



การใช้ทรายท้องถิ่นเพื่อหาความหนาแน่นของดินในสนามโดยวิธีกรวยทราย

USE OF LOCAL SANDS TO DETERMINE THE DENSITY OF SOIL IN PLACE

BY SAND CONE METHOD

นพปดล เสงี่ยมศักดิ์^{1*} อภิวัฒน์ เขตสมัคร² และกฤตณุ ปาลี²

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ห้องวิจัยคอนกรีตและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²นิสิตระดับปริญญาตรี, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

*Corresponding author, E-Mail: noppadol.s@msu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาการใช้ทรายท้องถิ่นที่หาได้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเพื่อหาปริมาตรหลุมซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการหาความหนาแน่นของดินในสนามโดยวิธีกรวยทราย โดยนำทรายท้องถิ่นจาก 4 แหล่ง คือ 1) ทรายแม่น้ำชี อ.เมือง จ.มหาสารคาม 2) ทรายแม่น้ำชี อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 3) ทรายแม่น้ำมูล อ.สตึก จ.บุรีรัมย์ และ 4) ทรายแม่น้ำมูล อ.โพธาราย จ.ร้อยเอ็ด มาแยกเป็น 4 ช่วงขนาดโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 20 30 40 และ 60 นำตัวอย่างทรายทั้งหมดไปหาปริมาตรของหลุมจำลองที่สร้างขึ้นซึ่งทราบปริมาตรที่แน่นอนด้วยวิธีกรวยทราย ทั้งนี้ มีการใช้ทรายออกตาวาในการหาปริมาตรหลุมด้วยเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ทำการพิจารณาถึงความถูกต้องแม่นยำของปริมาตรหลุมที่หาโดยใช้ทรายแต่ละตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่า ปริมาตรหลุมเฉลี่ยจากการทดสอบซ้ำ 5 รอบที่หาโดยใช้ทรายทั้ง 16 ตัวอย่าง มีความคลาดเคลื่อนในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 2.51 และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 1.79 ถึง 6.55 โดยทรายออกตาวาให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากที่สุด ทรายท้องถิ่นที่เหมาะสมสำหรับใช้หาปริมาตรหลุมมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ 1) ทรายแม่น้ำชีจาก อ.กันทรวิชัย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 60 2) ทรายแม่น้ำมูลจาก อ.โพธาราย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างเบอร์ 60 และ 3) ทรายแม่น้ำมูลจาก อ.โพธาราย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 40

คำสำคัญ: ทราย; ความหนาแน่น; วิธีกรวยทราย

ABSTRACT

This research studied the use of local sands that can be found in Northeastern Thailand to determine the hole volumes as a part of the field density test of soil by sand cone method. The samples of local sand were collected from four different locations: 1) Chi river sand, Muang district, Maha Sarakham province, 2) Chi river sand, Kantharawichai district, Maha Sarakham province, 3) Mun River sand, Satuek district, Buriram province, and 4) Mun River sand, Phon Sai district, Roi Et province. All samples were separated to four different sizes by using sieve No. 20, 30, 40 and 60 and were used to find the volume of an artificial hole with known volume by the sand cone technique. Ottawa sand was also used to find the hole volume in order to compare with the local sand. The accuracies of the hole volumes obtained by the sand cone technique were investigated. The results indicated that the average hole volumes obtained from 5 repetitions of tests by

using all samples differ from the actual hole volume in the range of 0.01% to 2.51% and the standard deviations were in the range of 1.79 to 6.55. Ottawa sand showed the most satisfactory results. The first three suitable local sands for volume determination are 1) Chi river sand from Kantharawichai District which passed sieve No. 20 and retained on sieve No. 60, 2) Mun river sand from Phon Sai district which passed sieve No. 40 and retained on sieve No. 60 and 3) Mun river sand from Phon Sai district which passed sieve No. 30 and retained on sieve No. 40.

KEYWORDS: sand; density; sand cone method

1. บทนำ

การบดอัดดิน เป็นวิธีการปรับปรุงดินอย่างหนึ่งโดยการใส่พลังงานให้กับดินซึ่งนิยมทำกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในงานก่อสร้างอาคาร ถนน เขื่อน หรืองานอื่นๆ ดินที่ผ่านการบดอัดจะมีความหนาแน่นและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การทุบตัวและการซึมผ่านของน้ำลดลง การควบคุมการบดอัดดินจะพิจารณาจากความหนาแน่นแห้งของดินที่ถูกบดอัดในสนามเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินที่ผ่านการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ โดยคำนวณออกมาเป็นร้อยละ เรียกว่า ร้อยละการบดอัด

