละสายมาไว้ในกราฟแผ่นเดียวกันได้ โดยปรับปรุงแก้ไข curve และตัดบางส่วนที่ไม่เหมาะสมออก ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าสภาพการเกิดทางธรณีวิทยาของ Silty Sand บริเวณนั้นเหมือนกัน ดังนั้นคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของ Silty Sand จึงคล้ายคลึงกัน ทำให้ Family ของ Moisture-Density Curve ไม่ต่างกันมาก ส่วนลูกรังนั้นถึงแม้ว่าเราสามารถสร้าง Family Curve ของลูกรังแต่ละแหล่งได้ แต่ถ้าต่างแหล่งกันแล้วจะไม่สามารถนำ Moisture-Density Curve ของลูกรังแต่ละแหล่งมารวมกันได้ เนื่องจากการขึ้นลง (Fluctuation) ของน้ำใต้ดิน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของลูกรัง จากการทดลองพบว่าปริมาณซิลิกา (SiO_2) เหล็กอ๊อกไซด์ (Fe_2O_3) และอลูมิเนียมอ๊อกไซด์ (Al_2O_3) ในลูกรังต่างแหล่งกันไม่เหมือนกัน ดังนั้น Family ของ Moisture-Density Curve ของลูกรังต่างแหล่งกัน จึงมีรูปลักษณะต่างกันไม่สามารถนำมารวมกันได้ สำหรับ Typical Moisture-Density Curve ของ Silty Sand ในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 และ 3

Hift Method[3] เป็นการหาเปอร์เซนต์การบดอัด โดยไม่ต้องหาความชื้นของดินในสนาม แต่ต้องหา wet density ในสนามเปรียบเทียบกับ maximum wet density ซึ่งได้จาก converted wet density curve converted wet density curve สร้างจากค่า converted wet density ของดินกับน้ำที่เติมลงไปประมาณ 3 จุด โดยใช้ Loboratory Compactive Effort วิธีการนี้ไม่ต้องทำ dry density-moisture content curve (control curve) เพื่อหาเปอร์เซนต์การบดอัด

Constant Dry Weight Method[7] เป็นการหาเปอร์เซนต์การบดอัด โดยใช้ปริมาตรเปรียบเทียบกัน ในการเปรียบเทียบนี้เราต้องใช้ดินอันเดียวกัน กล่าวคือเปรียบเทียบปริมาตรของหลุมที่เจาะดินจำนวนนั้นออกมากับปริมาตรที่น้อยที่สุดของดินจำนวนนั้น เมื่อใช้ Laboratory Compactive Effort บดอัด วิธีนี้เป็นการหาเปอร์เซนต์การบดอัด โดยไม่ต้องทำ dry density-moisture - content curve (control curve) และไม่ต้องหาความชื้นของดินด้วย

