



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

คุณสมบัติการบดอัดของดินที่มีอนุภาคใหญ่ปน

Compaction characteristics of soil with oversize particles

สยาม ยิ้มศิริ

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล

(งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2561A10802150

สัญญาเลขที่ 48/2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

คุณสมบัติการบดอัดของดินที่มีอนุภาคใหญ่ปน

Compaction characteristics of soil with oversize particles

สยาม ยิ้มศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มิถุนายน 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 48/2561 ขอขอบพระคุณ นพณัฐ อินธิศร และ นฤพนธ์ มะลิทอง ที่ช่วยในการดำเนินงานวิจัยนี้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดและค่าความชื้นเหมาะสมที่จะใช้ในการควบคุมคุณภาพการก่อสร้างของดินที่มีอนุภาคใหญ่จากข้อกำหนดในมาตรฐานต่างๆ (ทั้งวิธีการคัดอนุภาคใหญ่ทิ้งและวิธีปรับแก้การมีอนุภาคใหญ่) โดยพิจารณาว่าอนุภาคใหญ่คืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรง 4.75 มม (#4) และทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดและค่าความชื้นเหมาะสมที่ได้สำหรับดินที่มีปริมาณอนุภาคใหญ่ 10-100% ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะช่วยให้การดำเนินการก่อสร้างงานคันดินมีความเข้าใจตรงกันและปัญหาการโต้แย้งในการก่อสร้างระหว่างผู้เกี่ยวข้องต่างๆ

ABSTRACT

This research investigates maximum dry unit weight and optimum moisture content for use in construction supervision of soil with oversize particles (both from discard method and correction method). The oversize particles are those that are bigger than 4.75 mm diameter (sieve #4). The study investigates effects of oversize particle contents 0-100%. The results from this study should help consistent understanding of construction supervision of compaction of soil which has oversize particles.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
สารบัญ	iii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1-1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-1
1.5 โครงร่างของรายงานฉบับสมบูรณ์	1-2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีการบดอัดดิน	2-1
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-6
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	
3.1 มาตรฐานการทดสอบ	3-1
3.2 แผนการทดลอง	3-1
3.3 วิธีการทดลอง	3-1
3.4 การเตรียมตัวอย่างดิน	3-2
3.5 สถานที่ทำการทดลอง	3-2
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการทดสอบ	4-1
4.2 ผลทดสอบการบดอัด	4-3
4.3 ผลการศึกษาเนื่องจากขนาดของแบบ	4-7
4.3.1 ตัวอย่างที่ 1	4-7
4.3.2 ตัวอย่างที่ 2	4-7
4.3.3 ตัวอย่างที่ 3	4-7
4.4 ผลการศึกษาเนื่องจากปริมาณกรวด	4-7
4.4.1 ตัวอย่างที่ 1	4-7

4.4.2 ตัวอย่างที่ 2	4-8
4.4.3 ตัวอย่างที่ 3	4-8
4.5 ผลการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)	4-8
4.6 การคำนวณ	4-13

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง	R-1
---------------	-----

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การบดอัดดินเป็นวิธีพื้นฐานการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งการบดอัดที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะถูกนำมาใช้ในการกำหนดและควบคุมคุณภาพในงานก่อสร้างโครงสร้างดิน จำเป็นต้องนำดินจากแหล่งดินที่เลือกแล้วมาทำการทดสอบ งานบดอัดดินจะให้ความสนใจกับความหนาแน่นแห้ง และความชื้นในการบดอัดดิน ทั้งนี้วิศวกรก็จะทราบได้ว่า หากความหนาแน่นแห้งเพิ่มขึ้นกำลังรับน้ำหนักดินก็จะสูงขึ้น และการซึมผ่านก็จะลดลง คุณสมบัติที่กล่าวนอกจากจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัด แล้วยังขึ้นอยู่กับความชื้นของดินด้วย เช่น บดอัดด้วยความชื้นน้อยกว่าความชื้นที่เหมาะสม จะทำให้กำลังของดินที่บดอัดมีสูง ในขณะที่การบดอัดที่ความชื้นมากกว่าความชื้นที่เหมาะสม จะให้คุณสมบัติที่บดอัดที่ต่ำกว่า เป็นต้น ทั้งนี้เป็นเพราะที่ความชื้นในการบดอัดต่างกันจะทำให้เกิดโครงสร้างการจัดเรียงดินที่แตกต่างกัน การศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการบดอัดของดินในห้องทดลองมีด้วยกัน 2 วิธีคือ (i) Standard Compaction Test และ (ii) Modified Compaction Test ซึ่งการที่จะใช้การทดลองโดยวิธีใดก็ตามก็ต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการทดลองซึ่งผลที่ได้จากการทดลองทั้งสองจะได้ค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากการถ่ายพลังงานลงสู่ดินนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละวิธี แต่อย่างไรก็ตามเราก็จะได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการที่จะทำให้ดินนั้นมีค่าความหนาแน่นสูงสุดทั้งสองวิธี

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้สามารถแบ่งเป็นข้อๆดังนี้

- เพื่อศึกษาอิทธิพลของแบบที่มีผลต่อการบดอัด
- เพื่อศึกษาปริมาณของกรวดที่มีผลกระทบต่อกรวดบดอัด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยเป็นดังนี้

- ศึกษาขนาดของแบบ 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ที่มีผลต่อการบดอัด
- ศึกษาอิทธิพลของกรวดที่มีผลกระทบต่อกรวดบดอัด โดยใช้กรวดที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ผสมในดินที่ อัตราส่วน 18 29 และ 37 เปอร์เซ็นต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากผลการศึกษานี้คือ

- สามารถอธิบายอิทธิพลของขนาดของแบบบดอัดต่อผลการทดสอบบดอัดดิน
- สามารถอธิบายอิทธิพลของกรวดต่อผลการทดสอบบดอัด

1.5 โครงร่างของรายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานฉบับสมบูรณ์นี้มีทั้งสิ้น 5 บท โดยในบทที่ 1 จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหาวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และขอบเขตรวมทั้งประโยชน์ที่จะได้รับ โดยได้ทำการเรียบเรียงบทสรุปของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้ในบทที่ 2 สำหรับบทที่ 3 จะเป็นการศึกษาวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในบทที่ 4 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของกรวดต่อผลการทดสอบบดอัดดินตามมาตรฐานปนกรวด และในบทที่ 5 จะเป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะของการวิจัยต่อเนื่อง

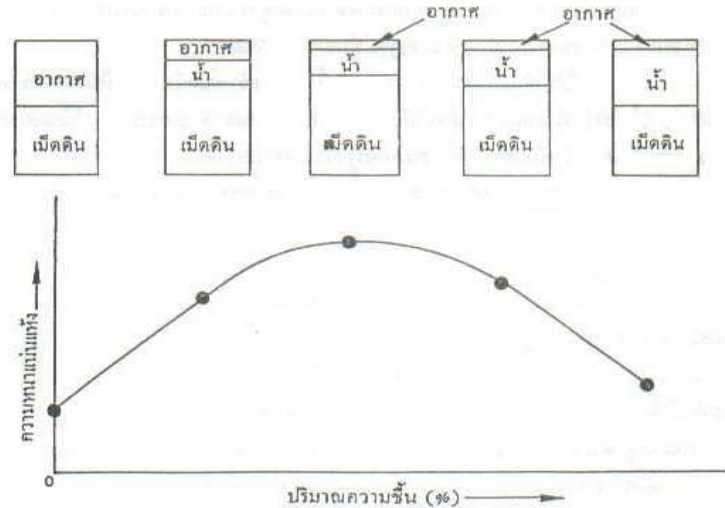
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการบดอัดดิน

การนำดินมาใช้ในการก่อสร้างนั้น จำเป็นที่จะต้องทราบถึงวิธีการในทางปฏิบัติ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะทำให้ดินที่มีอยู่ในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง หรือดินที่นำมาจากที่อื่นเพื่อใช้ในการก่อสร้าง มีความมั่นคง และความสามารถในการรับน้ำหนัก เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการก่อสร้างนั้นๆ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด คือ การสร้างถนน และทางหลวง ซึ่งมีดินเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่สำคัญ Design Load ที่วิศวกรคำนวณไว้ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Live Load อันเนื่องมาจากการใช้งานบนถนน ดินที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง หรือดินที่มีอยู่ในบริเวณก่อสร้างตามธรรมชาติ จะต้องได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อให้มีความสามารถทนทานต่อ Design Load ที่ได้คำนวณไว้ โดยไม่ให้เกิดความเสียหายต่อผิวจราจร หรือยานพาหนะที่ใช้ถนนนั้นๆ

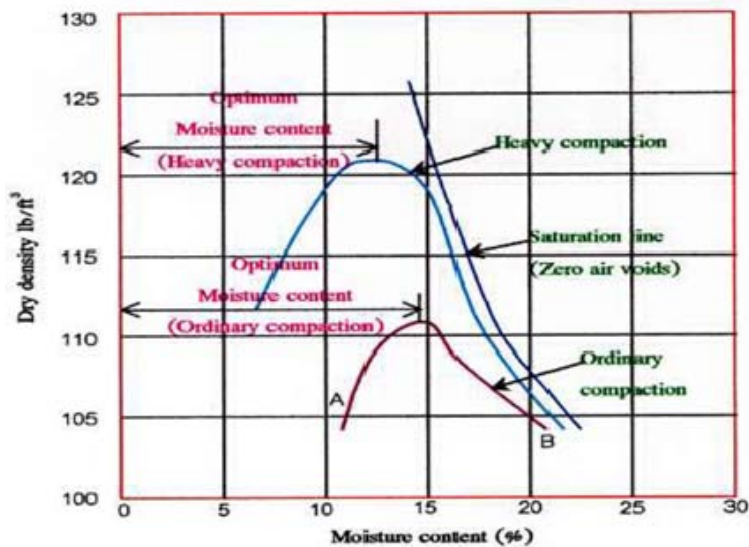
การปรับปรุงความมั่นคง หรือเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของดินดังกล่าว เรียกโดยทั่วไปว่า Soil Stabilization ซึ่งรวมถึงการบดอัดดินให้แน่น (Soil Compaction) ข้อกำหนดของการบดอัดจะวัดเป็นความแน่นแห้งของดิน ค่าคาบคมาของดินจะแปรไปตามชนิดของดินที่จะทำการบดอัด ตัวอย่างเช่น อาจบดอัดดินเหนียวตั้งหลายครั้ง แต่ก็ยังได้ความแน่นแห้งไม่ถึง 2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ดินเม็ดหยาบอาจจะมีค่าของความแน่นแห้งสูงกว่าค่านี้โดยไม่ต้องบดอัดมากนัก ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดินแต่ละชนิด

การบดอัด เป็นกระบวนการที่ใช้แรง หรือน้ำหนัก หรือพลังงานจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกันเพื่อเพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว ลดการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ รถบดชนิดสันสะเทือน เป็นต้น การจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดินหรือวัสดุที่จะบดอัดการบดอัดให้ได้ความแน่น (Density) ตามความต้องการของการใช้งานจะต้องอาศัยน้ำ เนื่องจากน้ำที่อยู่โดยรอบเม็ดดินจะทำให้เม็ดดินมีการเคลื่อนตัวเข้ามาชิดกันได้ มีโครงสร้างที่มีความแน่นขึ้น อากาศจะถูกขับออกจากดินทำให้ช่องว่างในดินลดลง ดังนั้นดินที่มีปริมาณความชื้นมากขึ้นก็จะได้ค่าความแน่นแห้งสูงขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งอากาศในดินส่วนมากได้ถูกขับออกมาแล้ว และทำให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) โดยปริมาณความชื้นที่ทำให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุดนี้ เรียกว่า Optimum Moisture Content หากเติมน้ำเข้าไปในดินอีกก็จะทำให้ค่าความแน่นแห้งต่ำลงได้ ทั้งนี้เพราะน้ำส่วนที่เติมเข้าไปจะไปแทนที่บางส่วนของอนุภาคดิน ทำให้เม็ดดินเลื่อนห่างจากกัน



รูปที่ 2-1 ความเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นแห้งต่อปริมาณความชื้น