การหาความหนาแน่นของดินในสนามสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีกรวยทราย (หรือวิธีแทนที่ด้วยทราย) วิธีลูกโป่งน้ำ วิธีนิวเคลียร์ วิธีตอกกระแทก เป็นต้น สำหรับในประเทศไทย วิธีใช้กรวยทราย เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากเครื่องมือในการทดสอบหาได้ง่าย และวิธีการทดสอบก็ทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน โดยชุดหลุมให้มีขนาดที่เหมาะสม นำดินมาชั่งน้ำหนัก แล้วทำการหาปริมาตรของหลุมโดยใช้ทรายเทลงไป น้ำหนักของดินหารด้วยปริมาตรของหลุมก็จะได้ค่าความหนาแน่น ดังนั้น ความแม่นยำของผลการทดสอบหาความหนาแน่นจึงขึ้นอยู่กับวิธีการหาปริมาตรหลุมเป็นสำคัญ ตามมาตรฐาน ASTM D1556 [1] และกรมทางหลวง ทล.-ท. 603/2517 [2] กำหนดคุณลักษณะของทรายที่ใช้ในการหาปริมาตรหลุมคือ ควรเป็นทรายที่มีเม็ดกลม ไหลได้เป็นอย่างดี มีขนาดเม็ดใกล้เคียงกัน โดยมาตรฐาน ASTM D1556 กำหนดให้ทรายมีขนาดเล็กกว่า 2.0 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 10) และมีส่วนเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 60) ไม่เกินร้อยละ 3 ส่วนมาตรฐานของกรมทางหลวง ทล.-ท. 603/2517 กำหนดให้ทรายมีขนาดอยู่ระหว่างตะแกรงเบอร์ 20 และเบอร์ 40 ทรายที่เป็นที่ยอมรับสำหรับการหาปริมาตรหลุมคือทรายออกดวาว ซึ่งมีเม็ดค่อนข้างกลม ขนาดสม่ำเสมอ ลื่นไหลได้ดี สามารถหาปริมาตรหลุมได้แม่นยำ อย่างไรก็ตาม ทรายออกดวาวมีราคาที่สูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งในการใช้ทรายหาปริมาตรหลุมจะทำให้มีการสูญเสียทรายไปบางส่วน ทำให้การใช้ทรายออกดวาวมีต้นทุนสูง งานก่อสร้างหลายแห่งจึงเลือกใช้ทรายที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น ทรายแม่น้ำ เพื่อทดแทนทรายออกดวาว โดยคัดเลือกและเตรียมทรายให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำทรายแม่น้ำมาใช้ในการหาทดสอบหาความหนาแน่นดินในสนามทั้งในประเทศไทย [3] และในต่างประเทศ [4-5] ซึ่งพบว่าทรายแม่น้ำสามารถนำมาใช้งานได้ และให้ผลเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับนำทรายแม่น้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมาใช้ในการหาปริมาตรหลุม

ในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาการใช้ทรายจากแม่น้ำมูลและแม่น้ำชีเพื่อทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนามโดยวิธีกรวยทราย ซึ่งแม่น้ำทั้งสองนี้ถือเป็นแม่น้ำสายสำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ทรายจากแม่น้ำทั้งสองมีการนำไปใช้ในงานก่อสร้างเป็นจำนวนมากและสามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามร้านขายวัสดุก่อสร้าง ในการศึกษาจะเตรียมทรายให้มีขนาดที่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1556 คือ มีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (ลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 10) และมีความละเอียดที่เล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร ไม่เกินร้อยละ 3 (ลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 60 ไม่เกินร้อยละ 3) และเพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ละเอียดยิ่งขึ้น ได้ทำการแยกทรายให้มีช่วงขนาดที่ลดลงไปโดยยังเป็นที่ปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM D1556 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบ

จากการใช้ทรายแต่ละขนาด นอกจากนี้ ยังมีการนำทรายออกดวามาทดสอบสำหรับใช้เป็นทรายอ้างอิงด้วย โดยจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ทรายจากแม่น้ำมูลและแม่น้ำชีสำหรับหาปริมาตรหลุม ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม

2. ทรายที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างทรายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นทรายแม่น้ำชีและทรายแม่น้ำมูลจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่ง นำมาอบให้แห้งสนิทแล้วเลือกเอาเฉพาะทรายที่มีขนาดระหว่าง 0.25 ถึง 0.85 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างตะแกรงเบอร์ 60) มาใช้ในการทดสอบ โดยนำมาแยกเป็น 4 ช่วงขนาดที่แตกต่างกัน คือ 1) ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 30 2) ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 40 3) ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างเบอร์ 60 และ 4) ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 60 ซึ่งทุกช่วงขนาดเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM D1556 นอกจากนี้ ยังมีการใช้ทรายออกดวามาสำหรับเปรียบเทียบผลการทดสอบ ดังนั้น จึงมีตัวอย่างทรายที่ใช้ในการทดลองทั้งสิ้น 17 ตัวอย่าง (รวมทรายออกดวามา) รายละเอียดของทรายทั้ง 17 ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของทรายที่ใช้ในการทดสอบ