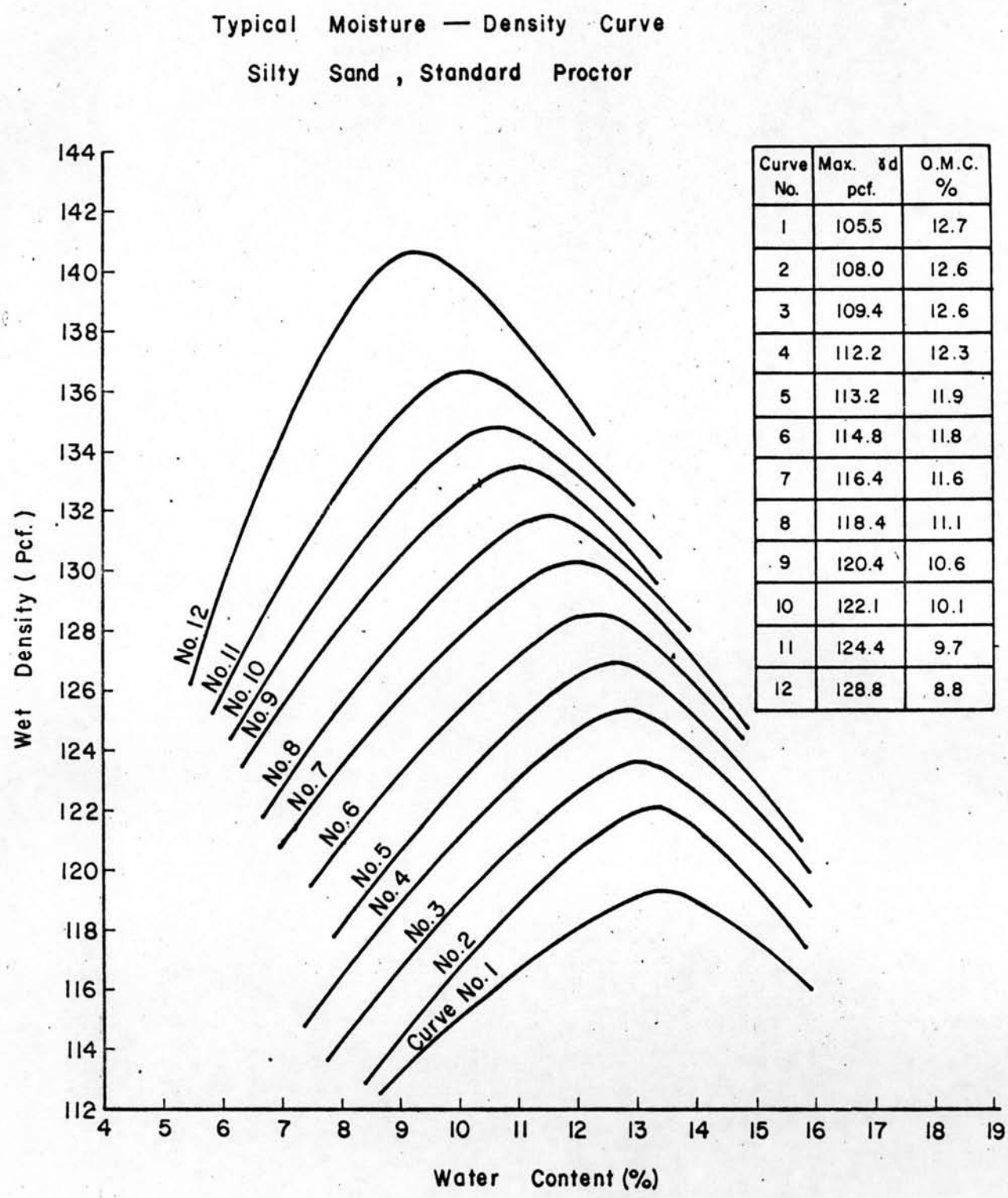
จากวิธีการต่างๆ ที่กล่าวมาพอสังเขป วิธีการของ Hift และ Constant Dry - Weight เป็นวิธีการที่ไม่ต้องหาความชื้นของดิน และไม่ต้องทำ dry density moisture content curve จึงได้เลือกศึกษาดูเฉพาะสองวิธีนี้ และสำหรับการหา wet density และปริมาตรของกลุมที่เจาะ ซึ่งทั้งสองวิธีการนี้ต้องใช้ จะใช้วิธี Sand-Replacement เพราะใช้ได้กับดินทุกชนิดและค่าที่ได้ออกมาผิดพลาดน้อยมาก

2.2 ภูมิหลังของทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

2.2.1 การหาเปอร์เซนต์การบดอัดโดยวิธี Hift

วิธีการของ Hift เป็นการหาเปอร์เซนต์การบดอัดในสนาม โดยใช้ converted wet density curve ตามสูตร เปอร์เซนต์การบดอัด $= \frac{\gamma_{D_f}}{\gamma_{D_m}} = \frac{\gamma_{D_f}\ (1 + w_f)}{\gamma_{D_m}\ (1 + w_f)}$

เทอม $\gamma_{D_f}(1 + w_f)$ คือ Field wet density หาได้จากน้ำหนักของดินหารด้วยปริมาตรของดิน ส่วนเทอม $\gamma_{D_m}(1 + w_f)$ สามารถหาได้จาก curve ของ converted wet density กับเปอร์เซนต์ของน้ำที่ใส่ลงไป