นอกจากความชื้นซึ่งมีผลโดยตรงในกระบวนการบดอัดดังกล่าวแล้ว ในการก่อสร้างนั้น พลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็เป็นตัวแปรที่สำคัญที่จะทำให้การบดอัดได้ความแน่นเพิ่มขึ้น โดยพลังงานที่ใช้ในการบดอัดที่สูงกว่า สามารถบดอัดให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุดที่ความชื้นในการบดอัดที่ต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2-2

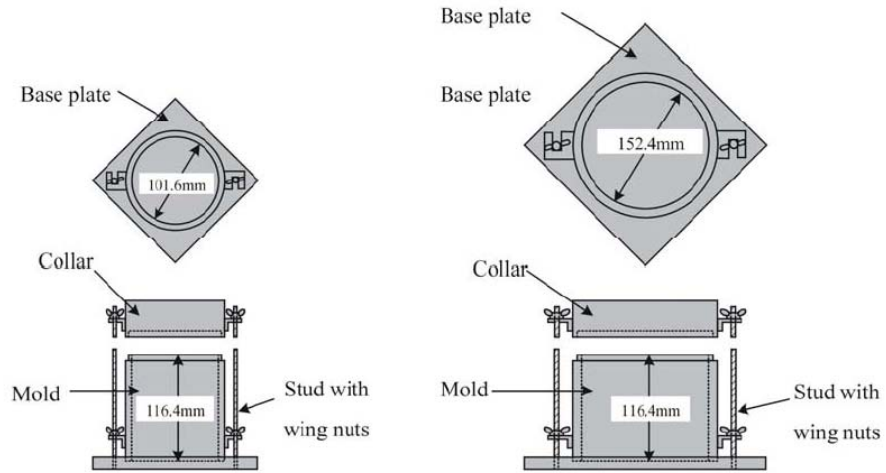


รูปที่ 2-2 ผลของพลังงานที่ใช้ในการบดอัดที่มีต่อความแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้น

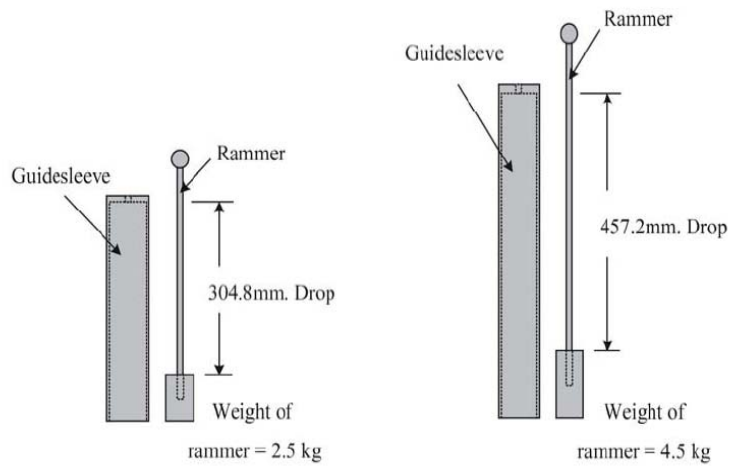
ด้วยเหตุผลและข้อเท็จจริงดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความแน่นของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมการก่อสร้างถนน ในปัจจุบันยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้มีวิวัฒนาการให้มีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว จึงได้มีการกำหนด

วิธีการทดสอบการบดอัดโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น เพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มากขึ้น เรียกว่า วิธีการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ในการทำการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะใช้เป็นมาตรฐาน ในการควบคุมการบดอัดในสนามต่อไป

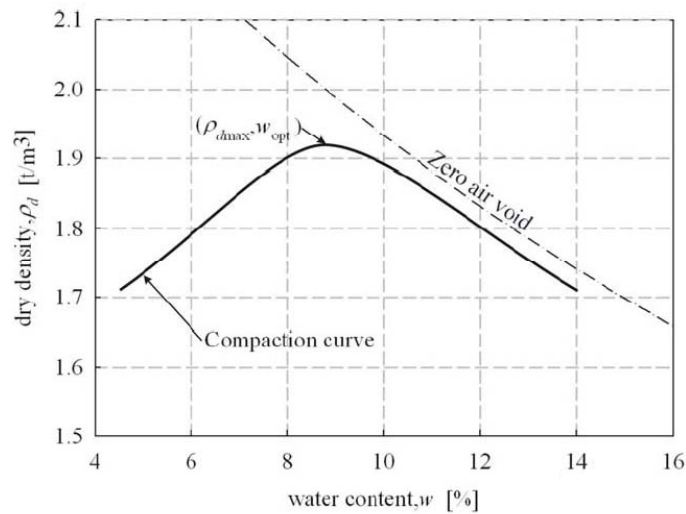
โดยแบ่งเป็นการทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ (AASHTO T 99-01(2004) และการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานพล็อกเตอร์ (AASHTO T 180-01(2004)) การบดอัดทั้งสองประเภทจะทำการบดอัดดินลงในแบบทรงกระบอก (Mold) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร หรือแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตรโดยแบบทั้งสองมีความสูง 116.4 มิลลิเมตร ในการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์แบบบดอัดจะถูกประกอบเข้ากับแผ่นฐาน (Base plate) และปลอก (Collar) สำหรับการทดสอบในแบบบดอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร ใช้ตัวอย่างดินประมาณ 4 กิโลกรัม และนำไปผสมกับน้ำที่ความชื้นต่าง ๆ แล้วจึงทำการบดอัดด้วยค้อนมาตรฐานซึ่งมีน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม (5.5 ปอนด์) และมีระยะตกอิสระของค้อน 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) ในการบดอัดจะทำการบดอัดดินเป็นจำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง เมื่อบดอัดครบจนครบทุกชั้นแล้วจะถอดปลอกออกจากแบบบดอัด แล้วใช้บรรทัดเหล็กปาดส่วนที่สูงเกินปากแบบบดอัดออก และถอดแต่งผิวให้เรียบเสมอปากแบบบดอัด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่นรวม จากนั้นดินตัวอย่างออกจากแบบบดอัดแล้วผ่ากลางตามแนวตั้งและเก็บตัวอย่างดินตามแนวผ่านนี้ประมาณ 100 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและเข้าอบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อหาความชื้นบดอัดในดิน และสำหรับการทดสอบการบดอัดในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร จะมีขั้นตอนการทดสอบการบดอัดเช่นเดียวกัน และดินจะถูกบดอัดด้วยค้อนมาตรฐานขนาดเดียวกันกับการทดสอบการบดอัดในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตรแต่จะใช้ดินตัวอย่างประมาณ 6 กิโลกรัม โดยจะทำการบดอัดดินเป็นจำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง ในการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานพล็อกเตอร์ ดินจะถูกบดอัดตามขั้นตอนเช่นเดียวกับการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ และทำการทดสอบการบดอัดดินในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร หรือแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตรเช่นเดียวกันแต่จะทำการบดอัดดินด้วยค้อนมาตรฐานที่มีน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม (10 ปอนด์) และมีระยะตกอิสระของค้อน 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) สำหรับการทดสอบในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร จะทำการบดอัดดินเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง และสำหรับการทดสอบการบดอัดในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร ดินจะถูกบดอัดด้วยค้อนมาตรฐานขนาดเดียวกันกับการทดสอบการบดอัดในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร โดยจะทำการบดอัดดินเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง โดยผลทดสอบการบดอัดจะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (Dry density) และความชื้นในดิน (Water content)



รูปที่ 2-3 ชุดทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (AASHTO T 99) และสูงกว่ามาตรฐาน (AASHTO T180)

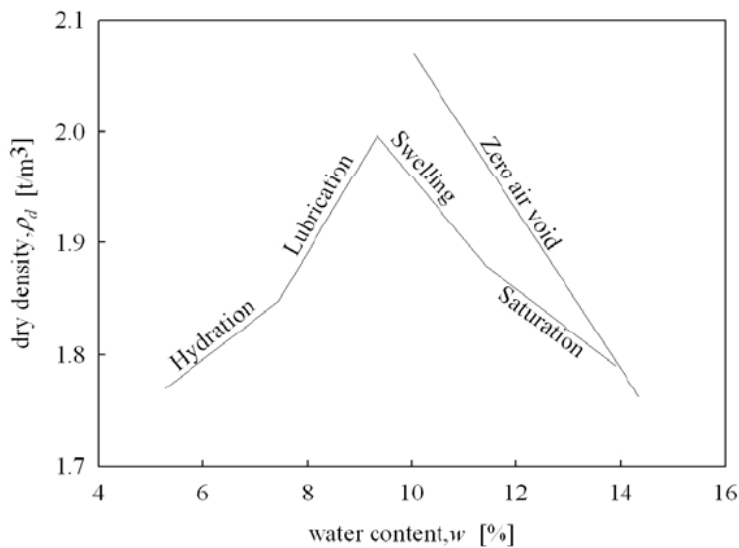


รูปที่ 2-4 ค้อนบดอัด



รูปที่ 2-5 เส้นโค้งการบดอัด

Proctor (1933) ; Hogentogler (1936); Hilf (1956); Olson (1963) ได้พยายามอธิบายการที่เส้นโค้งบดอัด (Compaction curve) แสดงลักษณะที่ความหนาแน่นแห้งเพิ่มขึ้นตามความชื้นที่เพิ่มขึ้นแล้วกลับลดลงเมื่อความชื้นถึงระดับหนึ่ง เช่นที่แสดงดังรูปที่ 2-6 สามารถสรุปได้ว่าสาเหตุดังกล่าวเกิดจากพฤติกรรมที่ค่อนข้างซับซ้อนทั้งจากความดันคาพิลลารี (Capillary pressure) หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress) ความซึมผ่านได้ (Permeability) ความดันของของไหลในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore pressure) ซึ่งในปี 1936 Proctor สรุปว่าความชื้นในดินเกี่ยวข้องกับความดันคาพิลลารี เป็นเหตุให้ดินที่บดอัดทางด้านแห้งมีกำลังสูงกว่าดินที่บดอัดทางด้านเปียกในปี 1956 Hogentogler ได้แบ่งเส้นโค้งการบดอัดเป็นสี่ช่วงแสดงดังรูปที่ 2-6 คือ (1) Hydration เป็นช่วงที่น้ำถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อดินและบางส่วนเกาะเป็นฟิล์มบางๆระหว่างเม็ดดินซึ่งทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันระหว่างเม็ดดิน (2) Lubrication การเพิ่มน้ำในดินในช่วงนี้เป็นการเพิ่มความหนาฟิล์มของน้ำที่เกาะระหว่างเม็ดดิน ทำให้น้ำไปทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวหล่อลื่นช่วยให้เม็ดดินสามารถจัดเรียงตัวได้แน่นขึ้น (3) Swelling เป็นช่วงที่ Hogentogler เชื่อว่าเมื่อเลยค่าสูงสุดของช่วง Lubrication แล้วการเพิ่มน้ำจะไม่ช่วยลดปริมาตรของช่องว่างอากาศในเนื้อดิน (4) Saturation ซึ่ง Hogentogler อธิบายว่าเป็นช่วงที่โพรงอากาศถูกแทนที่ด้วยน้ำทั้งหมดดังนั้นเส้นโค้งการบดอัดจึงวิ่งเข้าสู่เส้นโพรงอากาศเป็นศูนย์ ทั้งนี้ยังมีงานวิจัยที่พยายามอธิบายลักษณะของเส้นโค้งการบดอัดเช่น Hilf (1956) ใช้ทฤษฎีของความดันน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินของดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในการอธิบายเส้นโค้งการบดอัด และ Olson (1963) ใช้แนวคิดของหน่วยแรงประสิทธิผลในการอธิบายเส้นโค้งการบดอัด เป็นต้น



รูปที่ 2-6 เส้นโค้งการบดอัด Hogentogler (1956)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากข้อกำหนดตามมาตรฐานการทดสอบบดอัดชี้ให้เห็นว่ากรวดมีผลต่อการทดสอบบดอัดดิน Donaghe and Torrey (1994) พบว่า อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบบดอัดดินและขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินที่เหมาะสมจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 5 ถึง 6 เท่า ขณะที่ Garga and