ลำดับ	แหล่งทราย	ช่วงขนาด	สัญลักษณ์	ภาพถ่าย
1	ทรายออกดวามา	ตามสภาพเดิม	OTW	
2	ทรายแม่น้ำชี อ.เมือง จ.มหาสารคาม	ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 30	CM-20/30	
3	ทรายแม่น้ำชี อ.เมือง จ.มหาสารคาม	ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 40	CM-30/40	
4	ทรายแม่น้ำชี อ.เมือง จ.มหาสารคาม	ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างเบอร์ 60	CM-40/60	
5	ทรายแม่น้ำชี อ.เมือง จ.มหาสารคาม	ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 60	CM-20/60	
6	ทรายแม่น้ำชี อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม	ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 30	CK-20/30	
7	ทรายแม่น้ำชี อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม	ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 40	CK-30/40	
8	ทรายแม่น้ำชี อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม	ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างเบอร์ 60	CK-40/60	
9	ทรายแม่น้ำชี อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม	ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 60	CK-20/60	

ตารางที่ 1 รายละเอียดของทรายที่ใช้ในการทดสอบ (ต่อ)

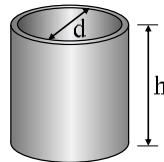
ลำดับ	แหล่งทราย	ช่วงขนาด	สัญลักษณ์	ภาพถ่าย
10	ทรายแม่น้ำมูล อ.สตึก จ.บุรีรัมย์	ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 30	MS-20/30	
11	ทรายแม่น้ำมูล อ.สตึก จ.บุรีรัมย์	ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 40	MS -30/40	
12	ทรายแม่น้ำมูล อ.สตึก จ.บุรีรัมย์	ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างเบอร์ 60	MS -40/60	
13	ทรายแม่น้ำมูล อ.สตึก จ.บุรีรัมย์	ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 60	MS -20/60	
14	ทรายแม่น้ำมูล อ.โพนทราย จ.ร้อยเอ็ด	ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 30	MP-20/30	
15	ทรายแม่น้ำมูล อ.โพนทราย จ.ร้อยเอ็ด	ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 40	MP -30/40	
16	ทรายแม่น้ำมูล อ.โพนทราย จ.ร้อยเอ็ด	ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างเบอร์ 60	MP -40/60	
17	ทรายแม่น้ำมูล อ.โพนทราย จ.ร้อยเอ็ด	ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 60	MP -20/60	

3. วิธีการศึกษา

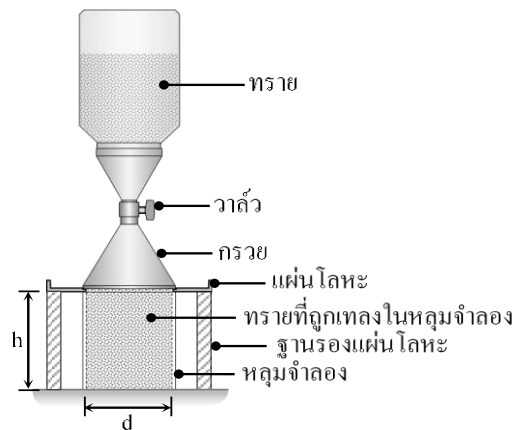
ทรายแม่น้ำทั้ง 16 ตัวอย่าง รวมทั้งทรายออกดวาก็อีก 1 ตัวอย่างดังตารางที่ 1 จะนำไปใช้ในการหาปริมาตรหลุมด้วยวิธีกรวยทรายตามมาตรฐาน ASTM D1556 โดยเป็นหลุมจำลองที่ทำจากท่อพีวีซีรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเฉลี่ย $d = 16.51$ เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย $h = 8.91$ เซนติเมตร ดังรูปที่ 1 ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาตรได้เท่ากับ 2120 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตรของหลุมจำลองนี้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1556 นั่นคือมีปริมาตรหลุมไม่น้อยกว่า 1415 ลูกบาศก์เซนติเมตร (สำหรับดินที่มีขนาดอนุภาคไม่เกิน $1/2$ นิ้ว) การหาปริมาตรหลุมโดยวิธีกรวยทรายจะมีการทดสอบซ้ำ 5 รอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือแล้วนำค่าเฉลี่ยของปริมาตรหลุมทั้ง 5 รอบ มาเปรียบเทียบกับปริมาตรจริงที่ได้จากการคำนวณ (2120 ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยพิจารณาถึงค่าความคลาดเคลื่อนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรหลุมที่หาโดยวิธีกรวยทราย ทั้งนี้ เพื่อให้เห็นถึงความแม่นยำของการหาปริมาตรหลุมโดยใช้ทรายทั้ง 17 ตัวอย่าง สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกทรายแม่น้ำมูลและแม่น้ำซึ่งเป็นทรายท้องถิ่นที่หาได้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสำหรับทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม

การหาปริมาตรหลุมจำลองด้วยวิธีกรวยทราย ทำได้โดยบรรจุทรายลงในขวดจนเกือบเต็มแล้วหมุนกรวยเข้ากับขวดและนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้น วางหลุมจำลองไว้บนพื้นเรียบ วางแผ่นโลหะซึ่งมีรูวงกลมทับด้านบนของหลุมแล้วคว่ำขวดที่บรรจุทรายโดยให้

ปากกรวยแบบสนิทกับรูวงกลม ขอบทั้งสี่ด้านของแผ่นโลหะจะมีฐานรองเพื่อความมั่นคง ดังรูปที่ 2 จากนั้น เปิดวาล์วให้ทรายไหลลงไปยังทรายหุดไหลจึงทำการปิดวาล์ว นำขวดพร้อมกรวยและทรายที่เหลือ ไปชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 1 ลักษณะของหลุมจำลอง



รูปที่ 2 การหาปริมาตรของหลุมจำลอง

ปริมาตรของหลุม (V_{hole}) จะมีค่าเท่ากับปริมาตรทรายส่วนที่อยู่ในหลุม ($V_{sand\ in\ hole}$) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_{hole} = V_{sand\ in\ hole} = \frac{W_{sand}}{\gamma_{sand}} = \frac{W_1 - W_2 - W_3}{\gamma_{sand}} \quad (1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของขวดพร้อมกรวย + ทราย ก่อนเท

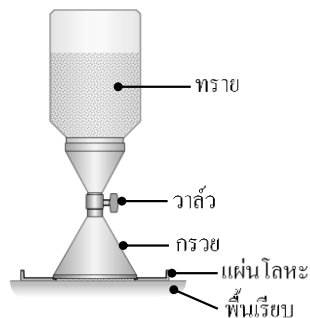
W_2 คือ น้ำหนักของขวดพร้อมกรวย + ทราย หลังเท

W_3 คือ น้ำหนักของทรายส่วนที่อยู่ในกรวยและในรูของแผ่นโลหะ

γ_{sand} คือ หน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight) ของทรายในสภาพที่ถูกปล่อยให้ตกอย่างอิสระ

น้ำหนักของทรายส่วนที่อยู่ในกรวยและในรูของแผ่นโลหะ (W_3) สามารถหาได้โดยบรรจุทรายลงในขวดจนเกือบเต็มแล้ว หมุนกรวยเข้ากับขวดและนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้น วางแผ่นโลหะซึ่งมีรูวงกลมบนพื้นเรียบ คำนวณที่บรรจุทรายโดยให้ปากกรวยแบบสนิทกับรูวงกลม ดังรูปที่ 3 แล้วเปิดวาล์วให้ทรายไหลลงไปยังทรายหุดจึงทำการปิดวาล์ว นำขวดพร้อมกรวยและทรายที่เหลือไป

ซึ่งน้ำหนัก ผลต่างของน้ำหนักขวดพร้อมกรวยและทรายก่อนเทกับน้ำหนักขวดพร้อมกรวยและทรายหลังเทจะเป็นน้ำหนักของทรายส่วนที่อยู่ในกรวยและในรูของแผ่นโลหะ



รูปที่ 3 การหาน้ำหนักของทรายส่วนที่อยู่ในกรวยและในรูของแผ่นโลหะ

การหาหน่วยน้ำหนักรวมของทรายในสภาพที่ถูกปล่อยให้ตกอย่างอิสระ (γ_{sand}) ทำได้โดย (ดูรูปที่ 4 ประกอบ) เททรายลงไป ในกรวยแล้วทำการเปิดวาล์วเพื่อให้ทรายตกลงไปในขวดอย่างอิสระจนกระทั่งทรายหยุดไหลจึงทำการปิดวาล์ว (ทำให้มีทรายเต็ม จนถึงระดับวาล์ว) เททรายส่วนที่เหลือในกรวยด้านบนออก นำไปชั่งน้ำหนักจะได้ น้ำหนักของขวด + กรวย + ทรายที่อยู่เต็มจนถึง ระดับวาล์ว ลบด้วยน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมกรวยจะได้ น้ำหนักของทรายที่อยู่เต็มจนถึงระดับวาล์ว จากนั้น หาปริมาตรรวมของทราย ที่อยู่เต็มจนถึงระดับวาล์ว โดยทำในลักษณะเดิมแต่เปลี่ยนจากการใช้ทรายเป็นการใช้น้ำกลั่น