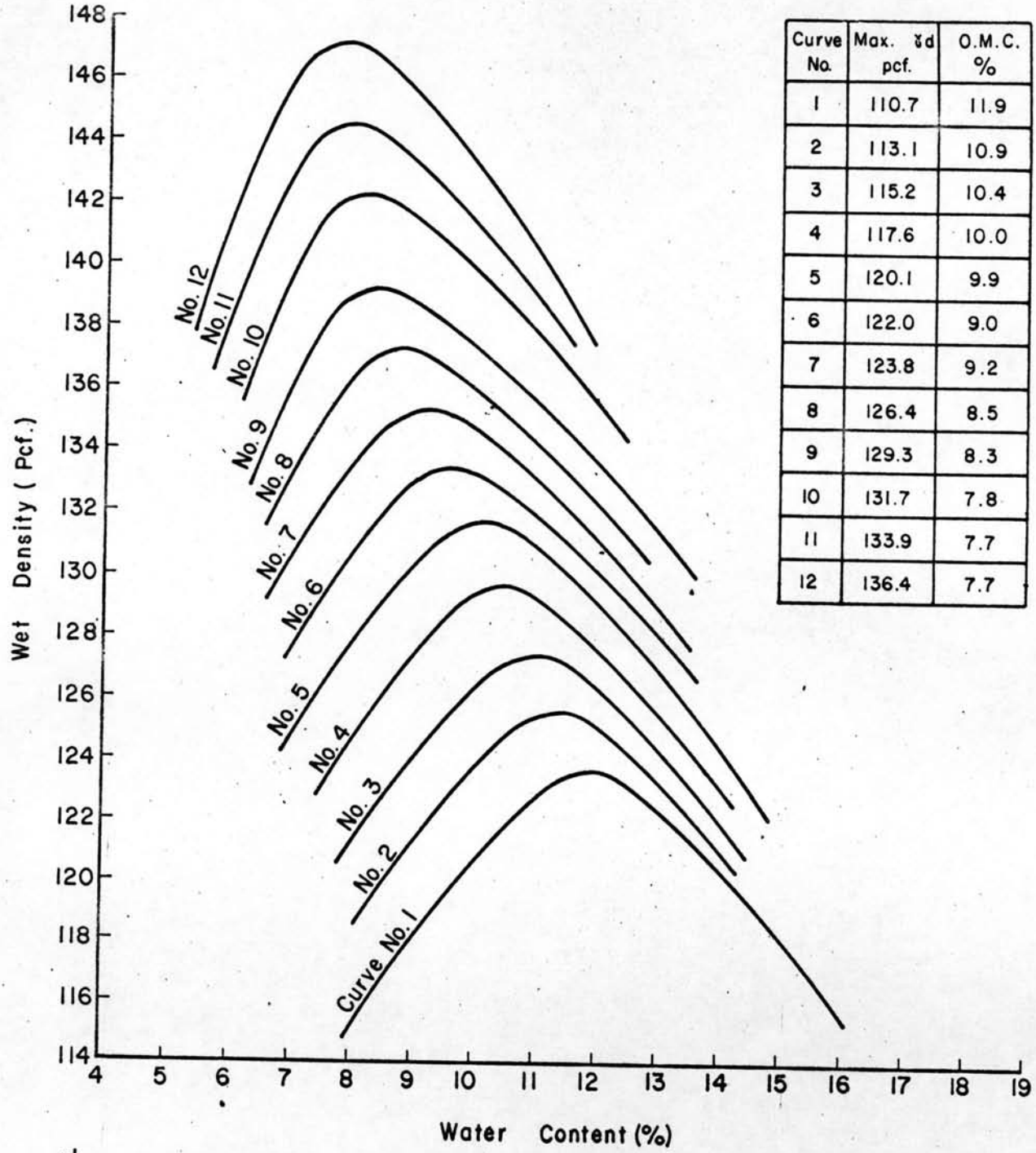
Curve No.	Max. γd pcf.	O.M.C. %
1	105.5	12.7
2	108.0	12.6
3	109.4	12.6
4	112.2	12.3
5	113.2	11.9
6	114.8	11.8
7	116.4	11.6
8	118.4	11.1
9	120.4	10.6
10	122.1	10.1
11	124.4	9.7
12	128.8	8.8

รูปที่ 2 Typical Moisture - Density Curves ของ Silty Sand ในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเมื่อบดอัดแบบมาตรฐาน

ที่มา ประวิตร ปุษยนาวิน, "Typical Moisture - Density Curves ของ Silty Sand ในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย," กรมทางหลวง กระทรวงพัฒนาการแห่งชาติ, รูปที่ 5

Typical Moisture — Density Curve

Silty Sand , Modified Proctor



Curve No.	Max. γ_d pcf.	O.M.C. %
1	110.7	11.9
2	113.1	10.9
3	115.2	10.4
4	117.6	10.0
5	120.1	9.9
6	122.0	9.0
7	123.8	9.2
8	126.4	8.5
9	129.3	8.3
10	131.7	7.8
11	133.9	7.7
12	136.4	7.7

รูปที่ 3 Typical Moisture - Density Curves ของ Silty Sand ในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเมื่อบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ที่มา ประวิตร ปุษยนาวิน, "Typical Moisture - Density Curves ของ Silty Sand ในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย," กรมทางหลวง กระทรวงพัฒนาการแห่งชาติ, รูปที่ 6