Madureira (1985) ได้ทำการทดสอบบดอัดดินกรวดแม่น้ำ (River Terrace Gravel) พบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจะมีค่ามากที่สุดเมื่ออัตราส่วนระหว่างขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบบดอัดและขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินเพิ่มขึ้นถึง 8 เท่า นอกจากนี้ Garga and Madureira (1985) ยังพบว่ากรวดจะเริ่มมีอิทธิพลต่อการบดอัดดิน

เมื่อดินตัวอย่างมีกรวดผสมในปริมาณ 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดย Garga and Madureira (1985) อธิบายอิทธิพลของกรวดต่อผลการทดสอบบดอัดว่าเป็นเพราะพลังงานบดอัดที่ถ่ายทอดไปสู่ส่วนละเอียด (Transmitted compaction energy) จะมีค่าลดลงเนื่องจากการขัดกันเองของกรวด ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวได้สอดคล้องกับ Holtz and Lowitz (1957); Johns (1954) ขณะที่ผลการศึกษาของ Donaghe and Townsend (1976) พบว่า กรวดจะเริ่มขัดกันเมื่อดินมีปริมาณกรวดเพิ่มขึ้นถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และ Winter et al. (1998) พบว่าถ้าดินตัวอย่างมีกรวดขนาดใหญ่กว่า 20 มิลลิเมตร ปนอยู่ในปริมาณมากกว่า 45 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ กรวดจะเป็นตัวควบคุมพฤติกรรมกรวดอัดของดิน ถึงแม้งานวิจัยหลายชิ้นได้แสดงให้เห็นว่ากรวดมีอิทธิพลต่อผลทดสอบการบดอัดดินปนกรวดและส่งผลให้พลังงานบดอัดที่ถ่ายทอดสู่ส่วนละเอียดมีค่าลดลง แต่ก็ไม่มีการวิจัยชิ้นใดที่ทำการศึกษากการถ่ายทอดพลังงานการบดอัดไปสู่ส่วนละเอียดในการทดสอบบดอัดดินปนกรวดอย่างจริงจัง

มีงานวิจัยหลายชิ้นชี้ให้เห็นความสำคัญของคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบดอัดแน่นและผลจากการบดอัดที่มีต่อคุณสมบัติของดิน (Turnbull and Foster 1956, Seed and Chan 1959, Mitchell et al. 1965) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังของวัสดุ ความแน่นแห้ง และปริมาณความชื้นสำหรับดินบดอัดแน่นที่พลังงานบดอัดต่างๆ (Seed and Chan 1959) ความแข็งแรงของดินจะลดลงเมื่อปริมาณความชื้นในดินมากกว่าปริมาณความชื้นที่ให้ค่าความแน่นแห้งสูงสุด เพื่อไม่ให้เกิดความสับสน ผู้เขียนขอเรียกปริมาณความชื้นดังกล่าวว่า ปริมาณความชื้นที่ Optimum สัมพันธ์ของค่า CBR ความแน่นแห้ง และปริมาณความชื้นของดินบดอัดแน่นที่พลังงานบดอัดต่างๆ (Turnbull and Foster 1956) ค่า CBR ลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นสำหรับพลังงานที่ใช้ในการบดอัดทุกๆกรณีที่พิจารณา นอกจากนี้ยังพบว่าค่า CBR ของดินบดอัดแน่นที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่าปริมาณความชื้นที่ Optimum จะมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงของดินบดอัดแน่นที่ปริมาณความชื้นที่ Optimum และดินที่ได้รับพลังงานในการบดอัดมากจะมีความแข็งแรงมากกว่าดินที่ได้รับพลังงานในการบดอัดน้อย Mitchell et al. (1965) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมของน้ำ ปริมาณความชื้น และพลังงานที่ใช้ในการบดอัดการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเมื่อปริมาณความชื้นมีค่าเกินกว่าปริมาณความชื้นที่ Optimum หรือพลังงานที่ใช้ในการบดอัดนั้นเพิ่มขึ้น ค่าการซึมของน้ำจะลดลงนอกจากนี้ค่าการซึมของน้ำจะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อปริมาณความชื้นมีค่ามากกว่าปริมาณความชื้นที่ Optimum ประมาณ 2-4%

Ooi and Pu (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของปริมาณความชื้น ความแน่นแห้ง ความอึดตัวด้วยน้ำ และพลังงานที่ใช้ในการบดอัดที่มีต่อค่า Stiffness ของดิน ค่า Stiffness ถูกวัดด้วยเครื่อง Soil Stiffness Gauge หรือ Geogauge ค่า Stiffness จะสูงสุดที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่าปริมาณความชื้นที่ optimum เพียงเล็กน้อย และจะลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น Ooi and Pu (2003) ยังสรุปด้วยว่าค่า Stiffness นั้นไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแน่นแห้ง Sawangsurinya (2006) ศึกษาความสัมพันธ์แบบทั่วไประหว่าง

อัตราส่วนของค่าโมดูลัส อัตราส่วนของค่าความแน่นแห้ง และอัตราส่วนของค่าปริมาณความชื้นของดินบดอัดแน่นซึ่งได้จากผลการทดลองในห้องทดลองและผลการทดสอบในสนามจากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวพิจารณาทั้งชนิดหรือประเภทของดินและพลังงานที่ใช้ในการบดอัดต่างๆ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของค่าโมดูลัสของดินที่ถูกบดอัดแน่นที่ Wet of optimum จะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของอัตราส่วนของค่าโมดูลัสของดินที่ถูกบดอัดแน่นที่ Optimum ด้วยวิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน อัตราส่วนของค่าโมดูลัสของดินที่ถูกบดอัดแน่นที่ Dry of optimum จะเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่าของอัตราส่วนของค่าโมดูลัสของดินที่ถูกบดอัดแน่นที่ Optimum ด้วยวิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม โมดูลัสของดินบดอัดแน่นจะลดลงเมื่อปริมาณความชื้นน้อยมาก (ต่ำกว่า 0.6 ของค่าปริมาณความชื้นที่ Optimum ด้วยวิธีการบดอัดแบบมาตรฐานข้อมูลจะค่อนข้างกระจายในช่วงที่มีปริมาณความชื้นน้อยมาก ซึ่งอาจอธิบายได้จากค่าแรงดูดในมวลดิน (Suction) และลักษณะการเรียงตัวของเม็ดดิน (Soil fabric หรือ Soil structure) โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินเหนียวซึ่งลักษณะการวางตัวของเม็ดดินนั้นจะมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติเชิงกลของดิน (Edil 1973) ค่าโมดูลัสของดินบดอัดแน่นที่ 2% Dry of optimum จะเพิ่มขึ้นประมาณ 40-70% ของค่าโมดูลัสที่วัดได้ที่ปริมาณความชื้นที่ Optimum ในทางตรงกันข้าม ค่าโมดูลัสของดินบดอัดแน่นที่ 4% Wet of optimum จะลดลงประมาณ 50-90% ของค่าโมดูลัสที่วัดได้ที่ปริมาณความชื้นที่ Optimum

Lambe (1958) ศึกษาผลของการบดอัดที่มีต่อโครงสร้างและลักษณะการเรียงตัวของเม็ดดินของดินเหนียว การเรียงตัวของเม็ดดินที่ถูกบดอัดแน่นที่ Dry of optimum จะมีลักษณะกระจาย (Random orientation) หรือมีโครงสร้างแบบ Flocculate โดยการเรียงตัวของเม็ดดินนั้นระเกะระกะและเม็ดดินมีการสัมผัสกันมากกว่า ในขณะที่การเรียงตัวของเม็ดดินที่ถูกบดอัดแน่นที่ Wet of optimum จะมีลักษณะขนานกัน (Parallel orientation) หรือมีโครงสร้างแบบ Disperse โดยเม็ดดินซึ่งมีรูปร่างเป็นแผ่นบาง เรียงตัวในลักษณะเป็นชั้นๆ โดยด้านยาวของเม็ดดินจะเรียงกันในสภาพเกือบขนานกัน มีนอกจากนี้ Sawangsuriya (2006) พบว่าค่าแรงดูดในมวลดินมีผลอย่างมากต่อค่าโมดูลัสของดินและค่าโมดูลัสของดินที่มีปริมาณความชื้นน้อยจะสูงกว่าค่าโมดูลัสของดินที่มีปริมาณความชื้นมาก ค่าแรงดูดในมวลดินนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ดินที่มีปริมาณความชื้นน้อยจะมีค่าแรงดูดในมวลดินสูงกว่าดินที่มีปริมาณความชื้นมากซึ่งสามารถอธิบายได้จากพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดดิน พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดดินนั้นเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของน้ำต่ออากาศภายในโพรงอากาศของมวลดิน ดินที่มีปริมาณความชื้นน้อยจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดดินมากกว่าดินที่มีปริมาณความชื้นมาก

นายเอกชัย ม่านโคกสูง อิทธิพลของขนาดแบบบดอัดและปริมาณกรวดต่อผลการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการพบว่า การบดอัดดินเมื่อมีปริมาณกรวดเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้ง จะเพิ่มขึ้นและค่าความชื้นที่เหมาะสม จะลดลงในการบดอัดดินที่มีปริมาณกรวดไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถบดอัดได้ดีโดยไม่มีผลกระทบจากปริมาณกรวด เมื่อปริมาณกรวดเพิ่มขึ้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ กรวดจะขัดขวางการบดอัด ซึ่งจากการศึกษาอิทธิพลของกรวดต่อผลการทดสอบบดอัด พลังงานบดอัดสามารถถ่ายทอดไปสู่ส่วนละเอียดได้ดีในการบดอัดดินที่มีปริมาณกรวดผสมอยู่ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณกรวดเพิ่มขึ้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ถ่ายทอดไปสู่ส่วนละเอียดจะมีค่าลดลงตามปริมาณกรวดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการบดอัด

ดินที่มีปริมาณกรวดผสมมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ เม็ดกรวดจะขัดกันทำให้ขัดขวางการเรียงตัวของเม็ดดินและกรวดยังดูดซับพลังงานบดอัดที่ถ่ายทอดไปสู่ส่วนละเอียด ทำให้ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดคัดกรวดมีค่าลดลงและความชื้นของดินบดอัดคัดกรวดมีค่าเพิ่มขึ้น

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้มีดังนี้

- การทดสอบการบดอัดดินอ้างอิงจากมาตรฐาน AASHTO T99, AASHTO T180
- การทดสอบ CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) อ้างอิงจากมาตรฐาน AASHTO T 193-81
- การแก้ไข Oversize อ้างอิงจากมาตรฐาน AASHTO T 224
- การจำแนกดินตามระบบ USCS

3.2 แผนการทดลอง

มีตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบ 3 ชนิด

- ดิน SM 75% กับ ดิน GW 25% ซึ่งมีกรวดขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 เท่ากับ 18%
- ดิน SM 60% กับ ดิน GW 40% ซึ่งมีกรวดขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 เท่ากับ 29%
- ดิน SM 50% กับ ดิน GW 50% ซึ่งกรวดขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 เท่ากับ 37%

การทดลองจะมี 4 วิธี

- วิธีการทดลอง A ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)
- วิธีการทดลอง B ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)
- วิธีการทดลอง C ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)
- วิธีการทดลอง D ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)

3.3 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองมีดังนี้

- ทำการบดอัดดินตามวิธี โดยวิธีการทดลอง A และ B จะเป็นการคัดกรวดที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 ทิ้งไป แล้วนำกรวดที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 มาแทนที่
- ทำการบดอัดดินตามวิธี โดยวิธีการทดลอง C และ D จะไม่คัดกรวดทิ้งแล้วทำการทดสอบการบดอัดได้เลย
- ทำการทดสอบการบดอัดดินทุกตัวอย่างดินทั้ง พลังงานมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน
- นำค่า Optimum moisture ที่ได้จากการทดสอบการบดอัดในวิธี B และ D ไปใช้ในการทดสอบ CBR
- การทดสอบ CBR จะทดสอบทั้งแบบแช่น้ำ (Soak) และแบบไม่แช่น้ำ (Unsoak) ในพลังงานมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน
- เมื่อทำการทดสอบ CBR ก็จะต้องคัด ส่วนหยาบและส่วนละเอียดเพื่อนำไปหา Optimum moisture ของทั้งสองส่วน เพื่อนำไปคำนวณแก้ไข AASHTO T 224