หน่วยน้ำหนักรวมของทรายในสภาพที่ถูกปล่อยให้ตกอย่างอิสระ (γ_{sand}) หาได้ดังนี้

$$\gamma_{sand} = \frac{W}{W_w / \gamma_w} \quad (2)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักทรายที่อยู่เต็มจนถึงระดับวาล์ว

W_w คือ น้ำหนักของน้ำที่อยู่เต็มจนถึงระดับวาล์ว

γ_w คือ หน่วยน้ำหนักของน้ำ ณ อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ

ปริมาตรหลุมที่หาโดยการใช้ทรายจะมีการคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ความคลาดเคลื่อน} = \frac{V_{test} - V_{cal}}{V_{cal}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ V_{test} คือ ปริมาตรหลุมที่หาโดยวิธีกรวยทรายโดยเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบซ้ำ 5 รอบ

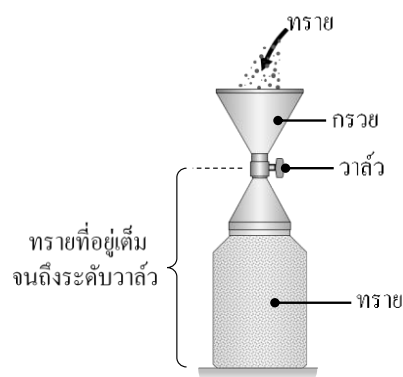
V_{cal} คือ ปริมาตรหลุมที่หาได้จากการคำนวณ ซึ่งถือเป็นปริมาตรที่แท้จริงของหลุม

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i - V_{avg})^2} \quad (4)$$

เมื่อ N คือ จำนวนครั้งที่มีการทดสอบซ้ำ ซึ่งในการทดลองนี้ $N=5$

V_i คือ ปริมาตรหลุมที่หาโดยวิธีกรวยทรายในแต่ละครั้งของการทดสอบซ้ำ

V_{avg} คือ ปริมาตรหลุมเฉลี่ยที่หาโดยวิธีกรวยทรายจากการทดสอบซ้ำ 5 รอบ



รูปที่ 4 การเททรายลงในขวดเพื่อหาหน่วยน้ำหนักของทราย

4. ผลการศึกษา

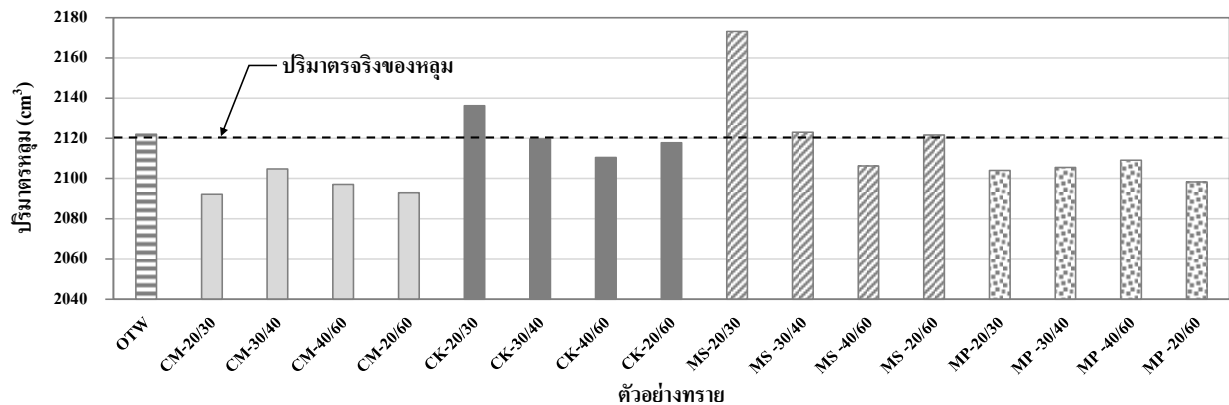
จากการหาปริมาตรของหลุมจำลองโดยใช้ทรายจากแหล่งต่างๆ จำนวน 4 แหล่งที่แยกเป็น 4 ช่วงขนาด และเปรียบเทียบกับทรายออกตาวา (รวม 17 ตัวอย่าง) ซึ่งมีการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ ในตารางที่ 2 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักรวมของทรายทั้ง 17 ตัวอย่างในสภาพที่ปล่อยตกอย่างอิสระซึ่งหาได้จากสมการที่ 2 เมื่อคำนวณหาร้อยละความแตกต่างของผลการทดลองทั้ง 5 รอบกับค่าเฉลี่ยพบว่าไม่เกินร้อยละ 1 ซึ่งเป็นไปตาม มาตรฐาน ASTM D1556 และกรมทางหลวง ทล.-ท. 603/2517 จะเห็นว่า หน่วยน้ำหนักของทรายออกตาวามีค่ามากกว่าทรายแม่น้ำ โดยทรายออกตาวามีหน่วยน้ำหนัก 1.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนทรายแม่น้ำมีหน่วยน้ำหนักรวมอยู่ในช่วง 1.34 ถึง 1.43 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยของหน่วยน้ำหนักจะนำไปใช้คำนวณหาปริมาตรของหลุมต่อไป ในรูปที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาตรหลุมจากการทดสอบซ้ำ 5 รอบ และเปรียบเทียบกับปริมาตรจริงของหลุมทรงกระบอกกลมซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาตรได้เท่ากับ 2120 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะเห็นว่า ปริมาตรหลุมที่หาได้จากการใช้ทรายแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกัน โดยมีปริมาตรอยู่ในช่วง 2092 – 2173 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทรายจากแหล่งเดียวกันแต่มีขนาดแตกต่างกันจะให้ค่าปริมาตรหลุมที่ต่างกัน ทรายโดยส่วนใหญ่ให้ค่าปริมาตรหลุมน้อยกว่าปริมาตรหลุมจริง ยกเว้นทราย CK-20/30 MS-20/30 MS-30/40 MS-20/60 และ OTW ที่ให้ค่าปริมาตรหลุมมากกว่าปริมาตรหลุมจริง

รูปที่ 6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรหลุมที่หาโดยใช้ทรายแทนที่ (ในรูปค่าสัมบูรณ์) เรียงลำดับจากน้อยไปมาก และแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยค่าคลาดเคลื่อนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณได้จากสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ จะเห็นว่า ปริมาตรหลุมที่หาโดยใช้ทรายมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 2.51 โดยทรายที่สามารถหาปริมาตรหลุมได้แม่นยำที่สุด 5 อันดับแรกคือ CK-30/40 MS-20/60 OTW CK-20/60 และ MS-30/40 ตามลำดับ ส่วนทรายที่หาปริมาตรหลุมได้แม่นยำน้อยที่สุดคือ MS-20/30 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนประกอบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว ทรายออกตาวา (OTW)

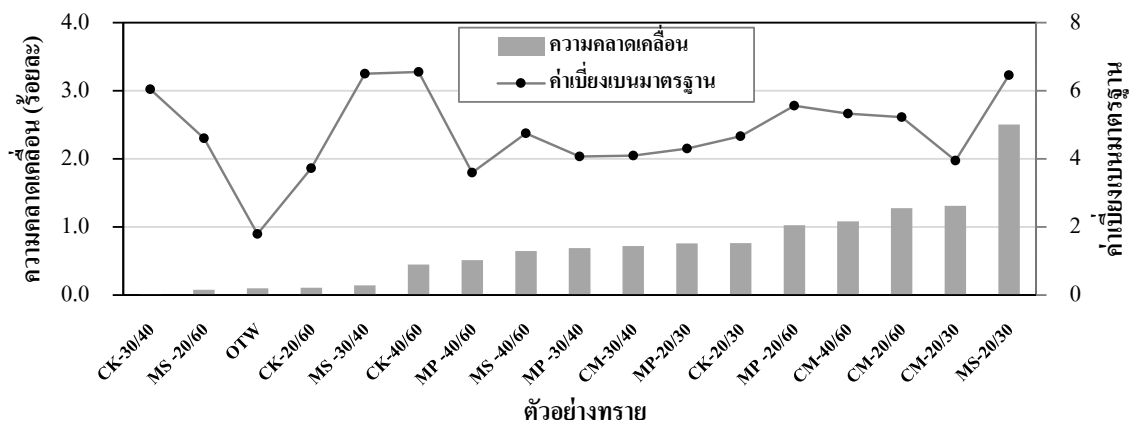
จะให้ผลที่ดีที่สุดเนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทรายอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าทรายออกดวาวนอกจากจะหาปริมาณหลุมได้แม่นยำแล้ว ยังให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในการทดสอบแต่ละรอบ ทำให้ผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือ สำหรับทราย CK-30/40 แม้ว่าจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับทรายตัวอย่างอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบในแต่ละครั้งอาจให้ค่าที่ค่อนข้างแตกต่างกัน นอกจากทรายออกดวาวแล้ว ทรายที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดสอบหาปริมาณหลุมโดยพิจารณาทั้งค่าความคลาดเคลื่อนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้แก่ CM-30/40 CK-20/30 CK-20/60 MS-40/60 MS-20/60 MP-20/30 MP-30/40 และ MP-40/60 เนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่สูงมาก (ไม่เกิน 5) โดยทรายที่แนะนำให้ใช้หาปริมาณหลุมมากที่สุด 3 ลำดับแรกคือ CK-20/60 MP-40/60 และ MP-30/40 ทั้งนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณหลุมและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานยังไม่มีกำหนดในมาตรฐานใดๆ เหตุผลสำคัญที่ทำให้ทรายออกดวาวสามารถหาปริมาณหลุมได้แม่นยำและมีความแน่นอนสูง (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ) เป็นที่ทราบกันดีว่าเนื่องจากมีเม็ดกลมมน ขนาดสม่ำเสมอ ลื่นไหลได้ดี ทำให้เมื่อเทลงไปในหลุมการจัดเรียงตัวของเม็ดทรายจะมีสภาพใกล้เคียงกันทุกครั้ง ส่วนทรายแม่น้ำมูลและแม่น้ำชีจะมีความเป็นเหลี่ยมมุมมากกว่าจึงมีความลื่นไหลได้น้อยกว่าทรายออกดวาว ซึ่งความเป็นเหลี่ยมมุมของทรายที่มีต่อความแม่นยำในการหาปริมาณหลุมนั้น งานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาในเชิงลึก เป็นเพียงการสังเกตด้วยตาเปล่าเท่านั้น โดยผลกระทบของความเป็นเหลี่ยมมุมที่มีต่อความแม่นยำในการหาปริมาณหลุมก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะศึกษาต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 2 หน่วยน้ำหนักรวมของตัวอย่างทรายที่ใช้ในการหาปริมาณหลุม

ตัวอย่างทราย	หน่วยน้ำหนักรวมของทราย (กรัม/ลบ.ซม.)						ความแตกต่างสูงสุดจากค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
OTW	1.524	1.526	1.524	1.524	1.529	1.525	0.23
CM-20/30	1.421	1.423	1.421	1.415	1.420	1.420	0.35
CM-30/40	1.388	1.388	1.388	1.384	1.384	1.386	0.16
CM-40/60	1.379	1.373	1.372	1.369	1.366	1.372	0.53
CM-20/60	1.417	1.417	1.418	1.413	1.416	1.416	0.26
CK-20/30	1.415	1.418	1.416	1.415	1.419	1.417	0.19
CK-30/40	1.395	1.395	1.394	1.400	1.391	1.395	0.37
CK-40/60	1.381	1.378	1.372	1.372	1.370	1.375	0.47
CK-20/60	1.428	1.429	1.430	1.425	1.424	1.427	0.21
MS-20/30	1.354	1.356	1.352	1.353	1.358	1.355	0.21
MS -30/40	1.342	1.339	1.345	1.340	1.339	1.341	0.29
MS -40/60	1.367	1.363	1.359	1.358	1.356	1.361	0.45
MS -20/60	1.381	1.380	1.377	1.376	1.376	1.378	0.21
MP-20/30	1.370	1.370	1.369	1.368	1.370	1.370	0.09
MP -30/40	1.363	1.369	1.368	1.368	1.367	1.367	0.27
MP -40/60	1.360	1.357	1.354	1.351	1.350	1.354	0.42
MP -20/60	1.360	1.360	1.360	1.357	1.356	1.359	0.19



รูปที่ 5 ปริมาตรหลุมที่หาโดยการใช้ทรายแทนที่เปรียบเทียบกับปริมาตรจริงของหลุม



รูปที่ 6 ความคลาดเคลื่อนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรหลุมที่หาโดยวิธีทรายแทนที่

เมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM D1556 คือ ทรายต้องมีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 2 มิลลิเมตร และมีขนาดที่เล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร ไม่เกินร้อยละ 3 และมีหน่วยน้ำหนักรวมจากการทดลองแต่ละรอบแตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 1 สามารถกล่าวได้ว่า ทรายทุกตัวอย่างมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด สามารถนำไปใช้หาปริมาตรหลุมได้ โดยที่ให้ความแม่นยำแตกต่างกันไป ข้อสรุปดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rashid [4] และ Mohsin [5] ซึ่งศึกษาการนำทรายในท้องถิ่นของประเทศไทยมาใช้ในการหาความหนาแน่นของดินในสนาม โดยได้สรุปว่า ทรายที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างตะแกรงเบอร์ 40 ทรายที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ค้างตะแกรงเบอร์ 50 และทรายที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างตะแกรงเบอร์ 50 มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM D1556 สามารถนำมาใช้ในการทดสอบหาความหนาแน่นดินในสนามได้

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าทรายแม่น้ำมูลและแม่น้ำชีที่มีการคัดขนาดในช่วงต่างๆ สามารถนำไปใช้ในการทดสอบความหนาแน่นของดินในสนามแทนทรายออกดิวา โดยมีความแม่นยำมากขึ้นแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม นอกจากชนิดของทรายแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการหาปริมาตรหลุม เช่น ความชื้นของดินในบริเวณที่ทดสอบ (บริเวณที่ขุดหลุม) รูปร่างและลักษณะของหลุม ตลอดจนระยะความสูงในการตกของทรายที่ต่างกันระหว่างขั้นตอนการหาหน่วยน้ำหนักกับขั้นตอนการหาปริมาตรหลุม ล้วนส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนทั้งสิ้น [6-7]

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้ทรายที่หาได้ในท้องถิ่นเพื่อหาปริมาณทรูลุม ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการหาความหนาแน่นของดินในสนาม โดยวิธีกรวยทราย โดยนำทรายแม่น้ำชีและทรายแม่น้ำมูลจากแหล่งต่างๆ จำนวน 4 แหล่ง คือ 1) ทรายแม่น้ำชี อ.เมือง จ.มหาสารคาม 2) ทรายแม่น้ำชี อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 3) ทรายแม่น้ำมูล อ.สตึก จ.บุรีรัมย์ และ 4) ทรายแม่น้ำมูล อ.โพนทราย จ.ร้อยเอ็ด มาแยกเป็น 4 ช่วงขนาดที่แตกต่างกัน รวมเป็นทรายแม่น้ำ 16 ตัวอย่าง แล้วนำไปหาปริมาณของหลุมจำลองที่ทราบปริมาตรโดยมีการเปรียบเทียบกับกรวยทรายออกตะกาว พบว่า ปริมาตรหลุมที่หาโดยใช้ตัวอย่างทรายทั้งหมดมีความคลาดเคลื่อนในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 2.51 โดยเมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM D1556 แล้ว พบว่า ตัวอย่างทรายทั้งหมดมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ ดังนั้น จึงสามารถนำมาใช้ในการหาปริมาณทรูลุมได้ทั้งหมด ทั้งนี้ ในแต่ละตัวอย่างจะให้ความแม่นยำที่แตกต่างกัน สำหรับทรายที่แนะนำให้ใช้สำหรับปริมาณทรูลุม 3 ลำดับแรกโดยพิจารณาจากความแม่นยำและความแน่นอนของผลการทดสอบในแต่ละรอบได้แก่ 1) ทรายแม่น้ำชี อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างตะแกรงเบอร์ 60 2) ทรายแม่น้ำมูล อ.โพนทราย จ.ร้อยเอ็ด ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 40 และค้างตะแกรงเบอร์ 60 และ 3) ทรายแม่น้ำมูล อ.โพนทราย จ.ร้อยเอ็ด ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และค้างตะแกรงเบอร์ 40 จากงานวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกทรายแม่น้ำที่หาได้ในท้องถิ่น มาใช้ในการทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนามได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Society for Testing and Materials. ASTM D1556/D1556M-15: 2016. *Standard test method for density and unit weight of soil in place by sand-cone method*. American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, 2016.
- [2] กรมทางหลวง. ทล.-ท. 603/2517: 2517. *วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย*. สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง กรุงเทพฯ: มปท., 2517.
- [3] ประกอบเกียรติ ปรณัณเณสิริ. *การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความหนาแน่นของดินในสนามโดยใช้ทราย Ottawa และทรายมาตรฐานที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ*. โครงการปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, 2545.
- [4] Mamunur Rashid A.B.M. *Determination of In-situ Soil Density by Sand Cone Method using Locally Available Sands*. M.Eng. Thesis, Khulna University of Engineering & Technology, 2005.
- [5] Mohsin, S.M. *Determination of In-situ Soil Density using Local Sands*. M.Eng. Thesis, Bangladesh University of Engineering and Technology, 1994.
- [6] Park, S.-S. Evaluation of The Sand-cone Method for Determination of the In-situ Density of Soil. *Geotechnique*, 2010, 60(9), pp. 707-707.
- [7] Park, S.-S. et al. Effect of Wetting Conditions on the In Situ Density of Soil Using the Sand-Cone Method. *Applied Sciences*, 2021, 11(2), pp. 718-727. <https://doi.org/10.3390/app11020718>.