ให้ γ_{w_f} = field wet density

γ_{D_m} = laboratory maximum dry density

$\gamma_{D_m}(1 + w_o)$ = wet density at optimum moisture content

$$\gamma_{D_m}(1 + w_f) = \gamma_{D_m}(1 + w_f) \times \frac{(1 + w_o)}{(1 + w_o)}$$

$$= \gamma_{D_m} \frac{(1 + w_o)}{\frac{(1 + w_o)}{(1 + w_f)}}$$

$$= \frac{\text{wet density at optimum moisture content}}{\frac{(1 + w_o)}{(1 + w_f)}}$$

ในทำนองเดียวกัน wet density ที่ความชื้นใดๆ (w), $\gamma_D(1 + w)$, ก็สามารถเปลี่ยนเป็น wet density ที่ field moisture content, $\gamma_D(1 + w_f)$ โดยคูณด้วย $\frac{1}{\frac{(1 + w)}{(1 + w_f)}}$

$$\gamma_D(1 + w_f) = \frac{\text{wet density at any moisture content}}{\frac{(1 + w)}{(1 + w_f)}} \quad \ldots(1)$$

$$\frac{(1 + w)}{(1 + w_f)} = \frac{(1 + w + w_f - w_f)}{(1 + w_f)}$$

$$= \frac{(1 + w_f)}{(1 + w_f)} + \frac{(w - w_f)}{(1 + w_f)}$$

$$= 1 + \frac{(w - w_f)}{(1 + w_f)}$$

ให้ $\frac{(w - w_f)}{(1 + w_f)} = Z$

$$1 + \frac{(w - w_f)}{(1 + w_f)} = 1 + Z \quad \ldots(2)$$

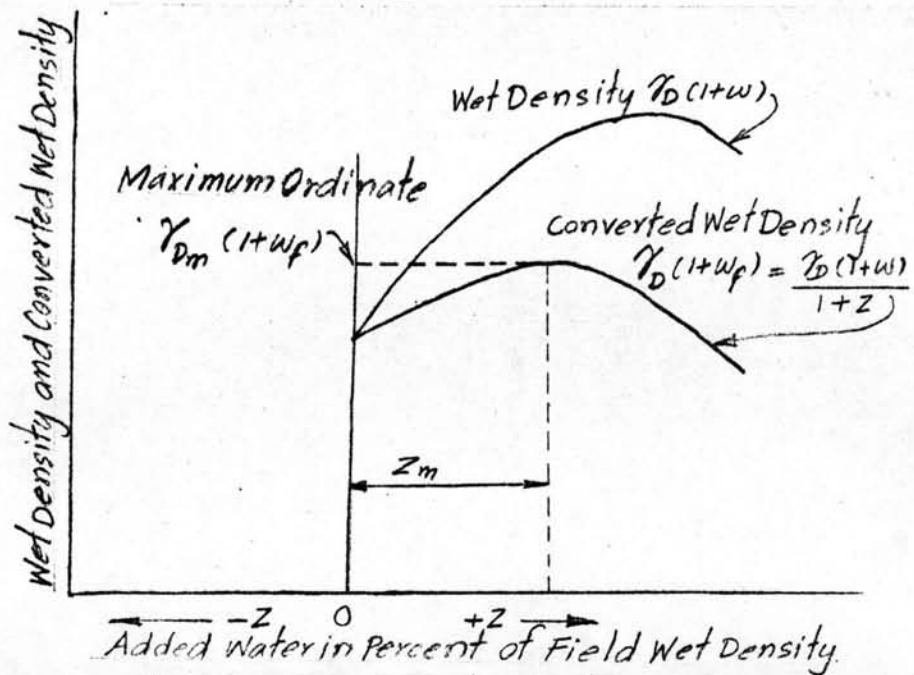
แทนค่า (2) ลงใน (1) $\gamma_D(1 + w_f) = \frac{\text{wet density at any moisture content}}{(1 + Z)}$ (3)

$$Z = \frac{(w - w_f)}{(1 + w_f)}$$

$$= \frac{W_s(w - w_f)}{W_s(1 + w_f)}$$

$$= \frac{\text{weight of water added}}{\text{weight of wet soil before adding the water}}$$

จะเห็นว่า Z เป็นอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณเดิมกับน้ำหนักของดินที่ field moisture content ถ้าเรานำค่า $\gamma_D(1 + w_f)$ จากสมการที่ (3) มา plot เป็น ordinate และ plot ค่า Z เป็น abcissa จะได้ curve เส้นข้างล่างดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของ Wet Density และ Converted Wet Density กับเปอร์เซนต์ของน้ำที่ใส่ลงไป

จุดที่อยู่สูงสุดของ converted wet density curve คือ $\gamma_{D_m}(1 + w_f)$ เพราะว่าจากสมการที่ (3) ด้านซ้ายมือ ตัวแปรในการ plot curve มีเพียง γ_D เท่านั้น ค่า $(1 + w_f)$ จะคงที่เสมอ เมื่อแทนค่าเปอร์เซนต์ของน้ำที่ใส่ลงไปที่ค่าต่างๆ ลงไปเราจะเขียน converted wet density curve และหาค่า $\gamma_{D_m}(1 + w_f)$ ได้

$$\text{เปอร์เซนต์การบดอัด} = \frac{\gamma_{D_f}(1 + w_f)}{\gamma_{D_m}(1 + w_f)}$$

เทอม $\gamma_{D_f}(1 + w_f)$ คือ wet density at field moisture content หาได้จากสนาม

เทอม $\gamma_{D_m}(1 + w_f)$ หาได้จาก converted wet density curve ดังกล่าวข้างต้น ซึ่ง curve นี้สามารถเขียนได้จากการ plot จุด 3 จุด คือ

1. $\gamma_{D_1} \frac{(1 + w_1)}{(1 + Z_1)}$

2. $\gamma_{D_2} \frac{(1 + w_2)}{(1 + Z_2)}$

3. $\gamma_{D_3} \frac{(1 + w_3)}{(1 + Z_3)}$

2.2.2 การหาเปอร์เซนต์การบดอัดโดยวิธี Constant Dry Weight

วิธี Constant Dry Weight เป็นวิธีการหาเปอร์เซนต์การบดอัดโดยนำเอาปริมาตรของดินอันเดียวกันเมื่อถูกบดอัดในสนามเปรียบเทียบกับเมื่อถูกบดอัดโดยใช้ laboratory compactive effort

ให้ W_s เป็น dry weight ของดินตัวอย่างที่เจาะเอามาจากสนาม

w_f เป็น ความชื้นของดินในสนามเป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักดิน W_s

W_1 เป็น น้ำหนักของดินที่เจาะเอามาจากสนามมี dry weight W_s และความชื้น w_f

V_f เป็น ปริมาตรของดินที่เจาะเอามาจากสนาม

γ_{D_f} เป็น dry density ของดินที่เจาะเอามาจากสนาม

$$W_1 = \gamma_{D_f}(1 + w_f)\, V_f \qquad \ldots(4)$$

เมื่อเรานำดินที่เจาะมาจากสนาม มาบดอัดด้วย laboratory compactive effort โดยค่อยๆ เติมน้ำจนกระทั่งดินมีความชื้นอยู่ที่ optimum moisture content

ให้ w_o เป็น optimum moisture content โดยคิดเป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักดิน W_s

w_A เป็น ปริมาณน้ำที่ใส่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งดินมีความชื้นอยู่ที่ optimum moisture content โดยคิดเป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักดิน W_1

γ_{D_m} เป็น maximum dry density ของดินที่บดอัดโดยใช้ laboratory compactive effort

V_{min} เป็น ปริมาตรที่เล็กที่สุดของดินเมื่อบดอัดโดยใช้ laboratory compactive effort

เมื่อดินมีความชื้นอยู่ที่ optimum moisture content และถูกบดอัดด้วย laboratory compactive effort จะมีความแน่นมากที่สุดและปริมาตรเล็กที่สุด

$$W_1(1 + w_A) = \gamma_{D_m}(1 + w_o) V_{min} \quad \ldots(5)$$

$$w_o = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในดิน + น้ำหนักน้ำที่ใส่เพิ่มเข้าไปจนถึง optimum moisture content}}{W_s}$$

$$= \frac{W_s.w_f + W_1.w_A}{W_s}$$

$$= \frac{W_s.w_f + W_s.(1 + w_f)\, w_A}{W_s}$$

$$= w_f + (1 + w_f)\, w_A$$

$$= w_f + w_A + w_f.w_A$$

แทนค่า W_1 และ w_o ลงใน (5) $\gamma_{D_f}(1 + w_f).V_f(1 + w_A) = \gamma_{D_m}(1 + w_f + w_A + w_f.w_A)V_{min}$

$$\frac{\gamma_{D_f}}{\gamma_{D_m}} = \frac{V_{min}}{V_f} \times \frac{(1 + w_f)(1 + w_A)}{(1 + w_f)(1 + w_A)}$$

$$= \frac{V_{min}}{V_f}$$

เปอร์เซนต์การบดอัด $= \frac{\gamma_{D_f}}{\gamma_{D_m}} = \frac{V_{min}}{V_f}$