3.4 การเตรียมตัวอย่างดิน

การเตรียมตัวอย่างดินมีดังนี้

- คัดรูปร่างของดินด้วยตา
- นำดินที่คัดรูปร่างมาแล้วทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4", 3/8", 4#, 8#, 16#, 40#, 100# และ 200# นำดินที่ค้างตะแกรงแต่ละเบอร์เก็บไว้เพื่อใช้ผสมเตรียมตัวอย่างดินอีกครั้งหนึ่ง
- นำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงในข้อ 2 มาเตรียมตามการจำแนกดินในระบบ Unified Soil Classification
- นำดินที่เตรียมได้ทำให้มีสภาพแห้งในอากาศเพื่อจำลองสภาพให้เหมือนการบดอัดในสนาม
- การบดอัดดินแต่ละครั้งจะต้องคลุกเคล้าดินกับน้ำให้เข้ากันดีแล้วนำไปใช้ในการทดสอบต่อไป

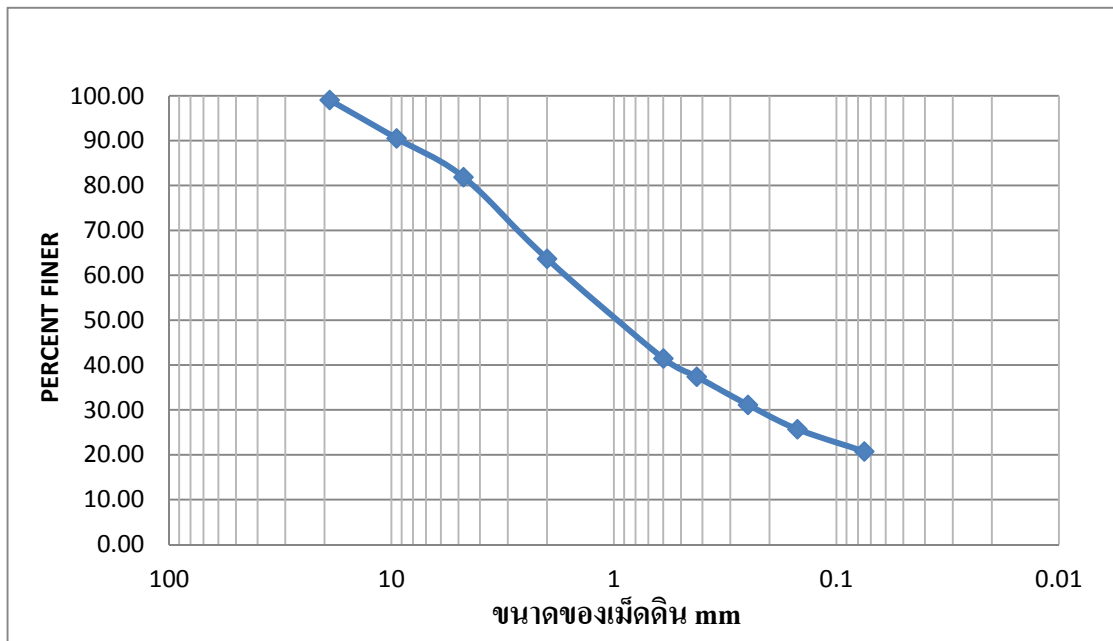
3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

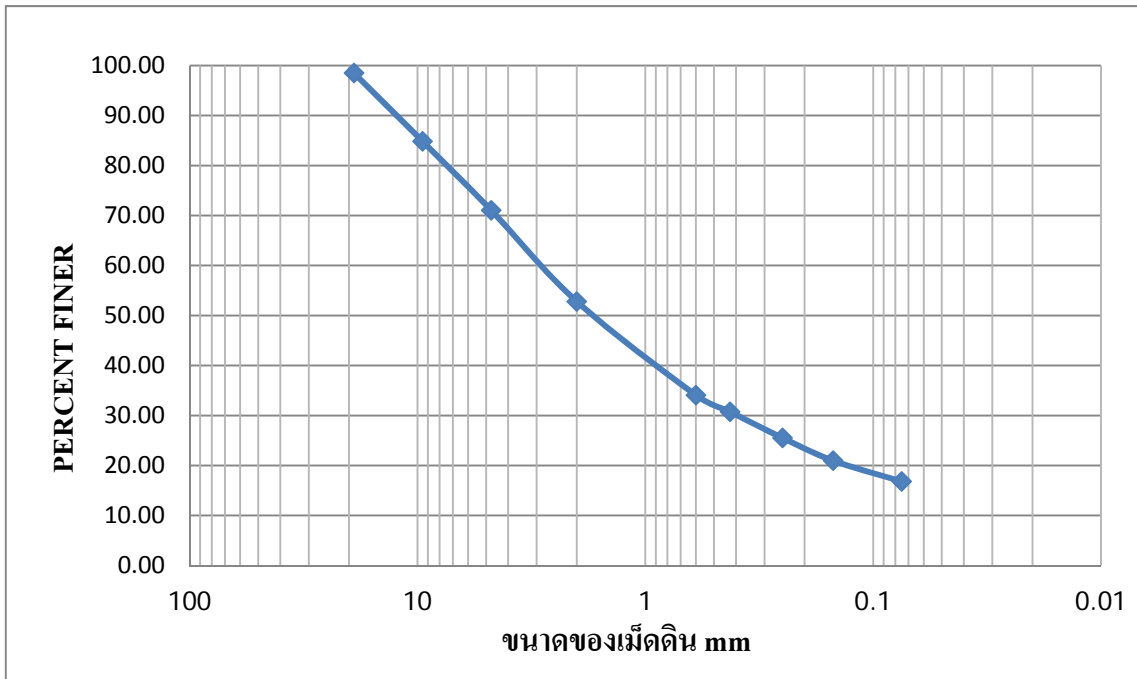
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการทดสอบ

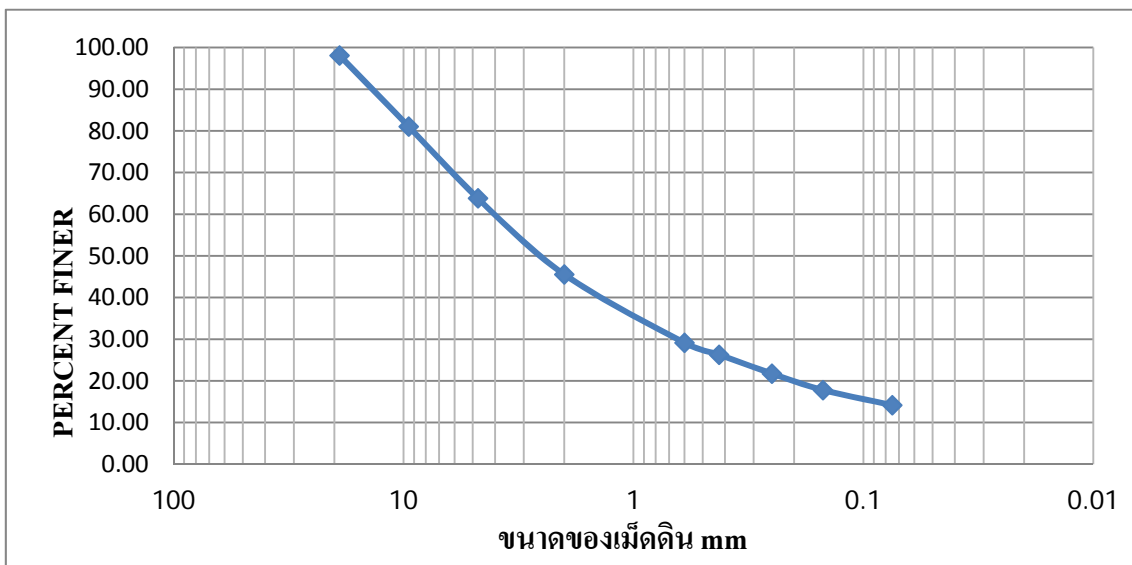
ดินที่ใช้ในการทดสอบสามารถจำแนกกลุ่มสัญลักษณ์ตามมาตรฐาน USCS จัดได้เป็น ชนิดที่ 1 เป็น SM และชนิดที่ 2 เป็น GW ซึ่งนำดินทั้ง 2 ชนิดมาผสมกันเพื่อให้มีปริมาณกรวดดังนี้ ตัวอย่างที่ 1 มีกรวดผสมอยู่ 18% ตัวอย่างที่ 2 มีกรวดผสมอยู่ 29% และตัวอย่างที่ 3 มีกรวดผสมอยู่ 37% มีการกระจายตัวของขนาดคละดังรูปที่ 4-1, 4-2, และ 4-3 ตามลำดับ



รูปที่ 4-1 ผลขนาดคละของตัวอย่างที่ 1



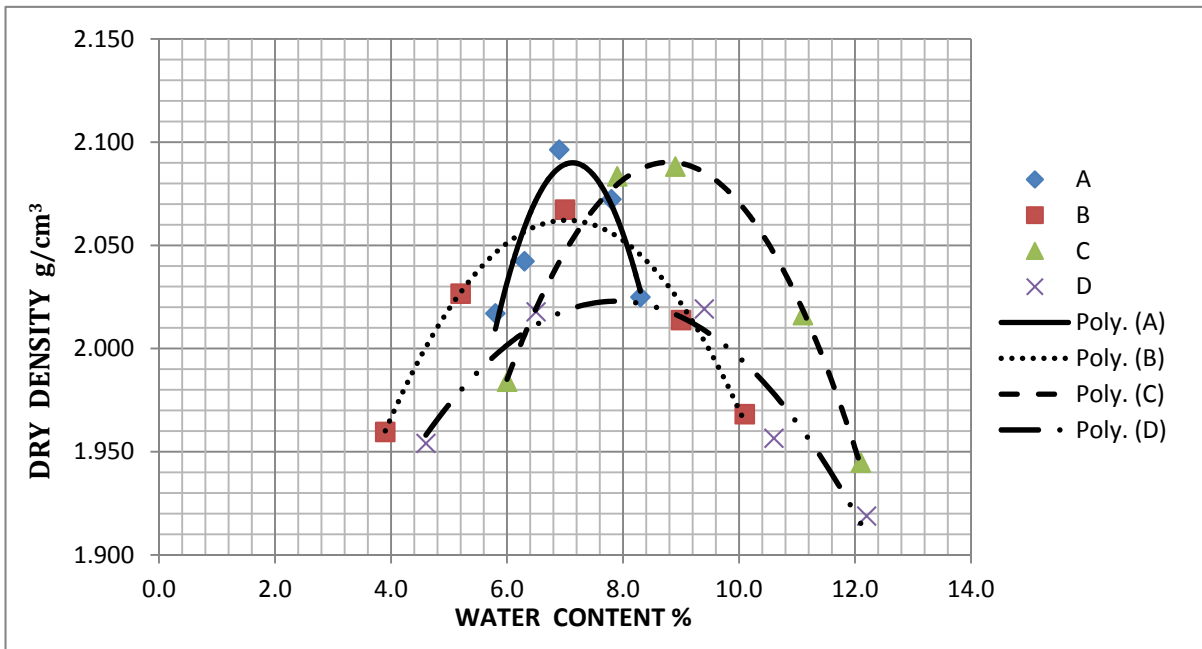
รูปที่ 4-2 ผลขนาดคละของตัวอย่างที่ 2



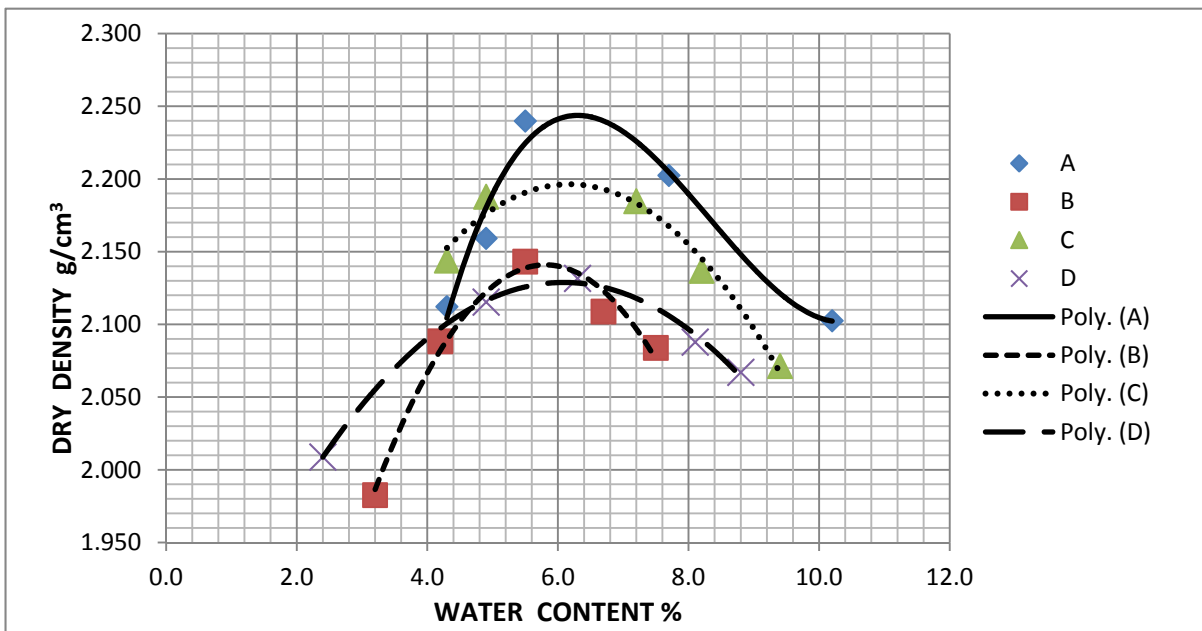
รูปที่ 4-3 ผลขนาดคละของตัวอย่างที่ 3

4.2 ผลทดสอบการบดอัด

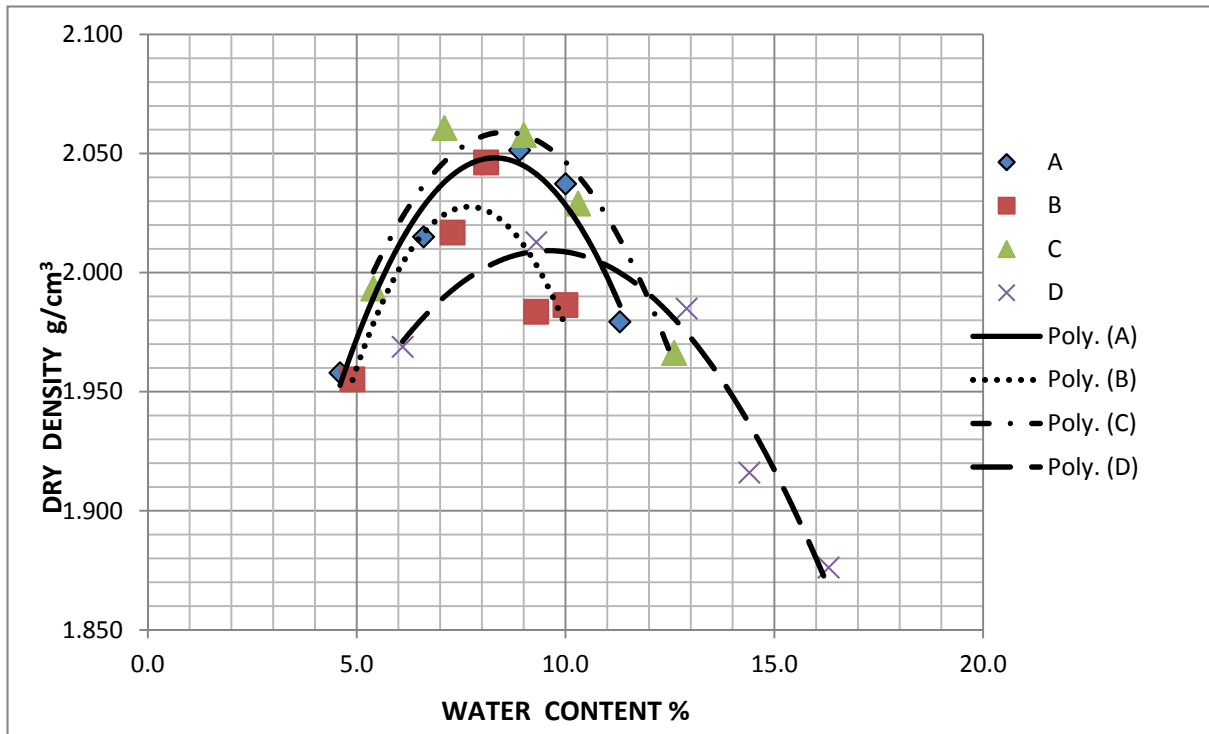
ผลการทดสอบการบดอัดแสดงในรูปที่ 4-4 ถึง 4-9 และสรุปในตารางที่ 4-1



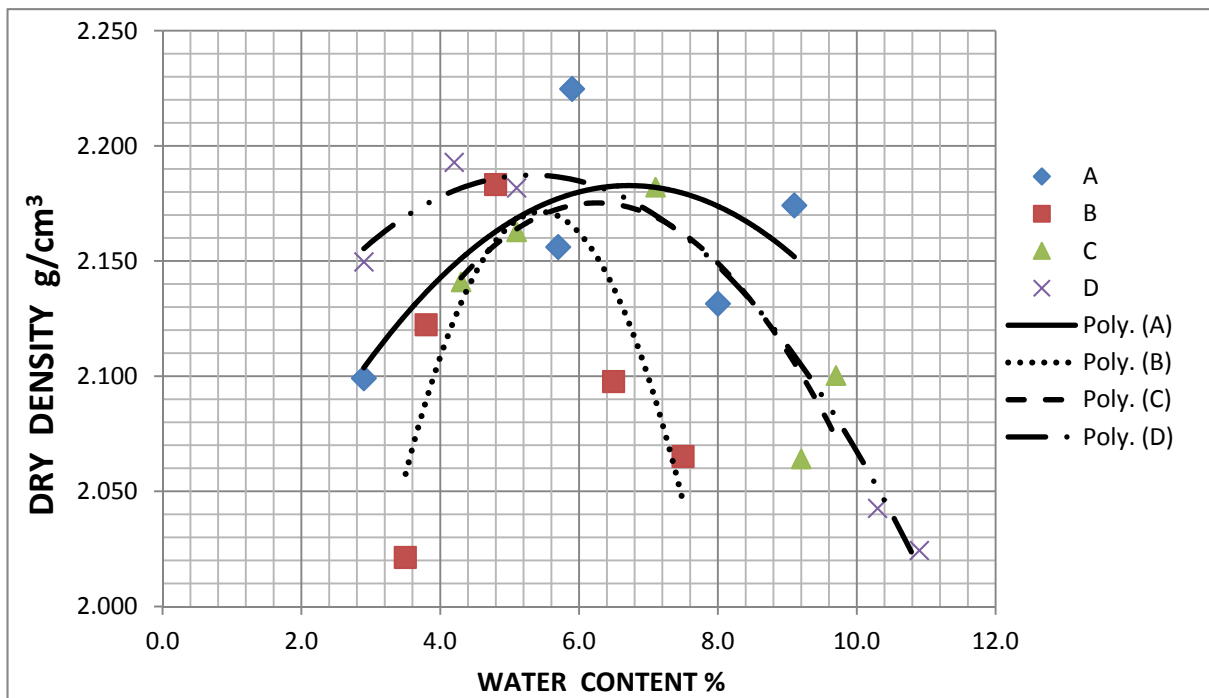
รูปที่ 4-4 ผลทดสอบการบดอัดของตัวอย่างที่ 1 ที่พลังงานแบบมาตรฐาน



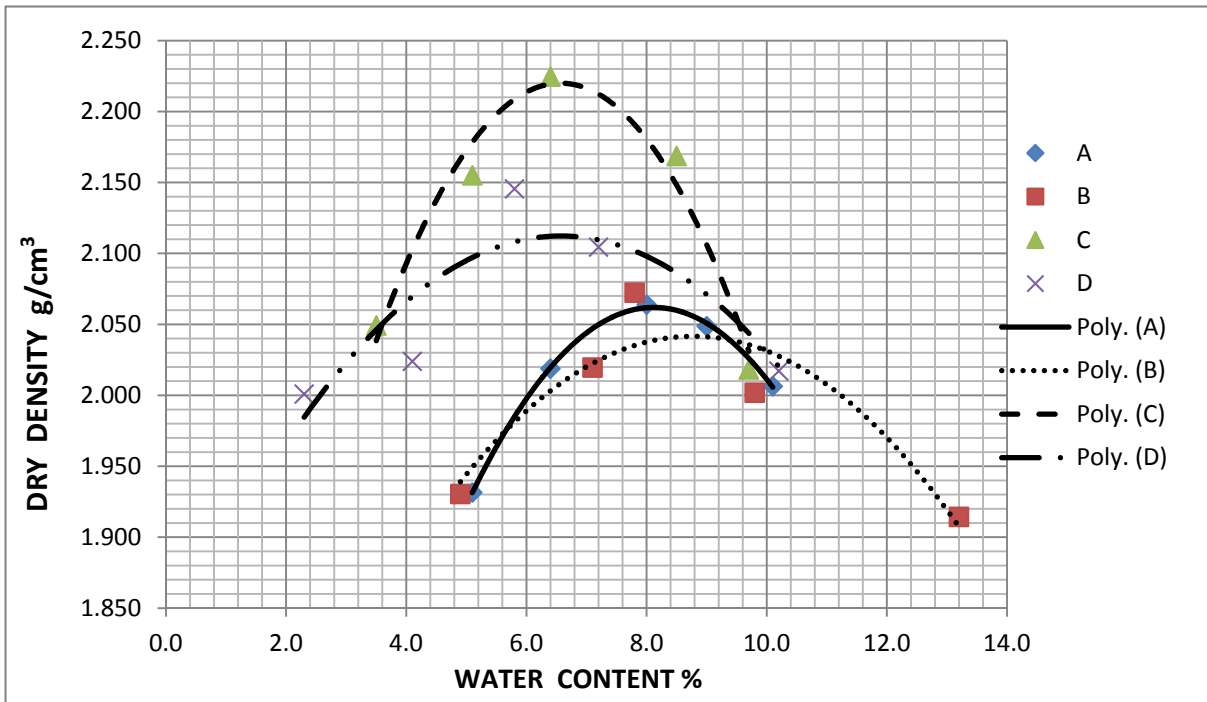
รูปที่ 4-5 ผลทดสอบการบดอัดของตัวอย่างที่ 1 ที่พลังงานแบบสูงกว่ามาตรฐาน



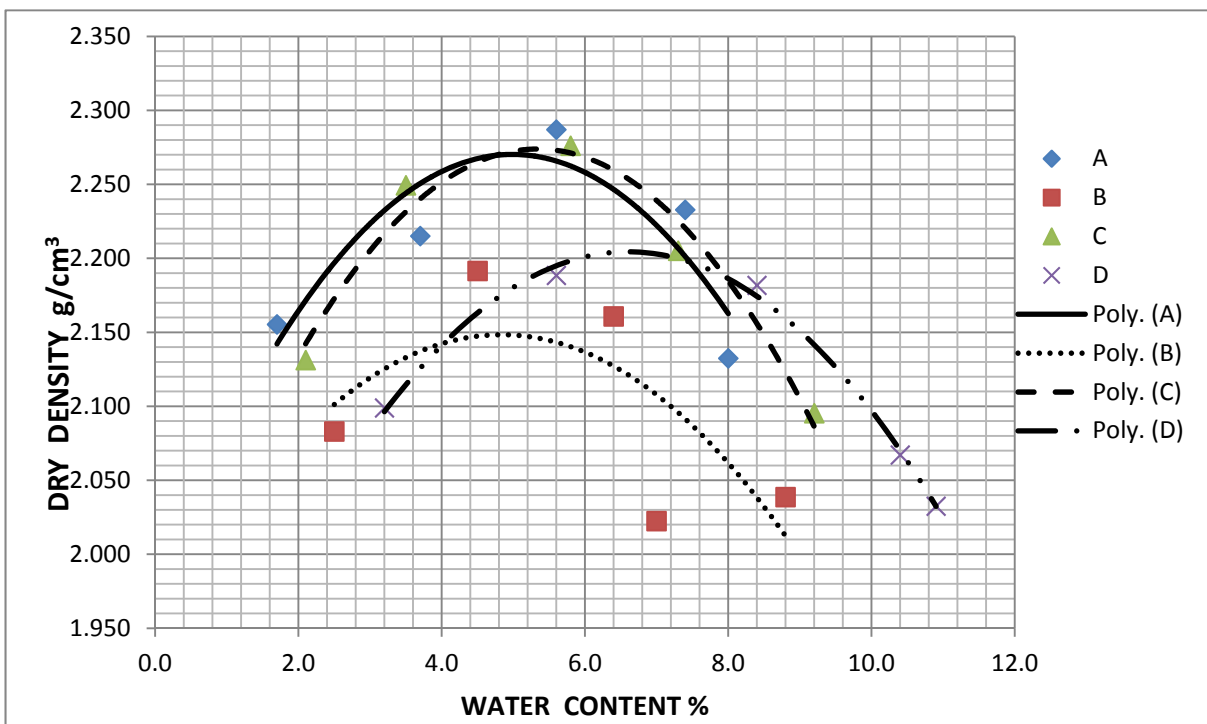
รูปที่ 4-6 ผลทดสอบการบดอัดของตัวอย่างที่ 2 ที่พลังงานแบบมาตรฐาน



รูปที่ 4-7 ผลทดสอบการบดอัดของตัวอย่างที่ 2 ที่พลังงานแบบสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 4-8 ผลทดสอบการบดอัดของตัวอย่างที่ 3 ที่พลังงานแบบมาตรฐาน



รูปที่ 4-9 ผลทดสอบการบดอัดของตัวอย่างที่ 3 ที่พลังงานแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบ COMPACTION

		ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
		DRY DENSITY (KN/m ³)	WATER CONTENT (%)	DRY DENSITY (KN/m ³)	WATER CONTENT (%)	DRY DENSITY (KN/m ³)	WATER CONTENT (%)
Standard	A	20.90	7.1	20.48	8.2	20.60	8.2
	B	20.62	7.0	20.28	7.6	20.40	9.0
	C	20.90	8.4	20.60	8.6	22.25	8.6
	D	20.25	8.0	20.10	9.6	21.10	7.2
ผลแตกต่างเนื่องจากขนาดของแบบ	A กับ B	1.33 %	1.40%	0.97%	7.31%	0.97%	8.88%
	C กับ D	3.11%	4.76%	2.42%	10.4%	5.16%	16.27%
ผลแตกต่างเนื่องจากปริมาณเม็ดกรวด	A กับ C	0%	15.47%	0.58%	4.65%	7.41%	4.65%
	B กับ D	1.79%	12.50%	0.88%	20.83%	3.31%	20.0%
Modified	A	22.48	6.2	21.85	6.2	22.70	5.0
	B	21.40	5.7	21.70	5.7	21.50	5.0
	C	21.98	6.2	21.75	6.2	22.70	5.4
	D	21.28	6.0	21.90	5.8	22.04	6.8
ผลแตกต่างเนื่องจากขนาดของแบบ	A กับ B	4.80%	8.06%	0.68%	8.06%	5.28%	0%
	C กับ D	3.21%	3.22%	0.68%	6.45%	2.90%	20.58%
ผลแตกต่างเนื่องจากปริมาณเม็ดกรวด	A กับ C	2.22%	0%	0.45%	0%	0%	7.40%
	B กับ D	0.56%	5%	0.91%	1.72%	2.45%	26.47%

4.3 ผลการศึกษาเนื่องจากขนาดของแบบ

4.3.1 ตัวอย่างที่ 1

แบบมาตรฐาน ขนาดของแบบมีผลกระทบต่อความหนาแน่น γ_{dmax} ซึ่ง ขนาดแบบ 4 นิ้ว Method A จะมีความหนาแน่นที่มากกว่า Method B ที่มีแบบ 6 นิ้ว ส่วน Water content มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ขนาดแบบ ยังมีผลต่อในส่วนที่ไม่ค้ำทิ้ง คือ Method C จะมีความหนาแน่นมากกว่า Method D

แบบสูงกว่ามาตรฐาน ขนาดของแบบจะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่น ซึ่ง ขนาดแบบ 4 นิ้ว Method A จะมีความหนาแน่นมาก แบบขนาด 6 นิ้ว Method B (ค้ำทิ้ง) และ Method C จะมีความหนาแน่นมาก Method D (ไม่ค้ำทิ้ง) และ Water content จะมีค่าใกล้เคียงกัน

4.3.2 ตัวอย่างที่ 2

แบบมาตรฐาน ในขนาดแบบ 4 นิ้ว ใน Method A จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแบบขนาด 6 นิ้ว ใน Method B ส่วนในขนาดแบบ 4 นิ้ว ใน Method C จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแบบขนาด 6 นิ้ว ใน Method D และในส่วนของ Water content นั้น Method D มีค่าที่มากที่สุด

แบบสูงกว่ามาตรฐาน ในขนาดแบบ 4 นิ้ว ใน Method A จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแบบขนาด 6 นิ้ว ใน Method B ส่วน Method D แบบขนาด 6 นิ้ว จะมีความหนาแน่นที่มากกว่า Method C ที่แบบขนาด 4 นิ้ว

4.3.3 ตัวอย่างที่ 3

แบบมาตรฐาน แบบขนาด 4 นิ้ว จะมีค่าความหนาแน่นที่มากกว่า ทั้ง Method A กับ Method B และ Method C กับ Method D ส่วน Water Content นั้น แบบขนาด 4 นิ้วจะมีมากกว่า

แบบสูงกว่ามาตรฐาน ในขนาดแบบ 4 นิ้ว ใน Method A จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแบบขนาด 6 นิ้ว ใน Method B ใน Method C จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแบบขนาด 6 นิ้ว ใน Method D ส่วน water content ใน Method A กับ B จะใกล้เคียงกัน และใน Method D จะมากกว่า Method C

4.4 ผลการศึกษาเนื่องจากปริมาณกรวด

4.4.1 ตัวอย่างที่ 1

แบบมาตรฐาน Water content ของ Method A และ B (ค้ำทิ้ง) จะมีค่าที่น้อยกว่า Method C และ D (ไม่ค้ำทิ้ง) และ Method A กับ C จะมีค่าความหนาแน่นที่เท่ากัน Method B จะมีความหนาแน่นมากกว่า Method D

แบบสูงกว่ามาตรฐาน Water content ของในส่วนที่ค้ำทิ้งและส่วนที่ไม่ค้ำทิ้งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนความหนาแน่น γ_{dmax} นั้น ส่วนที่ Method A จะมีความหนาแน่นมาก Method C และ Method B จะมีความหนาแน่นมาก Method D (ไม่ค้ำทิ้ง)

4.4.2 ตัวอย่างที่ 2

แบบมาตรฐาน ผลของการค้ำค้ำ ใน Method A จะมีค่าที่ค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่าในส่วนที่ไม่ค้ำค้ำของ Method C และ Water content จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วน ผลของการค้ำค้ำ ใน Method B จะมีค่าความหนาแน่นที่มากกว่า Method D และ Water content นั้น Method D จะมีค่าที่มากกว่า

แบบสูงกว่ามาตรฐาน ผลของการค้ำค้ำ Method A จะมีความหนาแน่นมากกว่า Method C และความหนาแน่นของ Method B จะมีค่าน้อยกว่า Method D ส่วน water content ของ Method A และ Method C จะมีค่าที่มากกว่า

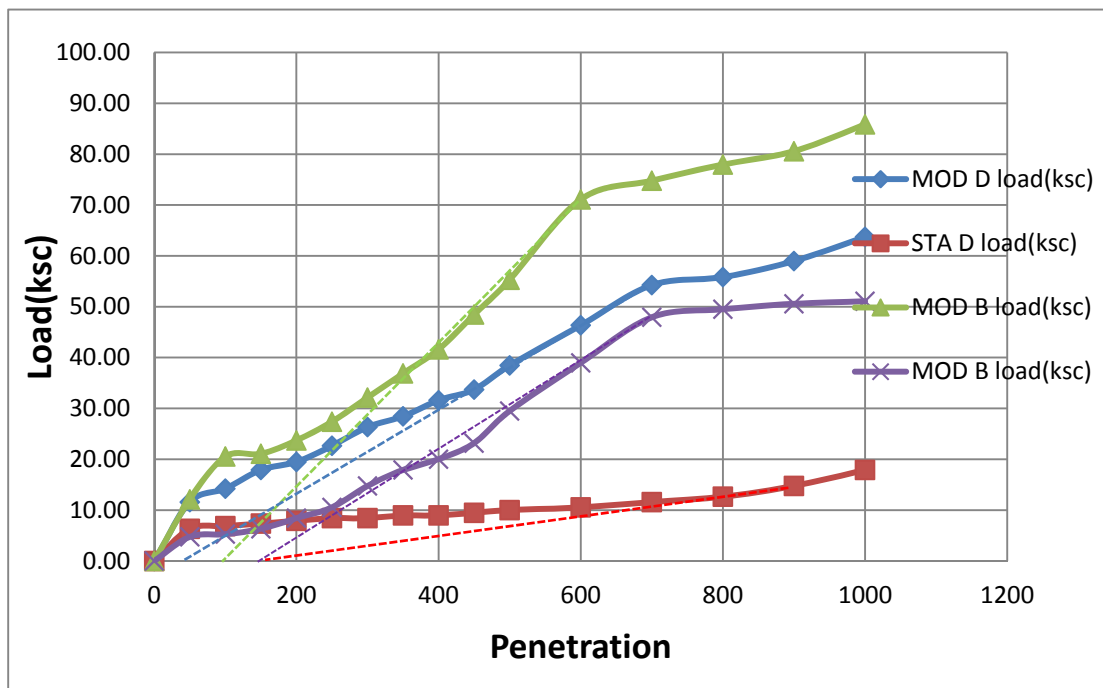
4.4.3 ตัวอย่างที่ 3

แบบมาตรฐาน ผลของการค้ำค้ำทั้ง Method A และ Method B จะมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่า Method C และ Method D ส่วน water content ผลของการค้ำค้ำจะมีมากกว่า

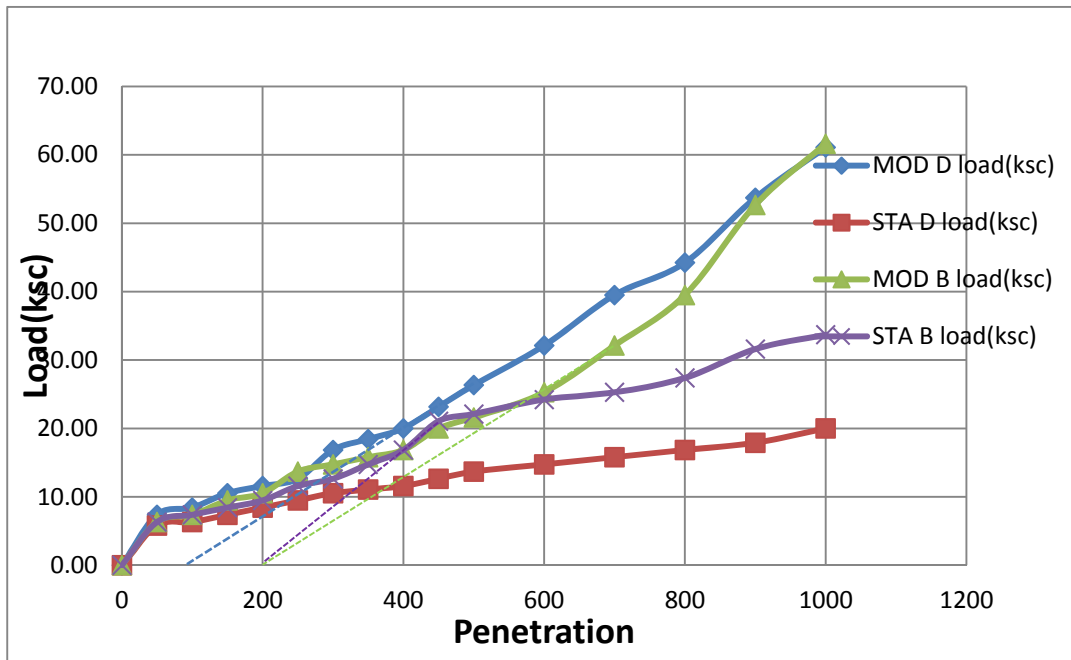
แบบสูงกว่ามาตรฐาน ผลของการค้ำค้ำ Method A และ Method C จะมีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน และ Method D จะมีค่าความหนาแน่นที่มากกว่า Method B ส่วน water content Method D จะมีค่ามากกว่า Method B

4.5 ผลการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

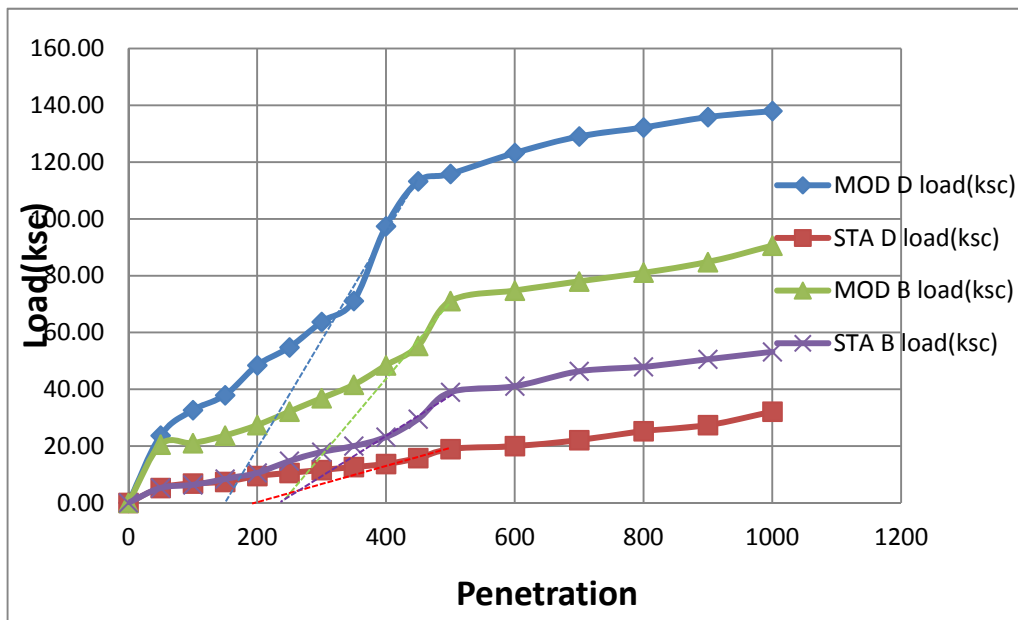
ผลการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) แสดงในรูปที่ 4-10 ถึง 4-15 และสรุปในตารางที่ 4-2



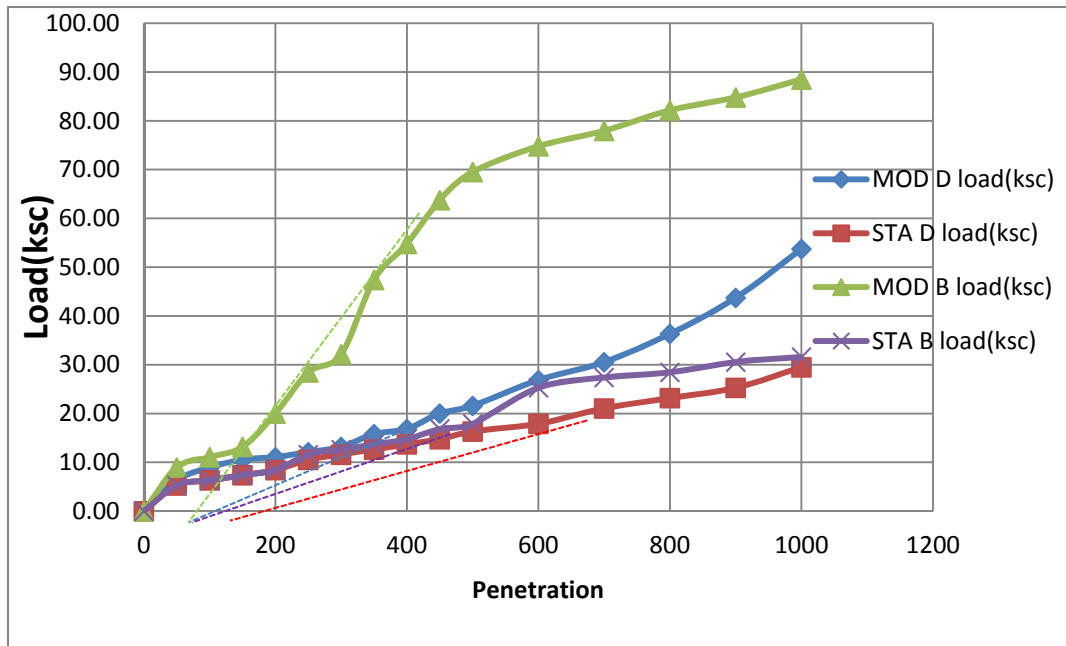
รูปที่ 4-10 ผลทดสอบ CBR ของตัวอย่างที่ 1 ไม่แช่น้ำ (Unsoak) ที่พลังงานแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน



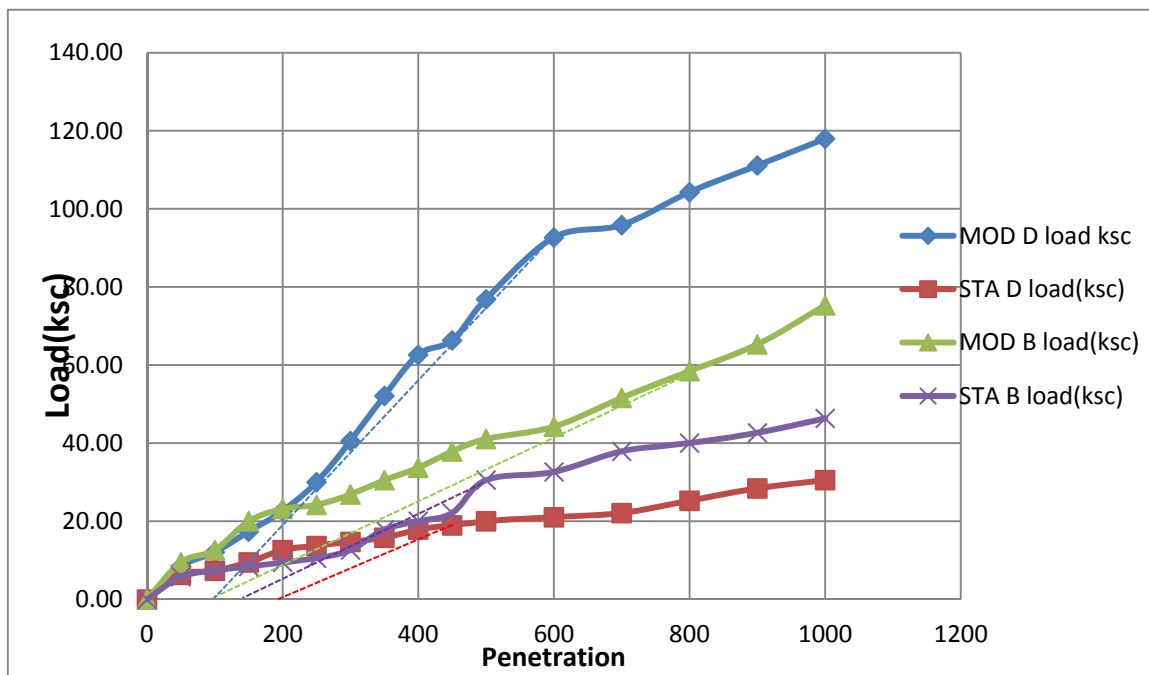
รูปที่ 4-11 ผลทดสอบ CBR ของตัวอย่างที่ 1 แช่น้ำ (Soak) ที่พลังงานแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน



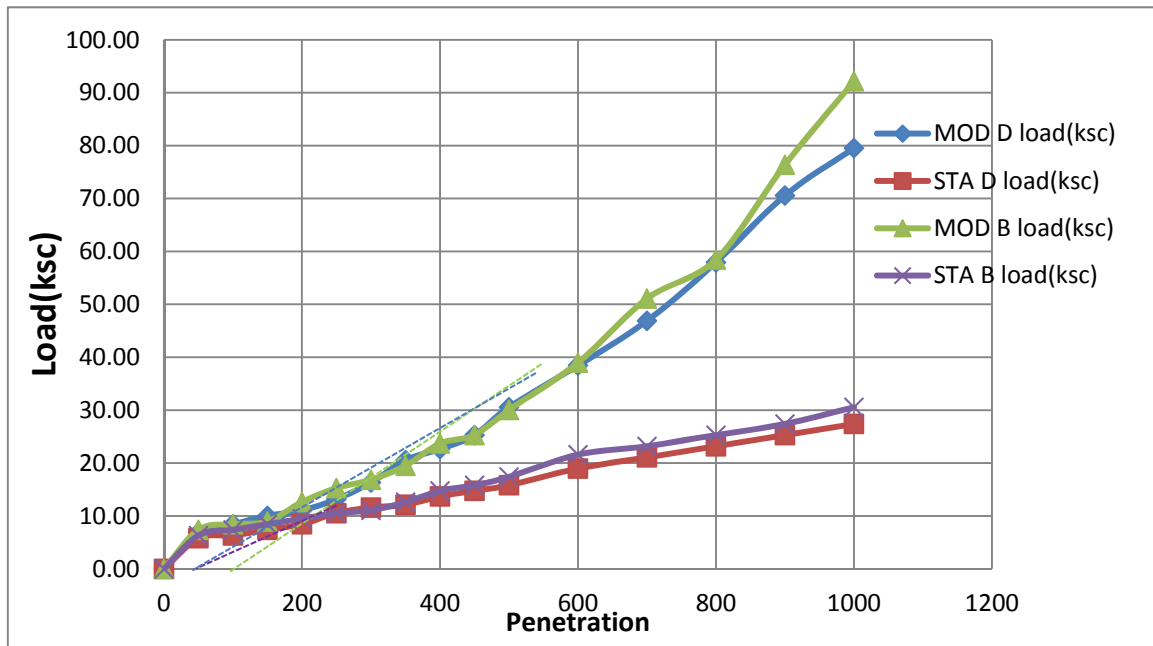
รูปที่ 4-12 ผลทดสอบ CBR ของตัวอย่างที่ 2 ไม่แช่น้ำ (Unsoak) ที่พลังงานแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 4-13 ผลทดสอบ CBR ของตัวอย่างที่ 2 แช่น้ำ (Soak) ที่พลังงานแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 4-14 ผลทดสอบ CBR ของตัวอย่างที่ 3 ไม่แช่น้ำ (Unsoak) ที่พลังงานแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 4-15 ผลทดสอบ CBR ของตัวอย่างที่ 3 แช่น้ำ (Soak) ที่พลังงานแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

ชนิด			CBR ไม่แช่น้ำ	CBR แช่น้ำ	ความแตกต่าง (%)
ตัวอย่างที่ 1	Standard	คัตกรวดทิ้ง (STA B)	45.45 %	29.97 %	34.05%
		ไม่คัตกรวดทิ้ง (STA D)	13.49 %	12.74 %	5.55%
	Modified	คัตกรวดทิ้ง (MOD B)	67.42 %	30.46 %	54.82%
		ไม่คัตกรวดทิ้ง (MOD D)	43.95 %	37.46 %	14.76%
ตัวอย่างที่ 2	Standard	คัตกรวดทิ้ง (STA B)	55.44 %	23.97 %	56.76%
		ไม่คัตกรวดทิ้ง (STA D)	22.48 %	17.98 %	20.01%
	Modified	คัตกรวดทิ้ง (MOD B)	101.14 %	70.92 %	29.87%
		ไม่คัตกรวดทิ้ง (MOD D)	138.60 %	25.47 %	81.62%
ตัวอย่างที่ 3	Standard	คัตกรวดทิ้ง (STA B)	35.96 %	20.48 %	43.04%
		ไม่คัตกรวดทิ้ง (STA D)	25.47 %	17.98 %	29.40%
	Modified	คัตกรวดทิ้ง (MOD B)	43.45 %	36.96 %	14.93%
		ไม่คัตกรวดทิ้ง (MOD D)	87.90 %	36.46 %	58.52%

จากการทดลองดินตัวอย่างที่กำหนดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ที่ CBR แช่น้ำ (Soak) และไม่แช่น้ำ (Unsoak) จะได้ผลการทดลองดังนี้

- ค่า CBR ที่แช่น้ำ ในตัวอย่างที่ 1 มีเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 18% จะพบว่าค่า CBR ในการทดลองที่คัดเม็ดดินขนาดใหญ่ทิ้งไป จะมีค่า CBR ที่มากกว่า เม็ดดินที่ไม่ถูกคัดทิ้ง ในพลังมาตรฐานแต่เมื่อเพิ่มพลังงานเป็นแบบสูงกว่ามาตรฐาน ค่า CBR ดินที่ไม่ถูกคัดทิ้งจะมีค่าที่มากกว่า ดินที่ถูกคัดทิ้งไป
- ค่า CBR ที่แช่น้ำ ในตัวอย่างที่ 2 มีเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 29% จะพบว่าค่า CBR ในการทดลองตัวอย่างที่ไม่คัดเม็ดดินขนาดใหญ่ทิ้งไป จะมีค่า CBR ที่มากกว่า ตัวอย่างที่คัดเม็ดดินขนาดใหญ่ทิ้งไป ในพลังมาตรฐาน และเมื่อเพิ่มพลังงานเป็นสูงกว่ามาตรฐานตัวอย่างที่คัดเม็ดดินขนาดใหญ่ทิ้งไปจะมีค่า CBR มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ถูกคัดเม็ดดินทิ้งไป
- ค่า CBR ที่แช่น้ำ ในตัวอย่างที่ 3 มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 37% จะพบว่าค่า CBR ในการทดลองที่คัดเม็ดดินขนาดใหญ่ทิ้งไป จะมีค่า CBR ที่มากกว่า เม็ดดินที่ไม่ถูกคัดทิ้ง ในพลังมาตรฐาน และเมื่อเพิ่มพลังงานเป็นสูงกว่ามาตรฐานตัวอย่างที่คัดเม็ดดินขนาดใหญ่ทิ้งไป และไม่คัดเม็ดดินขนาดใหญ่จะมีค่า CBR ที่ใกล้เคียงกัน
- ค่า CBR ที่ไม่แช่น้ำ ในตัวอย่างที่ 1 มีเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 18% จะพบว่าค่า CBR ทั้งพลังงานแบบมาตรฐานและพลังงานแบบสูงกว่ามาตรฐาน คือตัวอย่างที่คัดเม็ดดินขนาดใหญ่ทิ้งไป จะมีค่า CBR ที่มากกว่าตัวอย่างดินที่ไม่ถูกคัดทิ้งไป
- ค่า CBR ที่ไม่แช่น้ำ ในตัวอย่างที่ 2 และ 3 มีเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 29% และ 37% จะมีค่าแนวโน้มที่เหมือนกัน คือ ที่พลังงานแบบมาตรฐาน ตัวอย่างที่คัดดินขนาดใหญ่ทิ้งไปจะมีค่า CBR ที่มากกว่าตัวอย่างดินที่ไม่ถูกคัดทิ้งไป และเมื่อเพิ่มพลังงานเป็นแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตัวอย่างดินที่ไม่ถูกคัดทิ้งไป จะมีค่า CBR ที่มากกว่าตัวอย่างที่คัดดินขนาดใหญ่ทิ้งไป
- ทุกตัวอย่างดิน ดินที่ถูกแช่น้ำจะมีค่า CBR ที่น้อยกว่าดินที่ไม่ถูกแช่น้ำ
- ผลค่า CBR ที่มากที่สุด คือตัวอย่างที่ 2 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีเม็ดดินขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 29%

4.6 การคำนวณ

จากการทดสอบจะได้ความชื้นของส่วนหยาบ ส่วนที่ละเอียด และค่าความหนาแน่นแห้งเพื่อที่จะได้นำไปคำนวณการปรับแก้ ตาม AASHTO t224 ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

การคำนวณของมาตรฐาน AASHTO T 224

- การคำนวณหามวลแห้งของ Oversize และดินขนาดเล็ก

$$M_D = \frac{M_m}{(1 + MC)}$$

M_D = มวลของวัสดุแห้ง (อนุภาคขนาดเล็กหรือ Oversize)

M_m = มวลของวัสดุขึ้น (อนุภาคขนาดเล็กหรือ Oversize)

MC = ความชื้น ค่าปรับที่เกี่ยวข้องหรือมีขนาดใหญ่แสดงความเป็นทศนิยม

- การคำนวณร้อยละของอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่โดยน้ำหนักแห้งจากทั้งหมด

$$P_f = \frac{100M_{DF}}{(M_{DF} + M_{DC})}$$

And

$$P_c = \frac{100M_{DC}}{(M_{DF} + M_{DC})}$$

Or for P_c $P_c=100-P_f$

P_f = ร้อยละของอนุภาคเล็ก ๆ ของตะแกรงที่ใช้โดยน้ำหนัก

P_c = ร้อยละของอนุภาค Oversize, ของตะแกรงใช้โดยน้ำหนัก

M_{DF} = มวลของอนุภาคเล็ก ๆ

M_{DC} = มวลของอนุภาค Oversize

- การคำนวณปริมาณความชื้นการแก้ไขดังต่อไปนี้

$$MC_T = \frac{[(MC_F)(P_f) + (MC_c)(P_c)]}{100}$$

MC_T = ความชื้น การแก้ไขการรวมกันค่าปรับและอนุภาคขนาดใหญ่เป็น % ความชื้น

MC_F = ปริมาณความชื้นของอนุภาคขนาดเล็กเป็น % ความชื้น

MC_c = ปริมาณความชื้นของอนุภาคขนาดใหญ่

- การคำนวณปรับแก้ค่าความหนาแน่น

$$D_d = \frac{100Dfk}{[(Df)(Pc) + (k)(P_f)]}$$

D_d = ค่าที่ได้จากการปรับแก้ความหนาแน่นแห้ง

D_f = ความหนาแน่นแห้งของมวลละเอียด

P_c = ร้อยละของอนุภาค Oversize, ของตะแกรงใช้โดยน้ำหนัก

P_f = ร้อยละของอนุภาคเล็ก ๆ ของตะแกรงที่ใช้โดยน้ำหนัก

K = ความถ่วงจำเพาะของมวลใหญ่

จากตารางที่คัดกรวดที่จะนำผล Method B มาเปรียบเทียบกับ ส่วนไม่คัดกรวดที่จะนำผลจาก Method D และการคำนวณจะได้มาจากการแยกส่วนหยาบและส่วนละเอียดเพื่อหาความหนาแน่นแห้งและความชื้นที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการคำนวณ

จากการทดลองจะมีการเปรียบเทียบกับ ตัวอย่างดินที่คัดกรวดทิ้ง และตัวอย่างดินที่ไม่คัดกรวดทิ้งและดินที่ปรับแก้ตามมาตรฐาน AASHTO T224 ที่พลังงานแบบมาตรฐานกับพลังงานแบบสูงกว่ามาตรฐาน ผลได้สรุปในตารางที่ 4-3 ซึ่งแสดงว่า

- ดินที่ปรับแก้ตามมาตรฐาน AASHTO T224 ที่พลังงานแบบมาตรฐานจะให้ค่าความหนาแน่นที่มากกว่า ตัวอย่างดินที่คัดกรวดทิ้ง และตัวอย่างดินที่ไม่คัดกรวดทิ้ง แต่จะมีความชื้นที่เหมาะสมน้อยกว่า ทั้ง 2

ตัวอย่าง และตัวอย่างดินที่ไม่คัดกรวดทิ้ง จะมีค่าความหนาแน่นที่มากกว่าตัวอย่างดินที่คัดกรวดทิ้ง ไปซึ่งความชื้นที่เหมาะสมนั้นจะใกล้เคียงกัน

- ดินที่ปรับแก้ตามมาตรฐาน AASHTO T224 ที่พลังงานแบบสูงกว่ามาตรฐานซึ่งจะมีแนวโน้มที่เหมือนกันกับพลังงานแบบมาตรฐาน และตัวอย่างดินที่ไม่คัดกรวดทิ้ง จะมีค่าความหนาแน่นที่มากกว่าตัวอย่างดินที่คัดกรวดทิ้ง

ตารางที่ 4-3 ผลการคัดกรวดทิ้ง ไม่คัดกรวดทิ้งและการคำนวณ

Standard	คัดกรวดทิ้ง		ไม่คัดกรวดทิ้ง		การคำนวณ		ความแตกต่าง	
	DRY DENSITY (kN/m ³)	WATER CONTENT (%)	DRY DENSITY (kN/m ³)	WATER CONTENT (%)	DRY DENSITY (kN/m ³)	WATER CONTENT (%)	ส่วนคัดกรวดกับคำนวณ	ส่วนไม่คัดกรวดกับคำนวณ
ตัวอย่างที่ 1	20.67	7	20.25	7.9	22.19	6.8	6.8% , 2.8%	8.7%,13.9%
ตัวอย่างที่ 2	20.46	7.6	20.10	9.6	22.37	5.6	8.5%,26.3%	10.1%,41.6%
ตัวอย่างที่ 3	20.40	9	21.10	6.8	22.04	5	7.4%,44.4%	4.26%,26.47%

Modified	คัดกรวดทิ้ง		ไม่คัดกรวดทิ้ง		การคำนวณ		ความแตกต่าง	
	DRY DENSITY (kN/m ³)	WATER CONTENT (%)	DRY DENSITY (kN/m ³)	WATER CONTENT (%)	DRY DENSITY (kN/m ³)	WATER CONTENT (%)	ส่วนคัดกรวดกับคำนวณ	ส่วนไม่คัดกรวดกับคำนวณ
ตัวอย่างที่ 1	21.40	5.7	21.28	6	22.72	5.2	5.8%,8.7%	6.3%,13.3%
ตัวอย่างที่ 2	21.70	5.7	21.9	5.8	23.41	4	7.2%,29.8%	6.4%,31.0%
ตัวอย่างที่ 3	21.50	5	22.10	6.8	23.59	4.3	8.8%,14.0%	6.3%,36.7%

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอิทธิพลเนื่องจากขนาดแบบในการבודัด จะพบว่าในแบบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว โดยจะมีความแตกต่างอยู่ระหว่าง 0.68-5.28% ซึ่งในตัวอย่างที่ 3 นั้นจะมีความแตกต่างกันมากที่สุดเนื่องมาจากปริมาณกรวดที่ผสมในดินมีมากถึง 37% ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรวดนั้นจะมีผลกระทบต่อแบบที่มีกรวดผสมอยู่ จากตัวอย่างที่ 2 เห็นว่ากรวดนั้นมีผลกระทบต่อแบบน้อยซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่ควรที่จะมีกรวดผสมอยู่เกิน 29% ผลกระทบต่อแบบการทดสอบจึงจะน้อย และความชื้นที่เหมาะสมในตัวอย่างที่ 3 ก็จะมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากเช่นเดียวกัน

จากการศึกษาปริมาณของกรวดที่มีผลกระทบต่อการבודัดขนาดแบบที่เท่ากันทั้งแบบเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ซึ่งการเพิ่มปริมาณกรวดลงไปจะทำให้ความหนาแน่นนั้นเพิ่มขึ้น แต่ความชื้นที่เหมาะสมจะไม่ชัดเจน ซึ่งผลแตกต่างในการคัดกรวดออกและไม่คัดกรวดออกนั้น ในตัวอย่างที่ 3 จะมีผลความแตกต่างมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกันกับจากการศึกษาอิทธิพลเนื่องจากขนาดแบบในการבודัด จึงแสดงให้เห็นว่าผลกระทบของกรวดที่มีมากถึง 37% จะส่งผลกระทบต่อแบบการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

วิธีการทดลองที่ ทล.-ท.107/2517, วิธีการทดลอง Compaction Test แบบมาตรฐาน, มาตรฐานวิธีการทดลอง, สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง

วิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517, วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน, มาตรฐานวิธีการทดลอง, สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง

วิธีการทดลองที่ ทล.-ท.109/2517, วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR, มาตรฐานวิธีการทดลอง, สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบกรมทางหลวง ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR ความหนาแน่น และปริมาณความชื้นสำหรับดินบดอัดที่พลังงานต่างๆ

ผศ.ดร.อวิรุทธ์ ชินกุลนิวัฒน์ อิทธิพลของสภาวะของสภาวะบดอัดต่อผลทดสอบการบดอัด สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกชัย ม่านโคกสูง อิทธิพลของขนาดแบบบดอัดและปริมาณกรวดต่อผลการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี