คุณสมบัติการบดอัดและค่าซีบีอาร์ของดินเม็ดละเอียด ลูกรัง และหินคลุก

นายโภคินทร์ ช้ำเกตุ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2554

คุณสมบัติการบดอัดและค่าซีบีอาร์ของดินเม็ดละเอียด ลูกรัง และหินคลุก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(ผศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)

ประธานกรรมการ

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(อ. ดร.ฉัตรเพชร ยศพล)

กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

โภคินทร์ ช้ำเกตุ : คุณสมบัติการบดอัดและค่าซีบีอาร์ของดินเม็ดละเอียด ลูกรัง และหินคลุก (COMPACTION CHARACTERISTICS AND CBR OF FINE-GRAINED SOILS, LATERITIC SOILS AND CRUSHED ROCKS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติการบดอัดและค่าซีบีอาร์ของดินเม็ดละเอียด ลูกรัง และหินคลุกที่มีกระจายขนาดคละตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท ผลทดสอบดินตัวอย่างทั้งหมดรวบรวมจากโครงการก่อสร้างและปรับปรุงถนนทั้งสิ้น 112 โครงการ ของสำนักงานทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) กรมทางหลวงชนบท ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากราฟการบดอัดของ Ohio สามารถใช้ในการประมาณกราฟการบดอัดของดินทั้งสามประเภทได้ ค่าซีบีอาร์ของดินประเภทเดียวกันมีความสัมพันธ์โดยตรงกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด แม้ว่าค่าซีบีอาร์ของดินแต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกัน แต่ค่าซีบีอาร์ของดินเดียวกันจะแปรผันตามหน่วยน้ำหนักแห้ง ดังนั้น อัตราส่วนซีบีอาร์และอัตราส่วนหน่วยน้ำหนักแห้งของดินประเภทต่างๆ จึงสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์เดียวกันได้ ผลการบดอัดดินเม็ดละเอียดด้วยรถบดอัดในสนามที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักแห้งของดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัดในช่วงแรก และมีค่าประมาณคงที่ใกล้เคียงกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ ที่จำนวนเที่ยววิ่งเท่ากับ 10 เที่ยว ผลการศึกษาทั้งหมดนำมาซึ่งวิธีการบดอัดและควบคุมการบดอัดที่มีประสิทธิภาพ

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

POKIN CHAMKET : COMPACTION CHARACTERISTICS AND CBR OF FINE-GRAINED SOILS, LATERITIC SOILS AND CRUSHED ROCKS. ADVISOR: PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research studies compaction characteristics and CBR values of fine-grained soils, lateritic soils and crushed rocks. All soil test results were collated from road construction and repair projects of the Bureau of Rural Road 6 (Saraburee), Department of Rural Roads. It is found that the Ohio's compaction curves can be used to predict the curves of the three soil types. For a given soil type, the CBR value relates directly to the maximum dry unit weight. Even though the CBR values are different for different soils, the CBR of a specific soil is dependent upon the dry unit weight. Consequently, the relationship between normalized CBR and the normalized dry unit weight is essentially the same. The field compaction results of a fine-grained soil at the optimum water content, OWC, shows that initially the dry unit weight rapidly increases with roller pass and almost constant and close to the laboratory maximum dry unit weight at 10^{th} roller pass. All the study results lead to the effective compaction method and construction control.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Civil Engineering Student's signature_____

Academic Year 2011 Advisor's signature_____

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานบัณฑิตนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยคณาจารย์และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือสนับสนุนเป็นอย่างดี ทั้งในด้านวิชาการ ด้านการดำเนินงานวิจัยและอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อย่างสุดซึ้งที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนข้อมูลทางวิชาการด้านปฐพีกลศาสตร์ ช่วยกระตุ้น จนโครงงานฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ ประธานกรรมการสภาโครงงานบัณฑิต ที่ช่วยให้คำแนะนำในการศึกษางานวิจัย

อาจารย์ ดร.ฉัตรเพชร ยศพล กรรมการสอบโครงงานบัณฑิต ที่ช่วยให้คำแนะนำในการศึกษางานวิจัย

สำนักทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและช่วยเหลือในการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการและในสนาม

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อหน่วง คุณแม่เบญจา ช้ำเกตุ ที่ได้อบรมสั่งสอน สนับสนุนให้การศึกษาจนได้มาถึงวันนี้ และขอบคุณภรรยาและบุตร ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

โภคินทร์ ช้ำเกตุ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ปริทัศน์ วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 บทนำ 4

2.2 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor (1930) 4

2.3 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hogentogler (1936) 5

2.4 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Buchanan (1942) 7

2.5 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hilf (1956) 8

2.6 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Lambe (1985) 9

2.7 เส้นโค้งการบดอัดดิน (compaction curve) 10

2.7.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบดอัดดิน 12

2.7.2 ชนิดของดิน 12

2.8 พลังงานการบดอัด 15

2.9 การบดอัดและคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม 17

2.10 ปรัชญาการบดอัดงานเขื่อนและงานถนน 21

2.11 การทำนายกราฟการบดอัด 21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.12 มาตรฐานวัสดุถมคันทาง (Embankment : Material) (มทช.201-2545) 34
2.12.1 ขอบข่าย 34
2.12.2 คุณสมบัติวัสดุคันทางประเภทวัสดุดินทั่วไป (Soil) 34
2.13 มาตรฐานวัสดุลูกรังชนิดทำผิวจราจร (มทช.206-2554) 34
2.13.1 ขอบข่าย 34
2.13.2 คุณสมบัติ 34
2.14 มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก
(crushed rock soil aggregate type base) (มทช.203-2545) 35
2.14.1 ขอบข่าย 35
2.14.2 คุณสมบัติ 35
2.15 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (liquid : L.L.) (มทช.(ท) 501.5-2545) 36
2.15.1 ขอบข่าย 36
2.15.2 นิยาม 36
2.15.3 วิธีทำ 36
2.15.4 การเตรียมตัวอย่าง 37
2.15.5 การทดสอบ 38
2.15.6 การคำนวณ 39
2.15.7 การรายงาน 40
2.15.8 ข้อควรระวัง 40
2.16 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (plastic limit : P.L.)
(มทช.(ท) 501.6-2545) 40
2.16.1 ขอบข่าย 40
2.16.2 นิยาม 41
2.16.3 วิธีทำ 41
2.16.4 การเตรียมตัวอย่าง 41
2.16.5 การทดสอบ 41
2.16.6 การคำนวณ 43
2.16.7 การรายงาน 43
2.16.8 ข้อควรระวัง 43
2.17 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (sieve analysis) (มทช.(ท) 501.8-2545) 43
2.17.1 ขอบข่าย 43
2.17.2 นิยาม 44
2.17.3 วิธีทำ 44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.17.4 การเตรียมตัวอย่าง 44
2.17.5 การทดสอบ 45
2.17.6 การคำนวณ 46
2.17.7 การรายงาน 46
2.17.8 ข้อควรระวัง 47
2.18 วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (coarse aggregates) โดยใช้เครื่องมือทดสอบหาความสึกหรอ (los angeles abrasion) มทช.(ท) 501.9-2545 47
2.18.1 ขอบข่าย 47
2.18.2 วิธีทำ 47
2.18.3 การเตรียมตัวอย่าง 48
2.18.4 การทดสอบ 49
2.18.5 การคำนวณ 49
2.18.6 การรายงาน 49
2.18.7 ข้อควรระวัง 50
2.19 วิธีการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test) มทช.(ท) 501.2- 2545 50
2.19.1 ขอบข่าย 50
2.19.2 วิธีทำ 50
2.19.3 การเตรียมตัวอย่าง 52
2.19.4 การทดสอบ 52
2.19.5 การคำนวณ 54
2.19.6 การรายงาน 54
2.19.7 ข้อควรระวัง 55
2.20 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.) (มทช.(ท) 501.3-2545) 55
2.20.1 ขอบข่าย 55
2.20.2 วิธีทำ 56
2.20.3 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดสอบ 57
2.20.4 การเตรียมตัวอย่าง 57
2.20.5 การทดสอบ 57
2.20.6 การคำนวณ 59
2.20.7 การรายงาน 61

2.21 การก่อสร้างและการบดอัด ชั้นโครงสร้างทาง 63
2.21.1 งานชั้นดินถมคันทาง 63
2.21.2 งานชั้นรองพื้นทาง (subbase) 63
2.21.3 งานพื้นทาง 65
2.22 เครื่องจักรกลที่ใช้บดอัดดินในสนาม 66
2.23 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test) 70
2.23.1 วิธีการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test) มทช.(ท) **501.4-2545** 70
2.23.2 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนามโดยวิธี Nuclear Gauge 77
3 วิธีดำเนินการทำโครงงาน 96
3.1 บทนำ 96
3.2 แผนงานดำเนินการ 96
3.3 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 97
3.4 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test) โดยวิธีการ Nuclear Method 97
4 การศึกษาผลทดลองและวิจารณ์ผล 100
4.1 บทนำ 100
4.2 กราฟการบดอัด 100
4.3 ผลทดสอบ CBR (California Bearing Ratio) 102
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBRสูงสุด และความแน่นแห้งสูงสุด 104
4.5 การทดสอบรอบการบดอัดแน่นในสนามด้วยเครื่องมือกล 107
4.6 ขั้นตอนการบดอัดดิน 109
5 สรุปผลการทดลอง 110
เอกสารอ้างอิง 111
ภาคผนวกผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ 113
ประวัติผู้วิจัย 226

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทางลูกรัง 35

2.2 ขนาดคละของวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก 36

2.3 ขนาดคละของวัสดุ 45

2.4 จำนวนลูกเหล็กทรงกลม ที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชั้น (grading) 48

2.5 น้ำหนักชั้นของตัวอย่างต่อจำนวนรอบ 49

2.6 น้ำหนักมาตรฐานตากการกดท่อนเหล็กขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ของวัสดุหินคลุก 61

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความแน่นของน้ำ 73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (typical compaction curve) 4

2.2 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ 5

2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Hogentogler 6

2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Buchanan 8

2.5 กราฟแสดงผลของการบดอัดดินนำเสนอโดย Hilf 9

2.6 ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน 10

2.7 เส้นโค้งการบดอัดดิน (compaction curve) 11

2.8 เส้นโค้งการบดอัดดินของดินชนิดต่างๆ 13

2.9 กราฟการบดอัดของดินเหนียวชนิดต่างๆ ที่พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Horpibulsuk et al., 2005) 14

2.10 อิทธิพลของชนิดดินต่อการบดอัดแบบมาตรฐาน (Johnson and Sallberg. 1960) 15

2.11 อิทธิพลของพลังงานบดอัดต่อกราฟการบดอัดของดินลูกรัง (Horpibulsuk et al., 2004) 17

2.12 การทดสอบความซึมผ่านได้และการบดอัดดิน Siburua (Lambe, 1962) 18

2.13 ลักษณะการอัดตัวของดินตะกอนปนดินเหนียวบดอัดที่ด้านแห้งและด้านเปียก ของปริมาณ ความชื้นเหมาะสม (b) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณความชื้น (สุขสันติ์, 2545) 19

2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินเหนียวปนดินตะกอนบดอัด (สุขสันติ์ 2545) 20

2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินลูกรังบดอัด 20

2.16 กราฟการบดอัด Ohio (ปรับปรุงจาก Joslin, 1959) 22

2.17 แบบจำลองโครงสร้างดินบดอัด (Nagaraj et al., 2006) 22

2.18 (a) กราฟการบดอัด 24

2.18 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของดินเหนียว ปนดินตะกอน (Horpibulsuk et al., 2008a) 24

2.19 (a) กราฟการบดอัด 25
2.19 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของกรวดที่ขนาด คละดี (Horpibulsuk et al., 2009a) 25
2.20 อิทธิพลของ A_d และ A_w ต่อกราฟการบดอัด (Horpibulsuk et al., 2008a) 26
2.21 อิทธิพลของ B_d และ B_w ต่อกราฟการบดอัด (Horpibulsuk et al., 2008a) 27
2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเหมาะสม อัตราส่วนปริมาณความชื้นเหมาะสมและพลังงานการบดอัด (Horpibulsuk et al, 2009a) 28
2.23 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของดินเหนียว (ข้อมูลจาก Proctor, 1948) (Horpibuksuk et al., 2008a) 30
2.24 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของ Red earth (ข้อมูลจาก US Army Crops of Engineers, 1970) (Horpibusluk et al., 2008a) 30
2.25 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของดินเหนียวปนดินตะกอน (ข้อมูลจาก Turnbull and Foster, 1956) (Horpibulsuk et al., 2008a) 31
2.26 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของดินลูกรัง (ข้อมูลจาก Horpibulsuk et al., 2004c) (Horpibulsuk et al., 2009a) 31
2.27 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของกรวดปนดินเหนียว (ข้อมูลจาก Ruenkrairergsa, 1982) (Horpibulsuk et al., 2009a) 32
2.28 กราฟ Ohio ปรับปรุงสำหรับพลังงานการบดอัดเท่ากับ 296.3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (Horpibulsuk et al., 2008a) 32
2.29 กราฟ Ohio ปรับปรุงสำหรับพลังงานการบดอัดเท่ากับ 1346.6 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (Horpibulsuk et al., 2008a) 33
2.30 กราฟ Ohio ปรับปรุงสำหรับพลังงานการบดอัดเท่ากับ 2693.3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (Horpibulsuk et al., 2008a) 33
2.31 รถบดล้อเรียบ 67
2.32 รถบดล้อยางทำงานด้วยระบบความดันลม (pneumatic-tired roller) 67
2.33 รถบดตีนแกะ 68
2.34 รถบดสั่นสะเทือน (vibrating roller) 68
2.35 a) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและจำนวนรอบของรถบดอัดที่วิ่งผ่าน (Johnson and Sallberg. 1960) 69

2.35 b) ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งกับจำนวนรอบที่รถบดอัดวิ่งผ่าน (D'Appolonia et al., 1969) 69
2.36 การประมาณความหนาของระดับชั้นของดินสำหรับความหนาแน่นสัมพัทธ์ 75% กับจำนวนรอบของรถบดอัดที่วิ่งผ่านเท่ากับ 5 รอบ 70
2.37 รูปแบบของการจัดระบบการวัดสำหรับการกระเจิงกลับของรังสีกับวัตถุเทียบได้กับการใช้เครื่องมือวัดในการวัดแบบ backscatter 79
2.38 รูปแบบของการจัดระบบการวัดสำหรับการใช้รังสีส่งผ่านวัตถุเทียบได้กับการใช้เครื่องมือวัดในการวัดแบบ direct transmission 79
2.39 รูปร่างลักษณะของเครื่องมือและตำแหน่งของ source rod positions ในการใช้งานที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน 80
2.40 การจัดเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่าความชื้นในสนาม 83
2.41 กราฟค่าความหนาที่เหมาะสมในการวัดค่าความชื้นในสนามในหน่วย pcf 83
2.42 กราฟค่าความหนาที่เหมาะสมในการวัดค่าความชื้นในสนามในหน่วย kg/m^3 top layer effect 84
2.43 กราฟผลกระทบที่เรียกว่า top layer effect ที่มีต่อการวัดค่าความแน่นแบบ backscatter ที่ความหนาต่าง ๆ กัน 85
2.44 การจัดตำแหน่งของเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบในโหมด Thin Layer 86
2.45 ส่วนประกอบของชุดวัดความชื้นและความหนาแน่นของเครื่องมือ 87
2.46 การทำ Calibration ของเครื่องมือ โดยทดสอบบนวัสดุที่รู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอน 88
2.47 การนำเครื่องทดสอบวางบนแผ่นบอล์คพาราฟินเพื่อทำ Standard count 90
2.48 การเจาะรูโดยใช้ Scraper plate (Drill Rod guid) และแท่ง Drill Rod เป็นการระบุตำแหน่งที่จะนำสารรังสีลงไปในสนามในการเลือกลักษณะการใช้งานแบบ Direct transmission โดยมีการทำสัญลักษณ์หลังจากเจาะเตรียมไว้เพื่อที่จะได้นำเครื่องมือมาวางให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง 93
2.49 การกดแท่งรังสีให้เลื่อนลงไปในรูเจาะให้ลึกตามที่ต้องการ โดยคลายล๊อคกลไกที่แขนจับ หลังจากนั้นกดปุ่มคำสั่งให้เครื่องทำงาน 95
3.1 แผนผังขั้นตอนการก่อสร้างดินคันทางหรือถนน 98
3.2 การทดสอบความแน่นในสนามรอบที่ 8 99
3.3 การทดสอบความแน่นในสนามรอบที่ 15 99

4.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นเหมาะสมห้องปฏิบัติการและ Ohio's Compaction Curves Standrad Proctor 101
4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นเหมาะสมในห้องปฏิบัติการและ Modified Ohio's Compaction Curves Modified Proctor 101
4.3 ความสัมพันธ์ค่าความแน่นแห้งและค่า ร้อยละCBR ที่พลังงานการบดอัดที่แตกต่างกันของดินเม็ดละเอียด 103
4.4 ความสัมพันธ์ค่าความแน่นแห้งและค่า ร้อยละCBR ที่พลังงานการบดอัดที่แตกต่างกันของดินลูกรัง 103
4.5 ความสัมพันธ์ค่าความแน่นแห้งและค่า ร้อละCBR ที่พลังงานการบดอัดที่แตกต่างกันของหินคลุก 104
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR/CBR_{max}และค่าγ_d /γ_{dma} 104
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละ CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (γ_d) Standrad Proctor ดินถม 105
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละ CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (γ_d) Modified Proctor (ลูกรัง) 106
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละ CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (γ_d) Modified Proctor (หินคลุก) 106
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งในสนามและจำนวนรอบการบดอัดด้วยรถบด 108
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความแน่นแห้งในสนามต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุดและจำนวนรอบการบดอัดด้วยรถบด 108

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบดอัดเป็นวิธีปรับปรุงดินที่ง่ายและได้รับความนิยมอย่างมากในการก่อสร้าง การบดอัดเป็นการไล่อากาศออกจากดินและทำให้ดินแน่นขึ้นด้วยวิธีทางกล คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินหลังปรับปรุงจะดีขึ้น อันได้แก่ กำลังต้านทานแรงเฉือนสูงขึ้น และการอัดตัวและการซึมผ่านน้ำต่ำลง สำหรับดินชนิดหนึ่ง ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดแปรผันตามปริมาณน้ำ และพลังงานการบดอัดที่พลังงานการบดอัดค่าหนึ่ง ความหนาแน่นแห้งของดินจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้น น้ำจะทำให้เม็ดดินอ่อนนุ่มและทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นให้เม็ดดินเคลื่อนตัวได้ง่าย ทำให้เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้าไปแทรกระหว่างกันได้ง่ายและทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง (ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น) แต่หากปริมาณน้ำในดินมีมากเกินไป น้ำส่วนเกินจะเข้าไปแทนที่เม็ดดินและแทรกในโพรง (Pore) และทำให้ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดลดลง ดังนั้นความหนาแน่นแห้งของดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำจนกระทั่งถึงจุดสูงสุด และจะลดลงปริมาณน้ำที่ให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด เรียกว่าปริมาณน้ำเหมาะสม (optimum water content, OWC) ที่ปริมาณน้ำในดินค่าหนึ่งความหนาแน่นแห้งของดินจะเพิ่มขึ้นได้ เมื่อเพิ่มพลังงานการบดอัด

ในทางปฏิบัติ การบดอัดในสนาม จะทำได้ก็ต่อเมื่อทราบผลทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ (ปริมาณน้ำเหมาะสม และความหนาแน่นแห้งสูงสุด) การบดอัดในสนามทำโดยอาศัยรถบดอัดจนได้ความหนาแน่นแห้งใกล้เคียงกับผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ หน่วยงานหลัก เช่น กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง และกรมทางหลวงชนบท มีข้อกำหนดในการบดอัดดังนี้ ความหนาแน่นแห้งในสนามต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งในสนามสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ และปริมาณน้ำในดินต้องมีค่าอยู่ระหว่าง -3OMC และ +3OMC การบดอัดในสนามจะเป็นแบบนวด (kneading) ด้วยรถบดอัดและให้พลังงานการบดอัดดินแก่ดินผ่านจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด วิ่งยิ่งมากพลังงานการบดอัดที่ให้แก่ดินก็ยิ่งมากตาม รถบดอัดที่ใช้กับงานถนน ได้แก่ รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง และ รถบดสั่นเทือน การทำงานบดอัด และควบคุมงานบดอัดแน่นในสนาม ไม่มีมาตรฐานควบคุมจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด คนขับรถบดอัดส่วนใหญ่ อาศัยประสบการณ์ในการบดอัดโดยพยายามวิ่งให้ได้จำนวนเที่ยวมากที่สุดเพื่อให้ได้ความหนาแน่นแห้งที่กำหนด ผู้ควบคุมงานจะตรวจสอบความหนาแน่นในสนามด้วยวิธีแทนที่ด้วยทราย (sand cone method) และนิวเคลียร์ (nuclear) หากความ

หนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำในดินไม่ได้ตามข้อกำหนด ผู้รับจ้างต้องทำการบดอัดใหม่ จะเห็นได้ว่าจำนวนเที่ยวของรถบดอัดมีความสำคัญอย่างมาก ต่อการบดอัดและควบคุมการทำงาน หากจำนวนเที่ยวการบดอัดน้อยเกินไป ความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำในดินไม่ได้ตามข้อกำหนด แต่หากจำนวนเที่ยวการบดอัดมากเกินไป ถึงแม้ความหนาแน่นแห้งในสนามจะได้ตามข้อกำหนด แต่ก็เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ทั้งแรงงาน น้ำมันเชื้อเพลิง และความเสื่อมสภาพของรถบดอัด

งานวิจัยนี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลผลบดอัดและการทดสอบซี บี อาร์ ในห้องปฏิบัติการจากสำนักทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) กรมทางหลวงชนบท เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ซี บี อาร์ และหน่วยน้ำหนักของดินเม็ดละเอียด ลูกรัง และหินคลุกที่มีขนาดคละตามมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท นอกจากนี้ จะศึกษาการพัฒนาความแน่นแห้งของเม็ดดินละเอียดบดอัดในสนามกับจำนวนเที่ยววิ่ง ผลการศึกษาทั้งหมดนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมคุณภาพงานทางและช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบดอัด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อรวบรวมข้อมูลความแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density, $\gamma_{d,\max}$) และปริมาณความชื้นเหมาะสม (optimum water content, OWC)ในห้องปฏิบัติการของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุกเปรียบเทียบกับOhio's compaction curve
2. เพื่อรวบรวมค่า CBRจากห้องปฏิบัติการ และนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด ($\gamma_{d,\max}$) ความสัมพันธ์นี้สามารถใช้ประมาณค่า CBR เมื่อทราบค่าความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดหรือจากการประมาณด้วยกราฟ Ohio's compaction curve
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่าง ความแน่นแห้งในสนาม และจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด
4. เพื่อนำเสนอขั้นตอนการบดอัดในสนามที่มีประสิทธิภาพ (ได้ความแน่นตามข้อกำหนดและลดต้นทุนการบดอัด)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยสองส่วนหลัก: การเก็บรวมรวมผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการเก็บรวบรวมผลทดสอบในสนาม ผลทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยผลทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดิน ผลทดสอบการบดอัดดิน และผลทดสอบ CBR ดินตัวอย่างที่เก็บ

รวบรวม ได้แก่ ดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ข้อมูลผลการศึกษารวบรวมจากสำนักงานทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) กรมทางหลวงชนบท ซึ่งเป็นกำกับดูแลงานในพื้นที่ตอนกลางของประเทศไทย ดินเม็ดละเอียดถูกบดอัดด้วยพลังงานมาตรฐานของ Proctor ในขณะที่ดินลูกรังและหินคลุกถูกบดอัดด้วยพลังงานสูงกว่ามาตรฐานของ Proctor ผลทดสอบการบดอัดจะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ Ohio's compaction curve ผลทดสอบ CBR และผลทดสอบการบดอัด จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และความหนาแน่นแห้งสูงสุด ผลทดสอบในสนามประกอบด้วยความหนาแน่นแห้งในสนาม ปริมาณความชื้นเหมาะสม และจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด ความหนาแน่นแห้ง และปริมาณน้ำในสนามวัดโดยชุดตรวจวัดนิวเคลียร์ ผลทดสอบในสนามจะนำมาสร้าง ความเข้าใจถึงการพัฒนาความหนาแน่นแห้ง และจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และในสนามจะนำมาวิเคราะห์ ร่วมกันเพื่อนำเสนอขั้นตอนการบดอัดในสนามที่มีประสิทธิภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ Ohio's compaction curve ในการประมาณความแน่นแห้งและปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ที่บดอัดในห้องปฏิบัติการ
2. ทราบความสัมพันธ์ระหว่างCBR และความหนาแน่นแห้งสูงสุด ($\gamma_{d,\max}$)ของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ที่กระจายขนาดของเม็ดดิน ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงชนบท
3. ทราบลักษณะการพัฒนาความหนาแน่นแห้งในสนามตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด
4. ได้ขั้นตอนการทำงาน และควบคุมงานบดอัด ที่มีประสิทธิภาพ

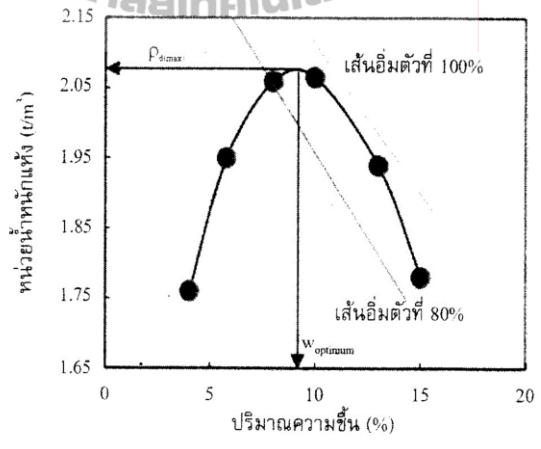
บทที่ 2
ปริทัศน์ วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานบดอัดดินเป็นงานก่อสร้างที่สำคัญอีกงานหนึ่งในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค เช่น การก่อสร้างคันดิน (raised embankment) งานถมดินหลังกำแพงกันดิน (backfill behind retraining wall) บดอัดกลบดิน (Backfilled trench) ตลอดจนงานเขื่อนดิน (earth dam) ซึ่งการบดอัดดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างมีความจำเป็นอย่างมาก ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาทั้งทางด้านทฤษฎีการบดอัดดิน การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบในสนามเพื่อประกอบการออกแบบโครงสร้างดังกล่าว

2.2 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor (1930)

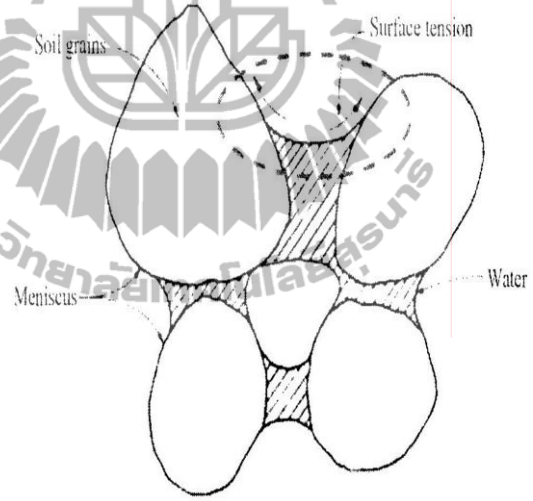
ทฤษฎีพื้นฐานการบดอัดดินสำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R.Proctor (1930) โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (proctor, 1933) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (typical compaction curve)

Proctor ได้กล่าวถึงกลไกของการเกิดเส้นการบดอัดดังแสดงในรูปที่ 2.1 ไว้ว่าประสิทธิภาพของการบดอัดดินถูกกำหนดโดยแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน โดยแบ่งการบดอัดดินเป็น 2 ด้านคือ ด้านแห้งและด้านเปียก สำหรับการบดอัดดินที่แห้งมากๆ ดินจะมีแรงเสียดทานที่สูง

มาก เนื่องจากแรงตึงผิวที่เกิดจากความชื้นคาพิลลารี่ (Capillary Moisture) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นผลให้การบดอัดดินทำได้ยาก แต่เมื่อเติมน้ำเข้าไปในดินที่แห้งมากๆ น้ำจะไปลดแรงคาพิลลารี่ และเป็นผลให้แรงเสียดทานลดลงไปด้วย ถ้าเติมน้ำเข้าไปอีกเรื่อยๆ จนน้ำไปสลายแรงเสียดทานได้แล้ว น้ำก็จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้เม็ดดินเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ จนถึงปริมาณน้ำที่เต็มช่องว่างในช่วงหนึ่งก็จะทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยเรียกจุดที่ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดว่า maximum dry density และเรียกปริมาณความชื้นที่จุดนี้ว่า optimum moisture content หลังจากจุดนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่เนื้อดิน ทำให้เนื้อดินที่มีในปริมาตรที่เท่ากันลดลง อีกทั้งเกิดจากความถ่วงจำเพาะของน้ำน้อยกว่าดิน ในขณะที่ความหนาแน่นเปียกมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นในดินสูงมากๆ พบว่าดินจะอยู่ในสภาพอ่อนตัว ซึ่งไม่อยู่ในสภาพที่สามารถรับน้ำหนักได้อีกต่อไป

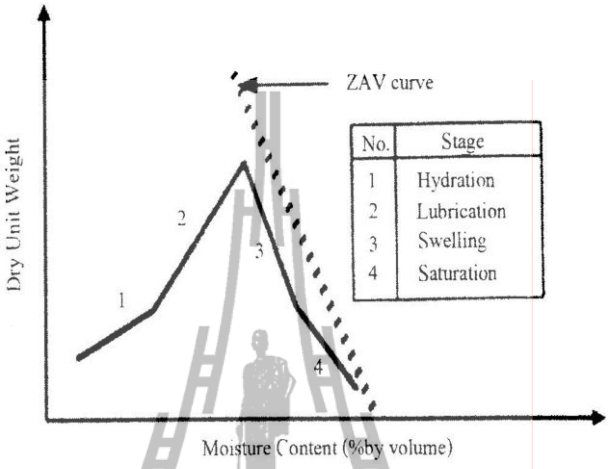


รูปที่ 2.2 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ

2.3 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hogentogler (1936)

Hogentogler นำเสนอเส้นกราฟการบดอัดที่แตกต่างกับ Proctor กล่าวคือ เขาได้นำเสนอเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (dry density) กับปริมาณความชื้นในรูปของปริมาณน้ำต่อปริมาตรรวม (molding moisture content: V_w/V) โดยลักษณะของเส้นกราฟแสดงด้วยเส้นตรง 4 เส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งสาเหตุที่เขาได้นำเสนอการพล็อตเส้นกราฟแบบนี้

เนื่องจากเขาพบว่าน้ำมีบทบาทอยู่ 4 ส่วน แบ่งได้เป็น 4 ช่วงที่มีผลทำให้ดินเกิดความหนาแน่นแห้งสูงสุด และทำให้โครงสร้างของดินบดอัดมีความแตกต่างกันโดยมีรายละเอียดแต่ละช่วง



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นนำเสนอโดย Hogentogler

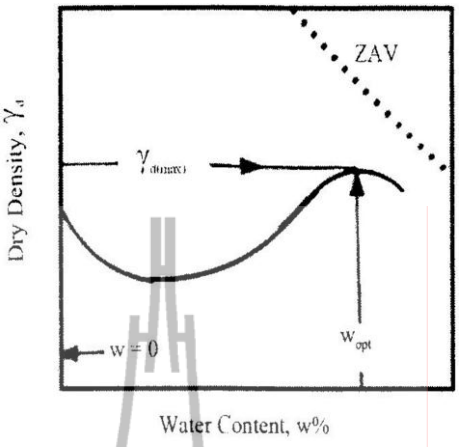
1. Hydration Stage เขากล่าวว่าในช่วงนี้น้ำจะถูกดูดซึมโดยอนุภาคของดินในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ห่อหุ้มอนุภาคดิน ในลักษณะเดียวกับเมื่อพรมน้ำลงไปในดินแห้ง ในช่วงแรกอนุภาคดินจะดูดซึมน้ำทันทีเพื่อไปห่อหุ้มอนุภาคดินก่อน โดยน้ำส่วนกลางที่จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นนั้นยังไม่มี
2. Lubrication Stage ในช่วงนี้น้ำจะมีบทบาทเป็นสารหล่อลื่น เป็นผลให้ดินเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ในลักษณะที่มวลดินมีความแน่นขึ้น โดยยังคงมีอากาศอยู่ในมวลดินบางส่วน นั่นหมายถึงความหนาแน่นแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อถึงจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม (optimum moisture content; OMC) จะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าสูงสุด (maximum dry density)
3. Swelling Stage ในช่วงนี้เกิดจากการเติมน้ำที่เกินปริมาณน้ำที่เหมาะสม อากาศในส่วนที่มีอยู่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปริมาตรของมวลดินมีค่าน้อยอยู่แล้วและอยู่ในสภาพที่แน่น ซึ่งจะไม่ให้อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้นเมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกมวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้นเมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก มวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่

4. Saturation Stage ในช่วงนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก น้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างที่เหลืออยู่ในมวลดิน เป็นผลให้ระดับความอิ่มตัว (degree of saturation) เพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นอากาศเป็นศูนย์ (Zero Air Void; ZAV)

ดังที่ Hogentogler ได้อธิบายไว้ข้างต้น มักจะประยุกต์ใช้โดยตรงกับดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับ Proctor

2.4 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Buchanan (1942)

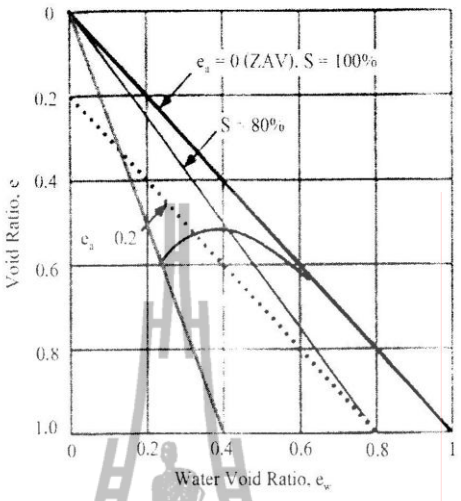
เขาได้อธิบายเส้นกราฟการบดอัดของดินเม็ดหยาบ โดยเขาพบว่า นอกจากจุดที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ปรากฏบนเส้นกราฟการบดอัดแล้ว ก่อนถึงด้านแห้งของการบดอัดจะมีจุดที่แสดงถึงค่าความหนาแน่นแห้งต่ำสุดดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งเขาได้อธิบายถึงช่วงที่ดินมีความหนาแน่นแห้งลดลงจนถึงจุดที่มีค่าความหนาแน่นแห้งต่ำสุดว่า ถ้าหากเริ่มบดอัดดินเม็ดหยาบที่แห้งมากๆ หรือดินที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับศูนย์ เมื่อเติมน้ำเข้าไปในช่วงแรกจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลงจนถึงจุดความหนาแน่นแห้งต่ำสุด เมื่อเลยจุดนี้ไปก็จะเข้าสู่เส้นกราฟการบดอัดปกติ ซึ่งถ้าสังเกตจากเส้นกราฟพบว่า เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นแห้งที่จุดปริมาณความชื้นเท่ากับศูนย์กับจุดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด จะมีช่วงความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย และเขาได้กล่าวในเชิงวิชาการไว้ว่า สำหรับกรณีของทรายที่มีความแห้งมากๆ เมื่อเติมน้ำในช่วงแรก อนุภาคดินจะจับตัวกันด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ของน้ำในลักษณะคล้ายกระจุกของก้อนดินหรือทรายรอบตัวเอง ที่เรียกว่า Arching Effect ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดช่องว่างในมวลดินมากขึ้น โดย Arching Effect จะพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ความหนาแน่นแห้งต่ำสุด ดังนั้นปฏิกิริยาของน้ำที่เติมในช่วงแรกๆ จะแตกต่างจากกรณีของ Hogentrogler และ Proctor เนื่องจากดินทรายไม่มีประจุลบ ดังนั้นเมื่อเติมน้ำจะเกิดแรงตึงผิวทำให้เกิดแรงยึดแน่นปรากฏ (apparent cohesion) และเมื่อเติมน้ำมากขึ้นแผ่นฟิล์มจะมีความหนาขึ้น มีผลทำให้ Arching Effect ลดน้อยลงไป เป็นผลให้แรงดึงดูดของแรงตึงผิวลดลงตามลำดับ แล้วอนุภาคดินก็เริ่มจัดเรียงตัวกันใหม่ และหลังจากนั้นก็จะเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้วแต่เขาได้ให้ความหมายของ OMC แตกต่างจากคนอื่น กล่าวคือ OMC คือน้ำที่มีอยู่พอดีในมวลดินบดอัดที่ทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไปสลายแรงตึงผิวพอดี ที่เรียกว่า neutralizes surface tension และเมื่อมีพลังงานบดอัดมากระทำ จึงทำให้ทรายจัดเรียงตัวกันใหม่ทำให้ทรายแน่นขึ้น จนสุดท้ายถึงจุดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด เมื่อน้ำสูงขึ้นเกิน OMC ดินก็จะอ่อนตัวลง เป็นผลให้ความหนาแน่นแห้งลดลง โดยสรุปแล้ว ในการบดอัดดินทราย การที่จะให้ได้ความหนาแน่นแห้งค่อนข้างดี คือช่วงที่ทรายแห้งมากๆ และช่วงความชื้นที่ค่อนไปทางด้านเปียกไปแล้ว



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Buchanan

2.5 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hilf (1956)

เขาได้นำเสนอแนวความคิดใหม่ โดยวางอยู่บนพื้นฐานของแรงดันน้ำในช่องว่าง (pore water pressure) และแรงดันอากาศในช่องว่าง (pore air pressure) ที่มีอยู่ในมวลดินที่บดอัด เขากล่าวไว้ว่า ดินแห้งเป็นดินที่บดอัดได้ยาก เนื่องจากภายในมวลดินมีแรงเสียดทานมากซึ่งเกิดจากแรงคาพิวลารี่ อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่ดินมีความแห้งมากๆ มวลดินจะมีช่องว่างอยู่มาก การบดอัดจึงไปไล่อากาศให้ออกไปได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเติมน้ำเพิ่มขึ้นแรงตึงผิวก็จะลดลง ทำให้แรงเสียดทานลดลงด้วย โดยความแน่นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปจนกระทั่งถึงปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) ก็จะได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) เขากล่าวว่า ประสิทธิภาพที่น้อยลงไปจากการบดอัดเมื่อเติมน้ำเลยจุด OMC เนื่องจากอากาศถูกกักเอาไว้และเกิดการสะสมกันเป็นแรงดันอากาศในมวลดิน เขาได้เสนอเส้นกราฟการบดอัดโดยการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง (void ratio; e) และอัตราส่วนน้ำในช่องว่าง (water void ratio; e_w) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงผลของการบดอัดดินนำเสนอโดย Hilf

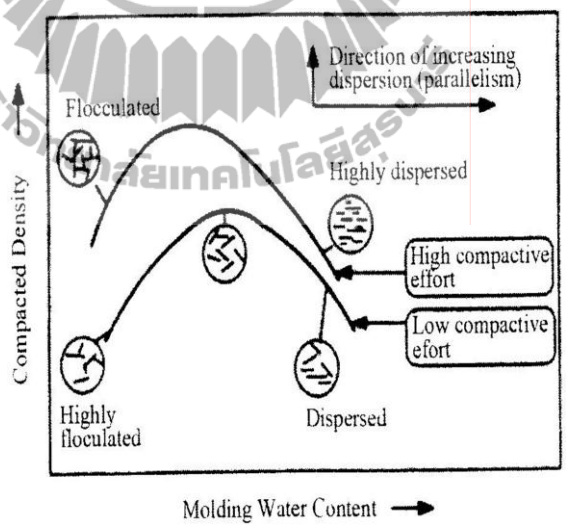
โดยพบว่า ที่จุด OMC ค่าอัตราส่วนช่องว่างจะมีค่าน้อยที่สุด โดยจุดเริ่มต้นของเส้นกราฟเป็นจุดที่ค่าอัตราส่วนช่องว่างมาก และมีค่าระดับความอิ่มตัวน้อย เมื่อบดอัดไปก็จะได้ค่าอัตราส่วนช่องว่างที่น้อยที่สุด ซึ่งจุดนี้สามารถจะหาค่าสัดส่วนของอากาศได้ด้วย และพบว่าที่ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ค่าระดับความอิ่มตัวจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 วิธีของ Hilf ทำให้ง่ายต่อการหาค่าระดับความอิ่มตัวที่จุดต่างๆ บนเส้นกราฟการบดอัด และสามารถหาปริมาณอากาศที่ความชื้นต่างๆ ได้ด้วย

2.6 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Lambe (1985)

เขาได้เริ่มนำผลจากการดูโครงสร้างภายในดินเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัด โดยเขาสนใจว่าคุณสมบัติของดินที่บดอัดทางด้านเปียกและทางด้านแห้งมีความแตกต่างกันเกิดจากสาเหตุใด เขาสังเกตจากปัจจัยหลายๆ อย่างพบว่า ในความเป็นจริงแล้ว การบดอัดในสนามไม่สามารถบดอัดดินให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ดังนั้นในการเติมน้ำจะมีช่วงหนึ่งที่เมื่อเติมน้ำเข้าไปในช่วงนี้แล้วคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นไปตามที่ต้องการ แต่เมื่อเติมน้ำเกินช่วงนี้ไปเป็นช่วงที่เขาไม่แนะนำ ซึ่งเขาให้เหตุผลจากการพิจารณาดูโครงสร้างภายในของดินเหนียว พบว่า ในช่วงการบดอัดดินทางด้านแห้ง ลักษณะโครงสร้างของดินจับตัวกันเป็นกระจุก โดยเมื่อพิจารณาที่ความชื้นเดียวกัน การใช้พลังงานบดอัดต่ำ ความเป็นกระจุกของดินมีมาก และจะน้อยลงเมื่อใช้พลังงานการบดอัดที่สูง เป็นผลให้โครงสร้างของดินชิดกันมากขึ้นด้วย เมื่อเติมน้ำเข้าไปโดยที่พลังงานคงที่ สังเกตเห็นว่าโครงสร้างของดินแน่นขึ้น อัตราส่วนช่องว่างลดลง

จนกระทั่งเกินจุด OMC ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างดินจะเป็นแบบขนานกันมากขึ้น เมื่อความชื้นยิ่งมากขึ้น ความเป็นระเบียบของโครงสร้างดินก็ยิ่งมากขึ้นตาม การที่โครงสร้างดินจัดเรียงตัวกันในแนวขนานถือว่าไม่ดี เพราะว่าเป็นระนาบที่อ่อนแอที่สุด โดยสรุปแล้วเขาพยายามตอบคำถามว่าทำไมจุดที่มีความหนาแน่นแห้งเท่ากันแต่ปริมาณน้ำไม่เท่ากัน เมื่อเขาใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูพบว่าการบดอัดดินในด้านแห้งมีผลทำให้โครงสร้างดินเป็นแบบระเกะระกะ (flocculated structure) ในทางตรงกันข้าม เมื่อเติมน้ำเกินจุด OMC เป็นการบดอัดทางด้านเปียก มีผลทำให้โครงสร้างดินเป็นแบบขนาน (dispersed structure) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นแห้งเท่ากัน โดยเปรียบเทียบดินบดอัดทางด้านแห้งกับดินบดอัดทางด้านเปียกพบว่า

- กำลังของดินสูงกว่า เนื่องจากความเครียด (strain) ของดินต่ำกว่า
- ค่าความซึมได้ของน้ำสูงกว่า เนื่องจากในมวลดินมีช่องว่างมากกว่า
- มีการหดตัวน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณน้ำในมวลดินมีน้อยกว่า
- มีค่าการบวมตัวมากกว่า เนื่องจากมีช่องว่างที่น้ำสามารถสัมผัสกับพื้นผิวได้มากกว่า



รูปที่ 2.6 ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน

2.7 เส้นโค้งการบดอัดดิน (compaction curve)

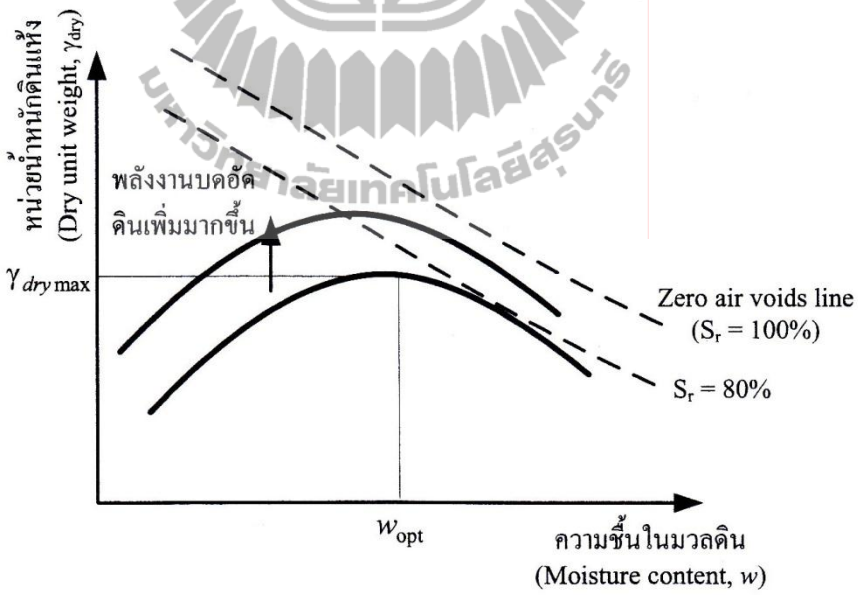
ทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาใช้ในงานบดอัดดิน คือ สมการความสัมพันธ์ของหน่วยน้ำหนักดินแห้งกับระดับขั้นความอิ่มตัวด้วยน้ำ

$$\gamma_{dry} = \left(\frac{G_s}{1+e}\right)\gamma_w = \left(\frac{G_s}{1+wG_s/S_r}\right)\gamma_w \qquad \text{.....(2.1)}$$

การบดอัดดินให้แน่นที่สุดในทางทฤษฎีคือ การพยายามทำให้หน่วยน้ำหนักดินแห้งมากที่สุด ($\gamma_{dry\ max}$) ถ้าพิจารณาจากสมการที่ 2.1 การที่ดินจะมีหน่วยน้ำหนักดินแห้งสูงสุดนั้น ดินจะต้องมีอัตราส่วนช่องว่างต่ำที่สุด (e_{min}) และจากความสัมพันธ์ที่ว่า $e = wG_s / S_r$ การจะควบคุมให้ e_{min} นั้นจะต้องให้ดินมีค่า $S_r = 1$ และ $w = w_{opt}$ (optimum water content) กล่าวคือ

1. $S_r = 1$ หมายถึง ดินจะต้องอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ
2. w_{opt} หมายถึง ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ไม่แห้งจนเกินไป (เพราะถ้าแห้งไปดินจะไม่อยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ) และไม่มากจนเกินไป (เพราะจะทำให้อัตราส่วนช่องว่างมากขึ้น)

ถ้านำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดิน (แกนนอน) มาเขียนกับหน่วยน้ำหนักดินแห้ง (แกนตั้ง) ของการบดอัดดิน ซึ่งเรียกว่าเส้นโค้งการบดอัดดิน (Compaction curve) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งการบดอัดดิน (compaction curve)

จากเส้นโค้งการบดอัดดินในรูปที่ 2.7 พบว่าหน่วยน้ำหนักดินแห้งในตอนแรกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในมวลดินมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่ทำให้หน่วยน้ำหนักดินแห้งสูงสุด (maximum dry unit weight, ($\gamma_{dry\ max}$) และเรียกปริมาณน้ำ ณ จุดนี้ว่า ปริมาณน้ำเหมาะสม

(Optimum water content, w_{opt}) และเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าจุดนี้จะทำให้หน่วยน้ำหนักดินแห้งลดลง

ในทางปฏิบัติแล้ว การที่จะบดอัดดินให้อยู่ในสภาพทางทฤษฎีนั้นเป็นไปได้ยาก เพราะว่าการบดอัดดินนอกจากจะขึ้นกับปริมาณน้ำแล้ว ยังขึ้นกับระดับพลังงานกล (Mechanical energy) ที่กระทำกับดินที่บดอัดอีกด้วย โดยพลังงานที่ให้กับดินขณะทำการบดอัดจะต้องมีค่าสูงเพียงพอที่จะขับไล่ฟองอากาศให้ออกจากมวลดิน จนทำให้ดินอยู่เข้าใกล้สภาวะไร้ช่องว่างอากาศ (Zero air voids) จากรูปที่ 2.7 เมื่อเพิ่มพลังงานการบดอัดดิน จะพบว่าเส้นโค้งการบดอัดดินจะเคลื่อนตัวมาทิศทางบนซ้าย โดยหน่วยน้ำหนักดินแห้งสูงสุด จะมีค่ามากขึ้น แต่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม w_{opt} จะมีค่าลดลง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเส้นโค้งการบดอัดดินจะถูกควบคุมด้วยเส้นไร้ช่องว่างอากาศ (Zero air voids line) เส้นโค้งการบดอัดดินจะไม่ตัดเส้นไร้ช่องว่างอากาศ สมการเส้นไร้ช่องว่างอากาศจะหาได้จากสมการที่ 2.1 และแทนค่า $S_r = 1$ นั่นคือ

Zero air void line: $$\gamma_{dry} = \left(\frac{G_s}{1 + wG_s} \right) \gamma_w \qquad \text{.....(2.2)}$$

2.7.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบดอัดดิน

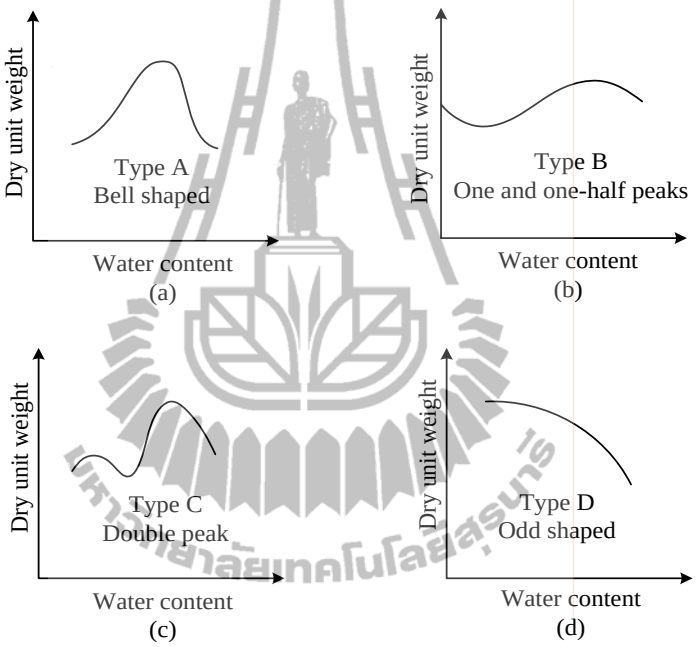
ดังได้อธิบายแล้วข้างต้นว่าปริมาณความชื้นในดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อความหนาแน่นของดินบดอัดนอกเหนือจากปริมาณความชื้นแล้ว ยังมีปัจจัยอีกสองปัจจัย ซึ่งก็คือชนิดของดิน และพลังงานในการบดอัด

2.7.2 ชนิดของดิน

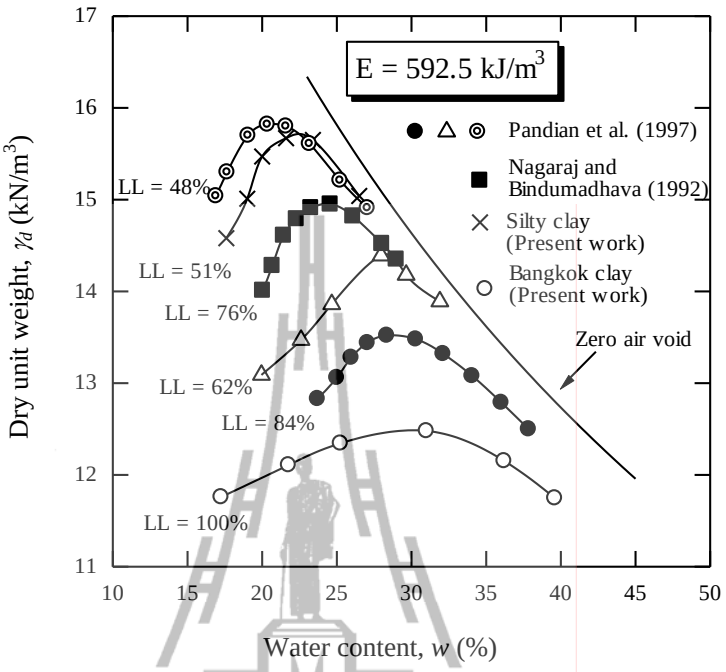
ชนิดของดินในที่นี้ครอบคลุมถึง การกระจายของเม็ดดิน รูปร่างของเม็ดดินความถ่วงจำเพาะของดินและปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว

Lee and Suedkamp (1972) ศึกษากราฟการบดอัดดินของดินที่แตกต่างกัน 35 ชนิด และพบว่ากราฟเหล่านั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ชนิดหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ชนิด A เป็นกราฟที่มีจุดยอดเพียงจุดเดียว โดยทั่วไปมักพบในดินที่มีขีดจำกัดเหลวประมาณร้อยละ 30-70 ชนิด B คือกราฟที่มี 1 จุดยอด และครึ่งจุดยอด ชนิด C คือกราฟที่มีสองจุดยอด กราฟชนิด B และ C มักพบในดินที่มีขีดจำกัดเหลวน้อยกว่าร้อยละ 30 ชนิด D คือกราฟที่ไม่แสดงจุดยอดที่ชัดเจน ดินที่มีขีดจำกัดเหลวมากกว่าร้อยละ 70 อาจแสดงลักษณะกราฟเป็นแบบชนิด C หรือ D ซึ่งเป็นลักษณะกราฟที่ไม่ค่อยพบเห็น

สำหรับการบดอัดดินเหนียว Horpibulsuk (2005) แสดงให้เห็นว่า เส้นกราฟการบดอัดแปรผันอย่างมากกับขีดจำกัดเหลว ขีดจำกัดเหลวยิ่งมาก หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดยิ่งมีค่าน้อยลง ในขณะที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมยิ่งมีค่ามากขึ้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงผลทดสอบการบดอัดของดินชนิดต่างๆ ที่พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor test) การที่ขีดจำกัดเหลวมีอิทธิพลต่อเส้นกราฟการอัดตัวคายน้ำ เนื่องจากขีดจำกัดเหลวเป็นพารามิเตอร์ที่สะท้อนผลของแร่ดินเหนียวและของเหลวในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (pore fluid)



รูปที่ 2.8 เส้นโค้งการบดอัดดินของดินชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.9 กราฟการบดอัดของดินเหนียวชนิดต่างๆ ที่พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Horpibulsuk et al., 2005)

Gurtug and Sridharan (2002) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นเหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินเม็ดละเอียด (fine-grained soil) ที่บดอัดแบบวิธีมาตรฐาน (standard Proctor test) มีความสัมพันธ์โดยตารางกับพิกัดพลาสติก ดังนี้

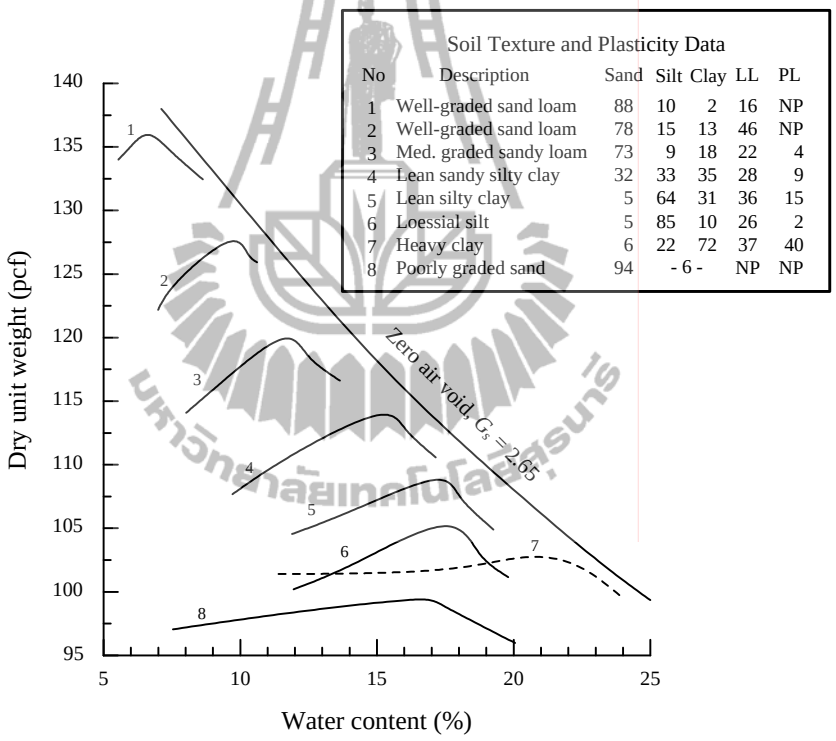
$$OMC = 0.92PL \qquad \text{.....(2.3)}$$

$$\gamma_{d\,max} = 0.98\gamma_{dPL} \qquad \text{.....(2.4)}$$

เมื่อ γ_{dPL} คือหน่วยน้ำหนักแห้งที่พิกัดพลาสติก คำนวณโดยสมมติว่าพิกัดพลาสติกมีระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ เท่ากับร้อยละ 100 ความสัมพันธ์นี้ช่วยให้สามารถประมาณจุดเหมาะสม (Optimum point) ได้อย่างทันที เมื่อทราบค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก

รูปที่ 2.4 แสดงอิทธิพลของชนิดของดินต่อลักษณะการบดอัด กราฟการบดอัดมีลักษณะแบนสำหรับทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ (Uniformly graded sand) ในทางตรงกันข้าม ทรายที่มีขนาด

คละดี (Well-graded sand) จะแสดงผลทดสอบที่มีจุดยอดอย่างเห็นได้ชัดสำหรับดินเม็ดละเอียดดินที่มีขีดจำกัดเหลวสูง จะมีหน่วยน้ำหนักแห้งต่ำ และปริมาณความชื้นเหมาะสมสูง ดินตะกอนจะแสดงกราฟที่เห็นจุดยอดได้ชัดเจน ขณะที่กราฟการบดอัดดินเหนียวจะมีลักษณะแบน ดินตะกอนเป็นดินที่ไวต่อปริมาณความชื้น กล่าวคือสำหรับพลังการบดอัดค่าหนึ่ง ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะมีผลอย่างมากต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง ส่วนดินเหนียวเป็นดินที่ไวต่อพลังงาน การเปลี่ยนแปลงพลังงานการบดอัดเพียงเล็กน้อยมีผลกระทบต่อหน่วยน้ำหนักแห้งอย่างมาก



รูปที่ 2.10 อิทธิพลของชนิดดินต่อการบดอัดแบบมาตรฐาน (Johnson and Sallberg. 1960)

2.8 พลังงานการบดอัด

พลังงานการบดอัดต่อปริมาตร 1 หน่วย (E) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E = \frac{NB \times NL \times W \times H}{V_{(m)}} \qquad .....(2.5)$$

เมื่อ NB = จำนวนการตกกระทบของค้อนใน 1 ชั้น (number of blows per layer)

NL = จำนวนชั้นของการบดอัด (number of layers)

W = น้ำหนักของค้อน (weight of hammer)

H = ระยะตกกระทบของค้อน (height of drop of hammer)

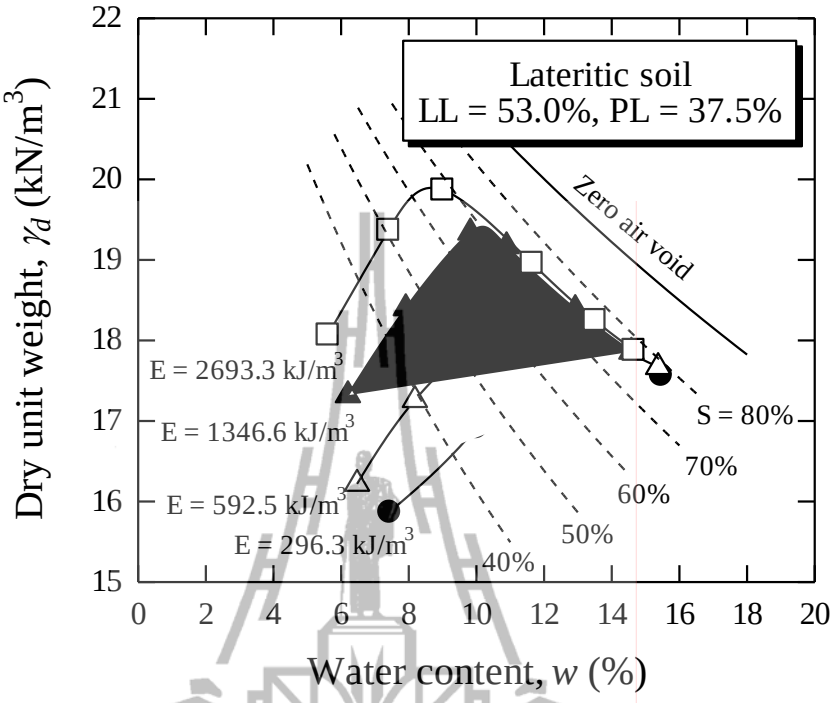
ดังนั้น พลังงานการบดอัดต่อปริมาตร 1 หน่วย ในแบบหล่อขนาด 4 นิ้ว สำหรับการบดอัดแบบมาตรฐาน (E_{st}) และแบบสูงกว่ามาตรฐาน (E_{mod}) คือ

$$E_{st} = \frac{(25)(3)(5.5)(1)}{1/30} = 12{,}375 \text{ ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต} = 592.5 \text{ กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$E_{mod} = \frac{(25)(5)(10)(1.5)}{(1/30)} = 56{,}250 \text{ ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต}$$

$$= 2693.3 \text{ กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร}$$

ถ้าพลังงานการบดอัดเปลี่ยนไป กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักแห้งจะเปลี่ยนแปลงด้วย รูปที่ 2.11 แสดงผลทดสอบการบดอัดของดินลูกรัง จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่พลังงานบดอัดต่างๆ ดินลูกรังประกอบด้วยกรวดเป็นมวลหลักในปริมาณร้อยละ 70 ส่วนที่เหลือเป็นทราย ดินตะกอน และดินเหนียว ดินนี้จัดอยู่ในกลุ่ม SC โดยการจำแนกตามระบบ Unified (USCS)



รูปที่ 2.11 อิทธิพลของพลังงานบดอัดต่อกราฟการบดอัดของดินลูกรัง (Horpibulsuk et al., 2004)

จากรูปที่ 2.11 เราสามารถสรุปได้ว่า

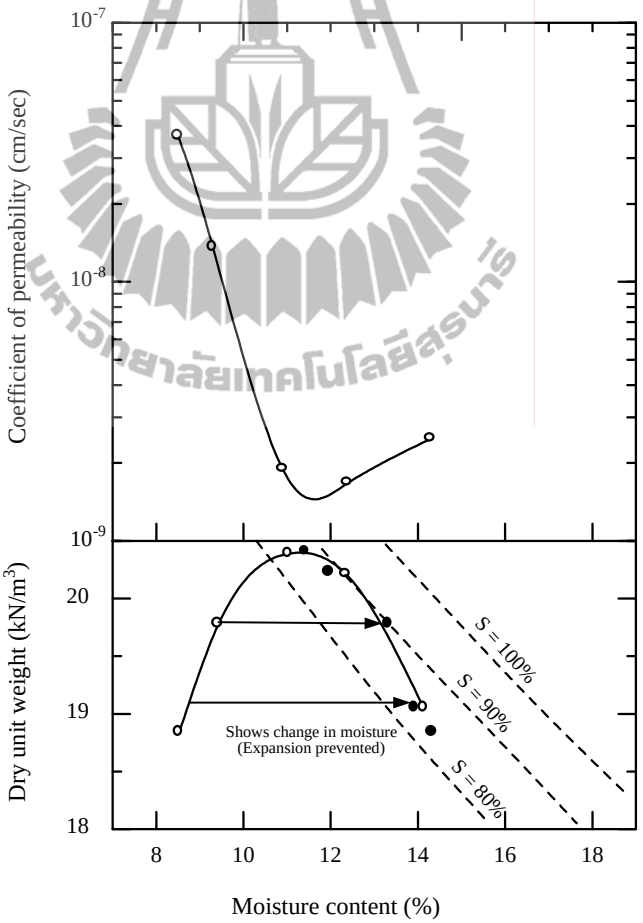
1. หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นตามพลังงานการบดอัดที่เพิ่มขึ้น
2. ปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าลดลงตามการเพิ่มของพลังงานการบดอัด

2.9 การบดอัดและคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม

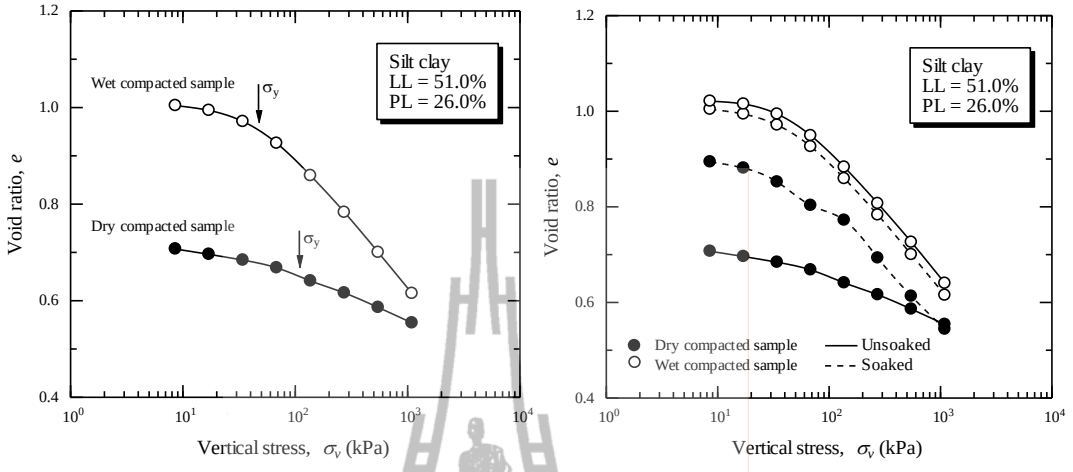
ในกรณีของดินเหนียว การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นส่งผลให้ความสามารถในการไหลซึมลดลงในด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสม (dry side of optimum moisture content) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจะมีค่ามากขึ้นในด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2.12 นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของพลังงานการบดอัดจะช่วยลดสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ เพราะเป็นการช่วยเพิ่มความหนาแน่นแห้งสูงสุด

เพื่อความเข้าใจถึงลักษณะการอัดตัวคายน้ำของดินบดอัด ผู้เขียนได้ทำการบดอัดดินเหนียวปนดินตะกอน ที่เก็บจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และนำเสนอผลทดสอบดังรูปที่ 2.13 ซึ่งแสดงอิทธิพลของปริมาณความชื้นที่ทำการบดอัดต่อการทรุดตัวของดินเหนียวปนดินตะกอนบดอัดสองตัวอย่างที่มีหน่วยน้ำหนักแห้งเท่ากัน (ร้อยละ 95 ของหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด) ตัวอย่างหนึ่ง

บดอัดที่ด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสม อีกตัวอย่างบดอัดที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม จากผลทดสอบพบว่าดินที่บดอัดด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสมมีความสามารถต้านการทรุดตัวมากกว่า ดังจะเห็นได้จากความชันของกราฟมีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้ ดินที่บดอัดที่ด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสมยังมีค่าความเค้นคราก (σ_y) สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตาม ดินบดอัดที่ด้านแห้งจะได้รับผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างมาก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (Expansive due to wetting) ในขณะที่ ดินบดอัดด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม จะเกิดการอัดตัวเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น แต่อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณความชื้นมีน้อยมาก เนื่องจากดินบดอัดด้านเปียกมีระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำใกล้เคียง ร้อยละ 100 ดังแสดงในรูปที่ 2.13b



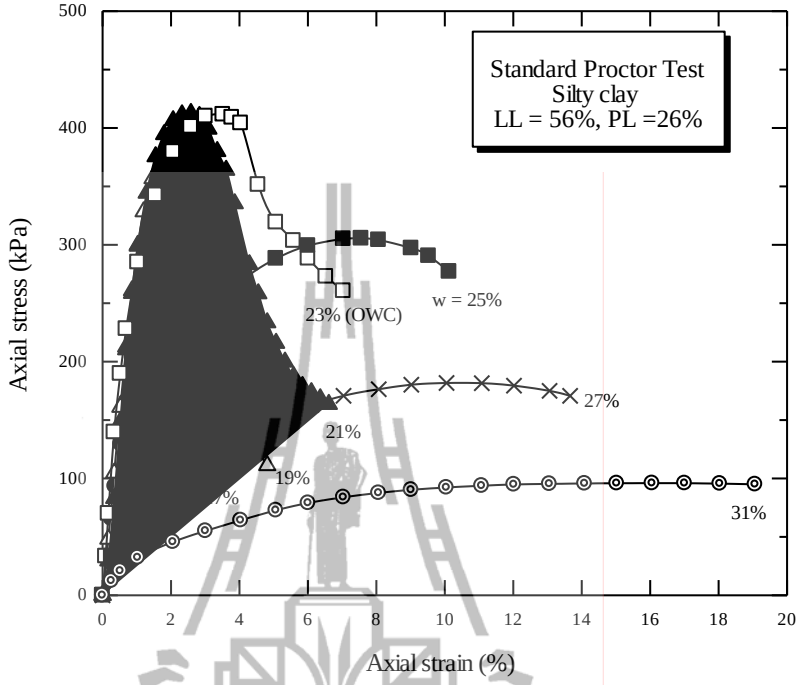
รูปที่ 2.12 การทดสอบความซึมผ่านได้และการบดอัดดิน Siburua (Lambe, 1962)



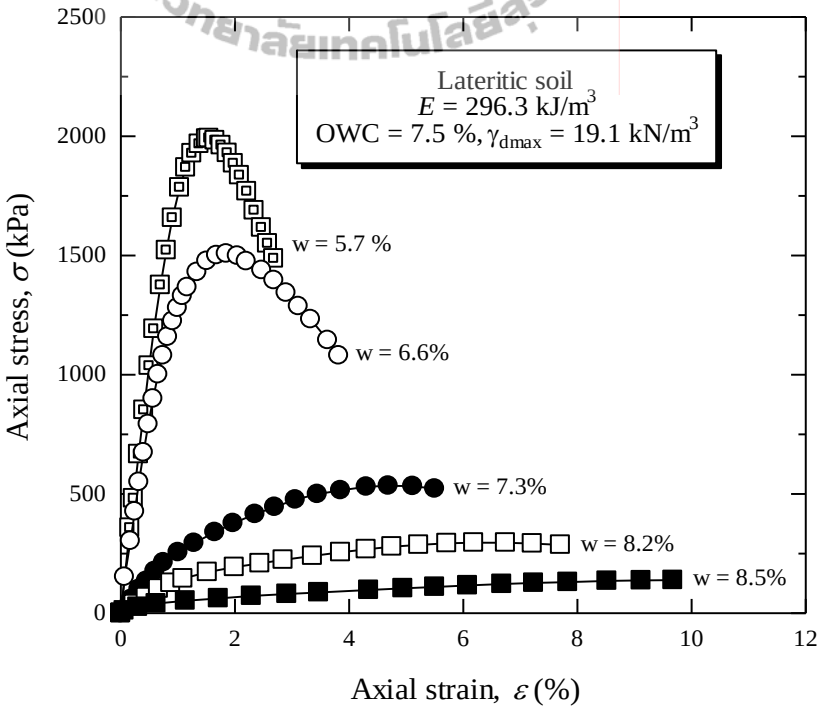
รูปที่ 2.13 ลักษณะการอัดตัวของดินตะกอนปนดินเหนียวบดอัดที่ด้านแห้งและด้านเปียกของปริมาณ ความชื้นเหมาะสม (b) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (สุขสันติ์, 2545)

อิทธิพลของปริมาณความชื้น ต่อความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินบดอัดจะมีความแตกต่างกันตามแต่ชนิดของดิน (ดูรูปที่ 2.14 และ 2.15) สำหรับดินเม็ดละเอียด (รูปที่ 2.14) ดินตัวอย่างที่บดอัดที่ด้านแห้งจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม นอกจากนี้ดินบดอัดด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสมจะมีค่าความเครียดที่จุดวิบัติต่ำกว่าดินตัวอย่างที่บดอัดที่ด้านเปียก ดินตัวอย่างที่บดอัดที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม จะแสดงพฤติกรรมเป็นแบบเหนียว (Ductile)

สำหรับดินเม็ดหยาบ (รูปที่ 2.15) กำลังอัดแกนเดียวของดินบดอัดด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มที่จะมีคุณสมบัติแบบแตกง่าย (Brittle) มากกว่าด้านเปียก เช่นเดียวกับดินเม็ดละเอียดแต่กำลังอัดแกนเดียวของดินเม็ดหยาบที่ด้านแห้งมีค่าลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และมีค่ามากที่สุดปริมาณความชื้นน้อยกว่าปริมาณความชื้นเหมาะสม



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินเหนียวปนดินตะกอนบดอัด (สุขสันต์ 2545)



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินลูกรังบดอัด

2.10 ปรัชญาการบดอัดงานเขื่อนและงานถนน

สำหรับดินฐานราก (ดินเดิม) ที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนสูง และมีการอัดตัวต่ำ ควรทำการบดอัดดินถมที่ด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสม ในการบดอัดแบบนี้ นอกจากความดันน้ำส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการบดอัดจะมีค่าต่ำแล้ว กำลังต้านทานแรงเฉือนรวมทั้งสติฟเนส (Stiffness) ของดินบดอัดจะมีค่าสูง

ในพื้นที่ที่ดินฐานรากเป็นดินอ่อนควรทำการบดอัดดินถมที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสมถึงแม้ว่าการบดอัดแบบนี้จะก่อให้เกิดความดันน้ำส่วนเกินที่มาก และดินบดอัดมีกำลังต้านทาน แรงเฉือนที่ค่อนข้างต่ำ แต่ดินบดอัดจะมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถต้านทานการทรุดตัวที่แตกต่าง (Differential settlement) ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการทรุดตัวอย่างมากของดินฐานราก

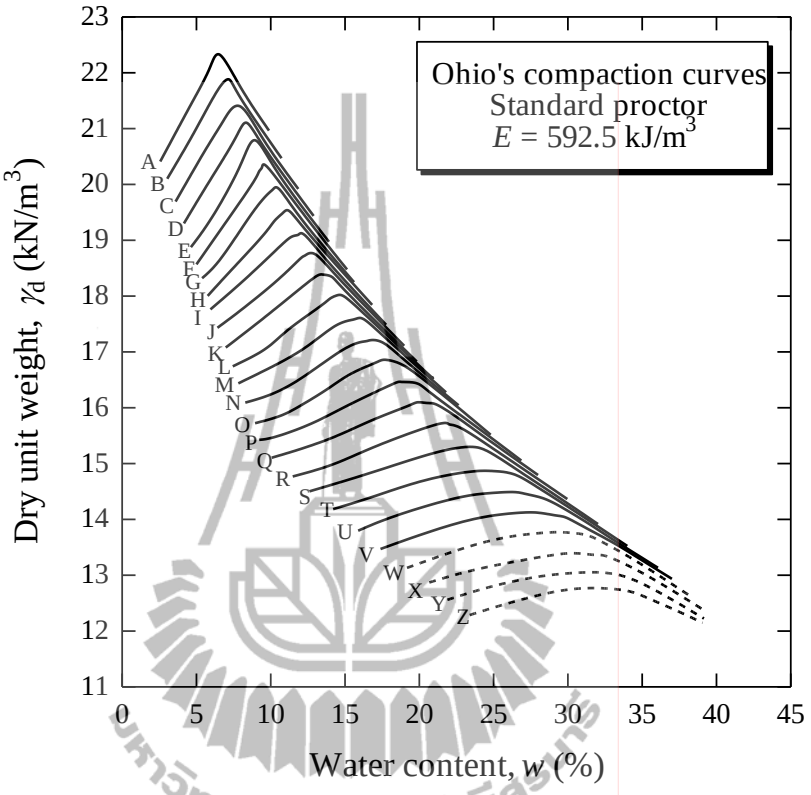
สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับการเก็บกักน้ำ ควรบดอัดดินถมที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสมเนื่องจากดินบดอัดมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำ และมีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนต่ำ ดังนั้นสามารถป้องกันการลดลงของกำลังต้านทานแรงเฉือนและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอันเนื่องจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Strength reduction and volume change due to wetting)

2.11 การทำนายกราฟการบดอัด

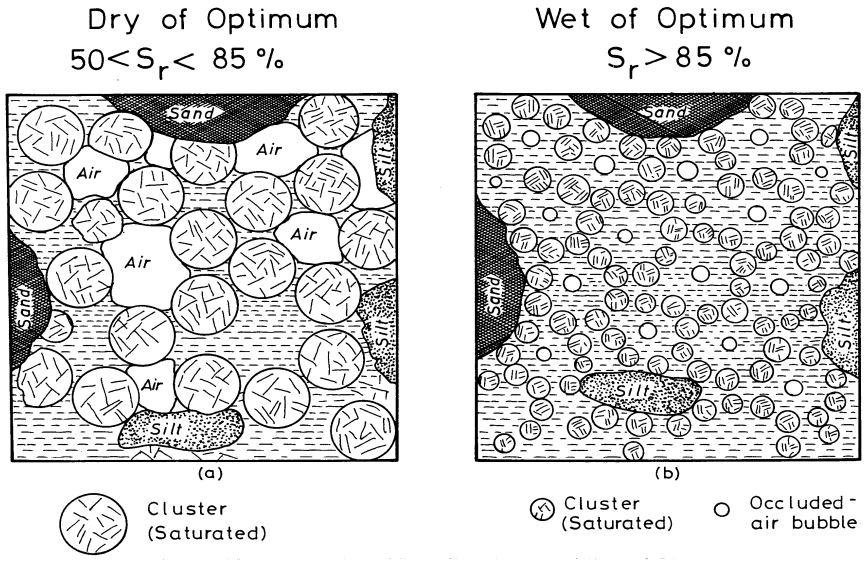
การทำนายกราฟการบดอัดเริ่มต้นครั้งแรกโดย Joslin (1959) ซึ่งเป็นผู้สร้างกราฟการบดอัดดินที่พลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานจำนวน 26 กราฟ และให้ชื่อว่ากราฟ Ohio (Ohio curves) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 กราฟเหล่านี้สร้างขึ้นจากการรวบรวมผลทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานของดินชนิดต่างๆ จำนวนมาก ในมลรัฐ Ohio กราฟ Ohio นี้มีประโยชน์ในการประมาณกราฟการบดอัดของดินชนิดต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อทราบผลทดสอบของปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักแห้งค่าหนึ่ง แต่การประมาณนี้ทำได้เพียงแค่ที่พลังงานการบดอัดแบบมาตรฐาน

Nagaraj et al. (2006) ได้นำเสนอแบบจำลองโพรงระหว่างอนุภาคดินอุดมคติสำหรับการทำนายกราฟการบดอัดดินเม็ดละเอียดภายใต้พลังงานการบดอัดต่างๆ (รูปที่ 2.17) โดยกล่าวว่าทางด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสม สถานะของน้ำ (Water phase) และอากาศ (Air phase) ในมวลดินบดอัดจะมีความต่อเนื่อง จุดเชื่อมต่อระหว่างอากาศและน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากความโค้งผิวน้ำ (Meniscus) จะเชื่อมต่อโพรงระหว่างกลุ่มอนุภาคดินเหนียว เมื่อระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำเพิ่มขึ้น ความต่อเนื่องของอากาศ (Air phase) จะลดลงจนในที่สุดอากาศจะก่อตัวเป็นฟองอากาศ (Air bubble) จากแบบจำลองดังกล่าว Nagaraj et al. (2006) ได้เสนอพารามิเตอร์สถานะสองตัว ($w/S^{0.5}$ และ w/S^{2}) สำหรับดินเม็ดละเอียดที่บดอัดทางด้านแห้งและด้านเปียกของปริมาณความชื้น

เหมาะสม และกล่าวว่าที่พลังงานการบดอัดค่าหนึ่ง แม้ว่าปริมาณความชื้นจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่พารามิเตอร์สถานะจะมีค่าคงที่



รูปที่ 2.16 กราฟการบดอัด Ohio (ปรับปรุงจาก Joslin, 1959)



รูปที่ 2.17 แบบจำลองโครงสร้างดินบดอัด (Nagaraj et al., 2006)

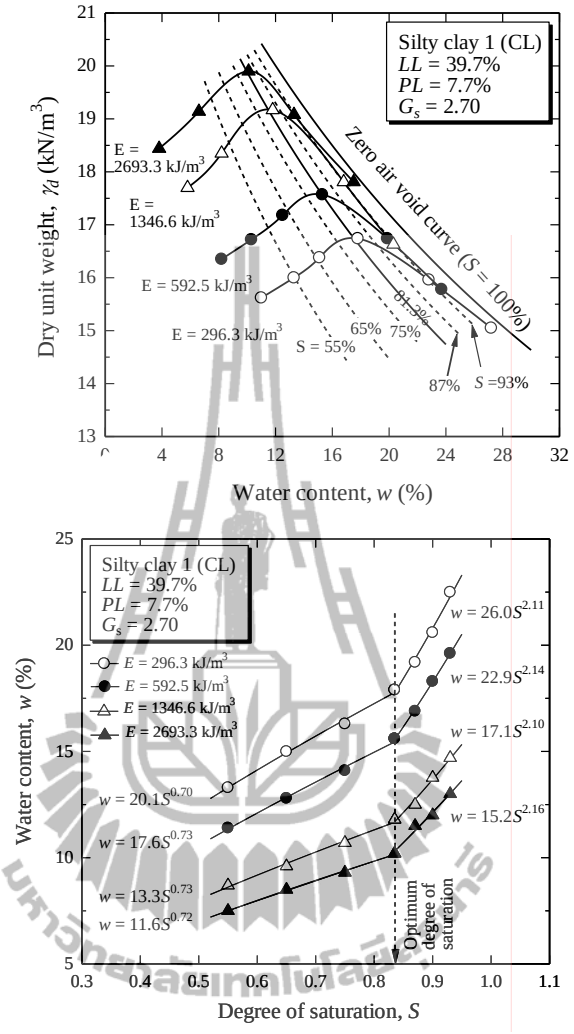
Horpibulsuk et al. (2008a และ 2009a) ได้ศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะกราฟการบดอัดของดินเม็ดละเอียด 9 ชนิด ซึ่งครอบคลุมดินที่มีระดับการบวมตัวและสภาพความเป็นพลาสติกตั้งแต่ต่ำจนถึงสูง (FSR = 0.2 ถึง 2.1, LL = 39.7 ถึง 256.3% และ PL = 6.1 ถึง 48.2%) และดินเม็ดหยาบ 16 ชนิด ซึ่งครอบคลุมดินทั้งหมดที่จำแนกด้วยระบบเอกภาพ (Unified Soil Classification System, USCS) พวกเขาพบว่าพารามิเตอร์สถานะที่เสนอโดย Nagaraj et al. (2006) ไม่สามารถใช้ได้กับดินทุกชนิด จึงได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำที่พลังงานการบดอัดค่าหนึ่งในฟังก์ชันพาวเวอร์ ดังนี้

$$w = A_d S^{B_d} \quad \text{สำหรับการบดอัดด้านแห้ง} \quad \text{.....(2.10)}$$

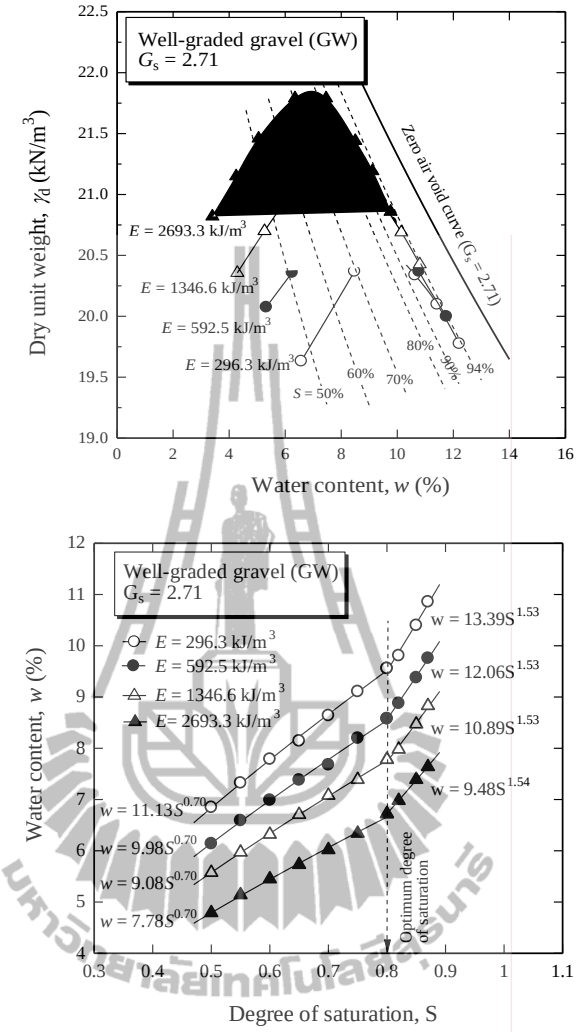
$$w = A_w S^{B_w} \quad \text{สำหรับการบดอัดด้านเปียก} \quad \text{.....(2.11)}$$

เมื่อ A_d, B_d, A_w, และ B_w คือค่าคงที่ ปริมาณความชื้นและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำมีหน่วยเป็นร้อยละและจุดทศนิยม ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นสามารถอธิบายผลทดสอบในห้องปฏิบัติการได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 2.16 สำหรับดินเหนียวปนดินตะกอน (Silty clay) และรูปที่ 2.17 สำหรับกรวดที่มีความคละดี (Well-graded gravel) จากความสัมพันธ์นี้ Horpibulsuk et al. (2008a) ได้เสนอวิธีการประมาณระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำที่จุดเหมาะสม (Optimum degree of saturation, ODS) แบบใหม่ โดยนิยามว่าเป็นจุดตัดระหว่างสมการที่ (2.10) และ (2.11)



รูปที่ 2.18 (a) กราฟการบดอัด (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของดินเหนียวปนดินตะกอน (Horpibulsuk et al., 2008a)



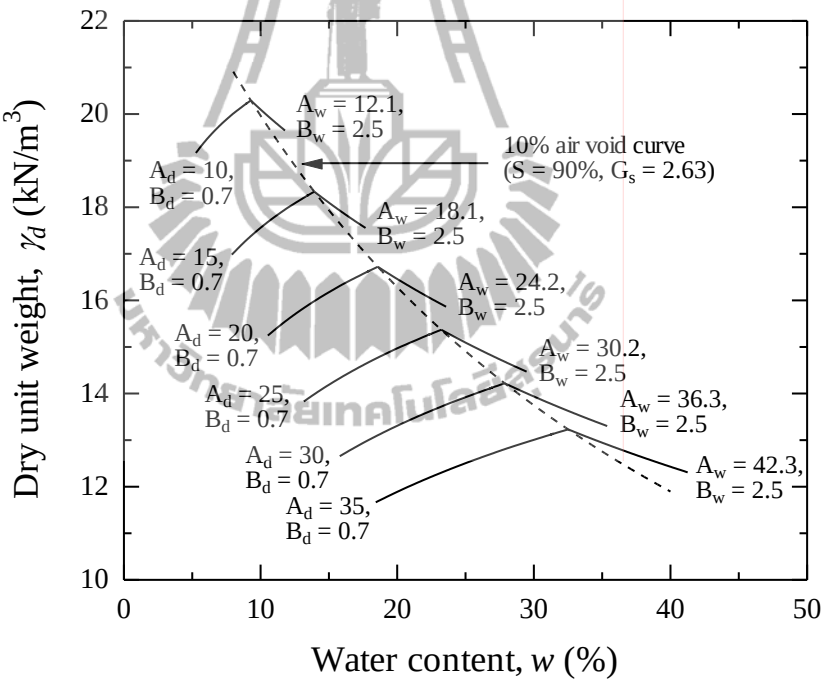
(a) (b)

รูปที่ 2.19 (a) กราฟการบดอัด (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของกรวดที่ขนาดคละดี (Horpibulsuk et al., 2009a)

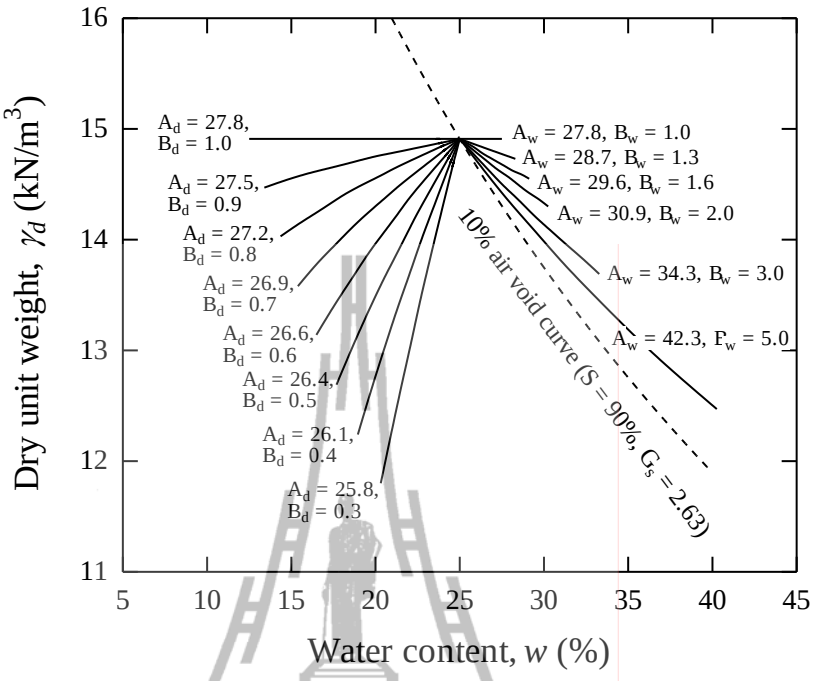
ถึงแม้ว่าลักษณะกราฟการบดอัดแปรผันตามชนิดของดิน (ยกตัวอย่างเช่น ดินตะกอนมีความไวตัวต่อปริมาณความชื้น และดินเหนียวมีความไวตัวต่อพลังงานการบดอัด เป็นต้น) แต่พารามิเตอร์ A_d, B_d, A_w, และ B_w สามารถอธิบายลักษณะกราฟการบดอัดของดินชนิดต่างๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และ 2.19 สำหรับ B_d และ B_w ค่าหนึ่ง เมื่อ A_d และ A_w มีค่าลดลง หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้น (ปริมาณความชื้นเหมาะสมจะมีค่าลดลง) (รูปที่ 2.18) พารามิเตอร์ B_d และ B_w เป็นตัวควบคุมระดับความไวตัวต่อน้ำ (ความชันของกราฟการบดอัด) ทางด้านแห้งและด้านเปียก ตามลำดับ ระดับความไวตัวต่อน้ำมีค่าสูงขึ้น เมื่อ B_d มีค่าลดลง และ B_w มีค่าสูงขึ้น (รูป

ที่ 2.19) ความชันของกราฟการบดอัดจะมีค่าเท่ากับศูนย์ (ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของหน่วยน้ำหนักแห้งกับปริมาณความชื้น) เมื่อ B_d และ B_w มีค่าเท่ากับ 1.0

จากผลทดสอบการบดอัดดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียดหลายชนิด Horpibulsuk et al. (2008a และ 2009a) สรุปว่าสำหรับดินชนิดหนึ่ง A_d และ A_w มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของพลังงานการบดอัด ขณะที่ B_d และ B_w มีค่าประมาณคงที่สำหรับทุกพลังงานการบดอัด (ไม่แปรผันตามพลังงานการบดอัด) (ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และ 2.17) B_d มีค่าประมาณ 0.70 ถึง 0.86 สำหรับดินเม็ดละเอียด และประมาณ 0.62 ถึง 0.74 สำหรับดินเม็ดหยาบ B_w มีค่าประมาณ 1.50 ถึง 2.72 สำหรับดินเม็ดละเอียด และประมาณ 1.53 ถึง 2.35 สำหรับดินเม็ดหยาบ ซึ่งแตกต่างจากผลงานวิจัยของ Nagaraj et al. (2006) (สมมติว่า $B_d = 0.5$ และ $B_w = 2.0$)



รูปที่ 2.20 อิทธิพลของ A_d และ A_w ต่อกราฟการบดอัด (Horpibulsuk et al., 2008a)



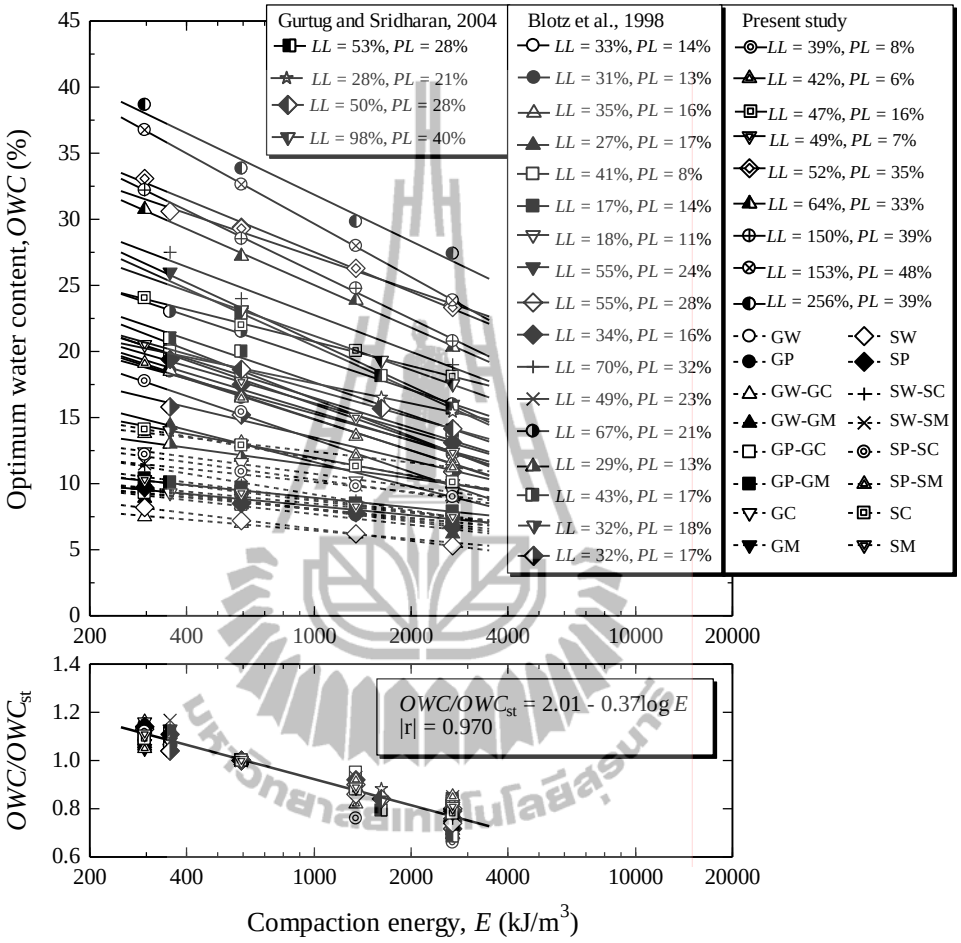
รูปที่ 2.21 อิทธิพลของ B_d และ B_w ต่อกราฟการบดอัด (Horpibulsuk et al., 2008a)

แม้ว่าพารามิเตอร์ A_d, B_d, A_w และ B_w จะมีความแตกต่างกันตามแต่ชนิดของดิน แต่อัตราส่วนระหว่าง A_d/A_{dst} และ A_w/A_{wst} ที่แต่ละพลังงานการบดอัด (เมื่อ A_{dst} และ A_{wst} คือค่าของ A_d และ A_w ที่พลังงานการบดอัดแบบมาตรฐาน ตามลำดับ) มีค่าประมาณเกือบคงที่สำหรับทุกดิน และมีค่าเพิ่มขึ้นตามพลังงานการบดอัด (Horpibulsuk et al., 2009a) ดังนั้น เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.10) และ (2.11) จะพบว่าอัตราส่วนปริมาณความชื้นเหมาะสม (OWC/OWC_{st}) จะมีค่าแปรผันตามพลังงานการบดอัด และเป็นค่าคงที่สำหรับดินบดอัดทุกชนิด เพราะ B_d และ B_w มีค่าประมาณคงที่สำหรับทุกพลังงานการบดอัด ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาณความชื้นเหมาะสมและพลังงานการบดอัดแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์นี้เป็นเอกภาพสำหรับทั้งดินเม็ดละเอียดและดินเม็ดหยาบบดอัด และสามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

$$\frac{OWC}{OWC_{st}} = 2.01 - 0.37 \log E \qquad \text{.....(2.12)}$$

สมการนี้สามารถประมาณปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินชนิดต่างๆ ที่พลังงานการบดอัดใดๆ ได้ เพียงแค่ทราบปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินนั้นที่พลังงานการบดอัดแบบมาตรฐาน

หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดสามารถประมาณได้โดยสมมติว่าระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำที่พลังงานการบดอัดต่างๆ มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเหมาะสม อัตราส่วนปริมาณความชื้นเหมาะสม และพลังงานการบดอัด (Horpibulsuk et al, 2009a)

โดยอาศัยสมการพาวเวอร์ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระดับความอิ่มตัวด้วย (สมการที่ (2.10) และ (2.11)) และสมการอัตราส่วนปริมาณความชื้นเหมาะสม (สมการที่ (2.12) การทำนายกราฟการบดอัดที่พลังงานการบดอัดใดๆ จากผลทดสอบการบดอัดที่พลังงานการบดอัดค่าหนึ่งสามารถสรุปได้เป็นขั้นตอนดังนี้

1. จากข้อมูลกราฟการบดอัด ที่พลังงานการบดอัดค่าหนึ่ง หาค่า A_d, B_d, A_w และ B_w และจุดเหมาะสม ($\square_{d\max}$, OWC และ ODS)

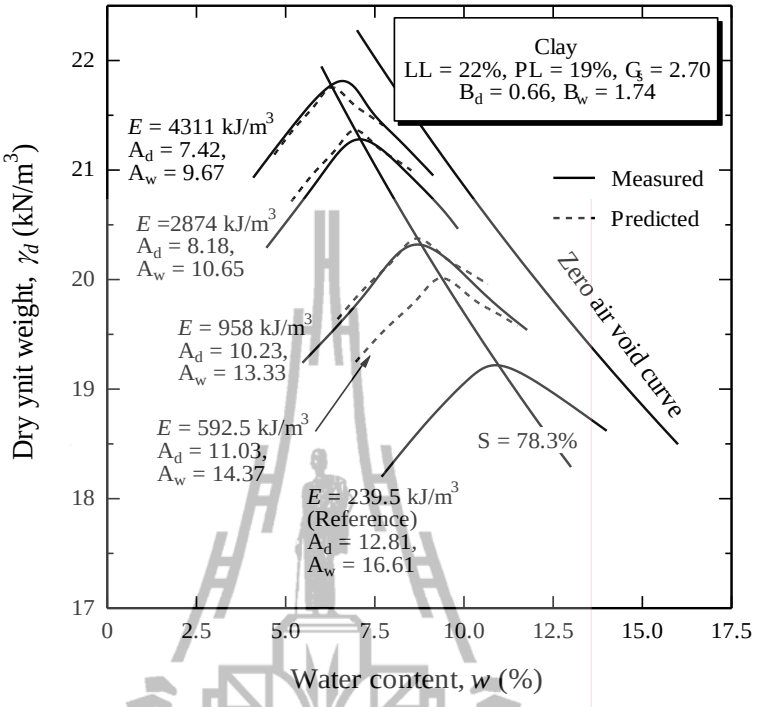
2. จากค่า *OWC* และ *ODS* ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 1) หาค่า OWC_{st} จากสมการ (2.12) และประมาณค่า $(\square_{d\max})_{st}$ โดยสมมติว่า *ODS* มีค่าคงที่สำหรับทุกพลังงานการบดอัด
3. หาค่าจุดเหมาะสม ($\square_{d\max}$, *OWC*) สำหรับพลังงานที่ต้องการ โดยการแทนค่า OWC_{st} ในสมการที่ (2.12)
4. หาค่า A_d และ A_w ที่พลังงานการบดอัดที่ต้องการ จากสมการที่ (2.13) และ (2.14)

$$A_d = \frac{OWC}{ODS^{B_d}} \qquad \text{.....(2.13)}$$

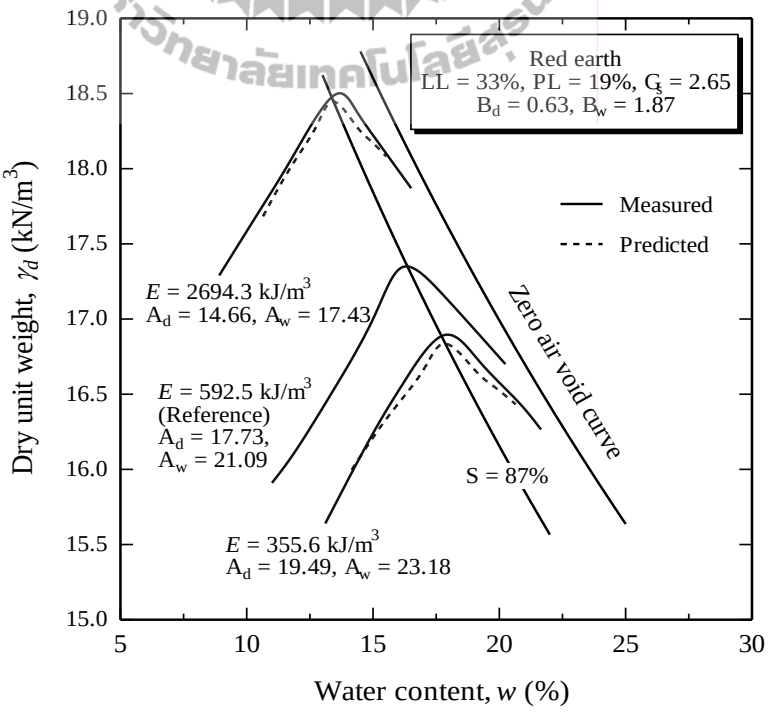
$$A_w = \frac{OWC}{ODS^{B_w}} \qquad \text{.....(2.14)}$$

5. หาค่าปริมาณความชื้น (*w*) ทางด้านแห้งและด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสมที่ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำค่าต่างๆ โดยอาศัยสมการที่ (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ และหาค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง ($\square_d$)
6. วาดเส้นกราฟการบดอัดดินทางด้านแห้งและด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสมโดยการต่อเส้นเชื่อมจุด ($\square_d$, *w*) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 5

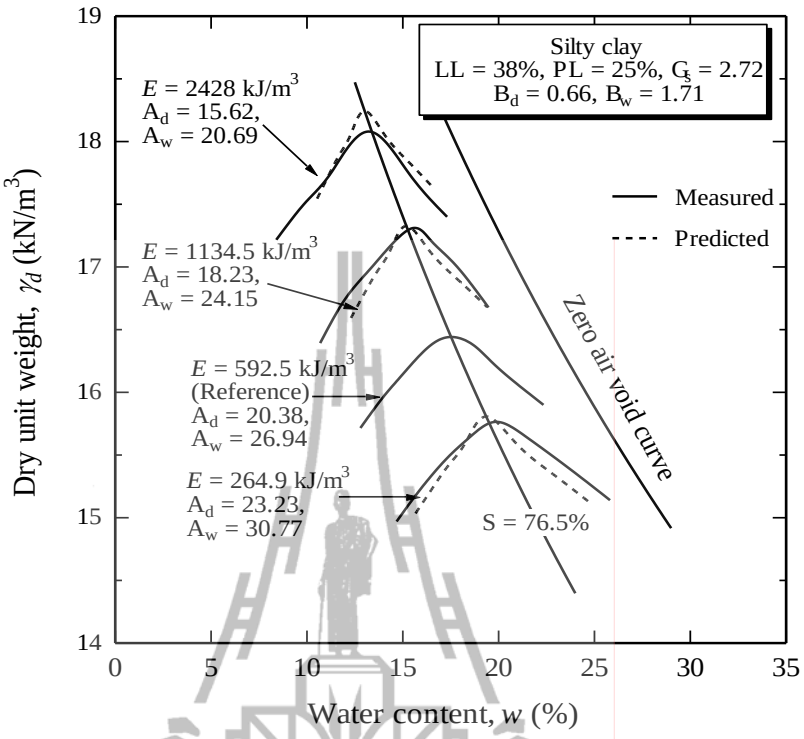
รูปที่ 2.21 ถึง 2.25 แสดงกราฟการบดอัดของดินเม็ดละเอียดและดินเม็ดหยาบที่รวบรวมจากผลงานวิจัยในอดีต จะเห็นได้ว่ากราฟการบดอัดดินที่ได้จากการทำนายมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริงมาก ซึ่งเป็นการแสดงความแม่นยำของวิธีการทำนายกราฟการบดอัดที่นำเสนอ เมื่อใช้กราฟการบดอัดของ Ohio เป็นกราฟอ้างอิงสำหรับดินเม็ดละเอียดและดินเม็ดหยาบที่บดอัดด้วยพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐาน (592.5 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร) กราฟการบดอัดที่พลังงานใดๆ สามารถสร้างขึ้นได้ตามขั้นตอนที่นำเสนอข้างต้น กราฟที่สร้างขึ้นนี้เรียกว่ากราฟการบดอัดของ Ohio ปรับปรุง (Modified Ohio's compaction curves) รูปที่ 2.26 และ 2.28 แสดงกราฟการบดอัดของ Ohio ปรับปรุง สำหรับพลังงานการบดอัดเท่ากับ 296.3, 1346.6 และ 2693.3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ กราฟเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากในการทำนายกราฟการบดอัดที่พลังงานที่ต้องการโดยอาศัยเพียงแค่หนึ่งผลทดสอบของปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักแห้ง



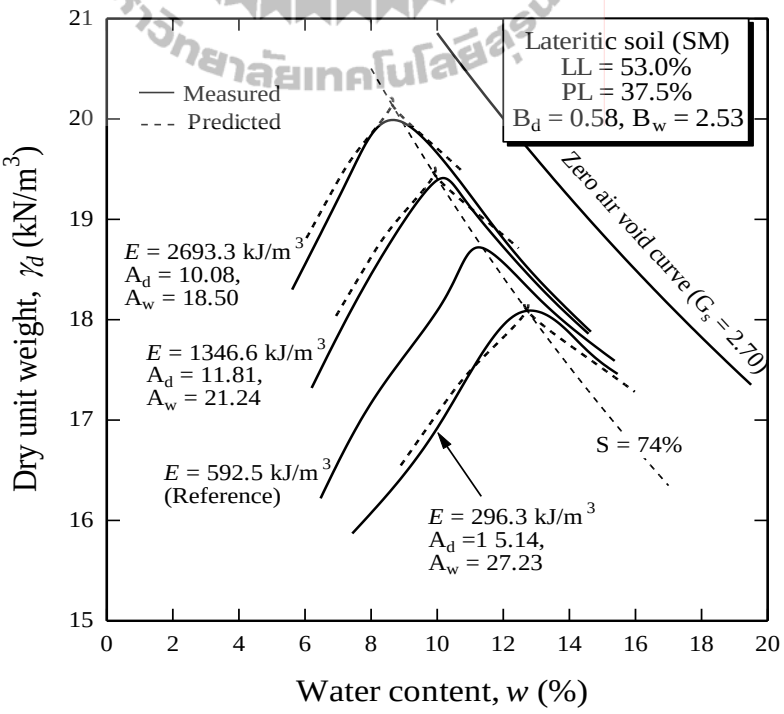
รูปที่ 2.23 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของดินเหนียว (ข้อมูลจาก Proctor, 1948) (Horpibuksuk et al., 2008a)



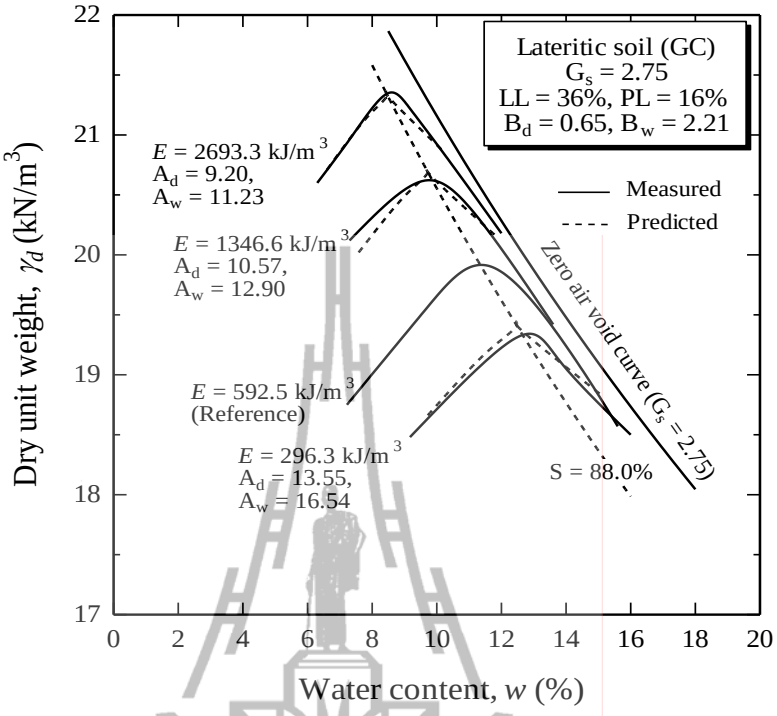
รูปที่ 2.24 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของ Red earth (ข้อมูลจาก US Army Crops of Engineers, 1970) (Horpibusluk et al., 2008a)



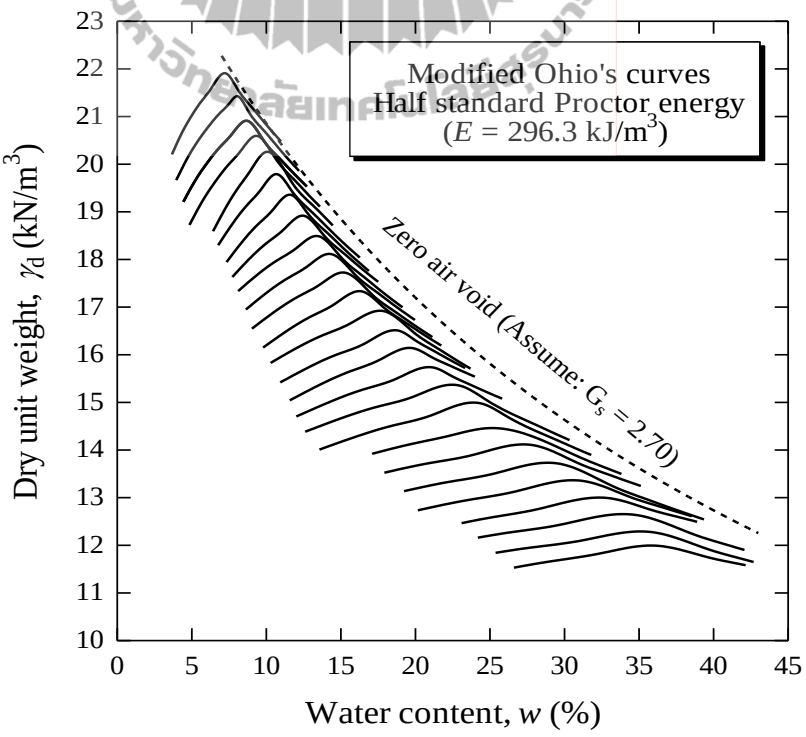
รูปที่ 2.25 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของดินเหนียวปนดินตะกอน (ข้อมูลจาก Turnbull and Foster, 1956) (Horpibulsuk et al., 2008a)



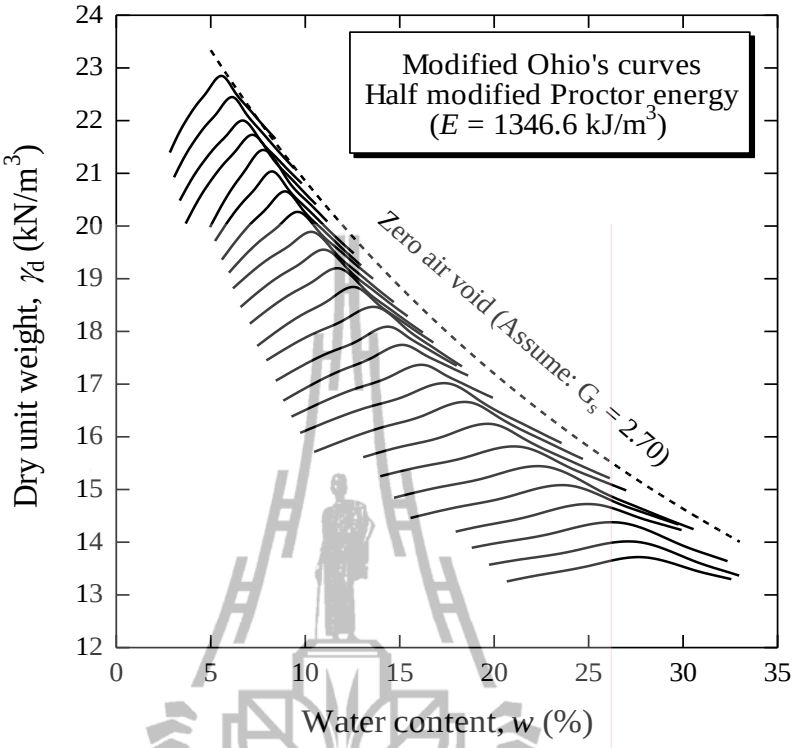
รูปที่ 2.26 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของดินลูกรัง (ข้อมูลจาก Horpibulsuk et al., 2004c) (Horpibulsuk et al., 2009a)



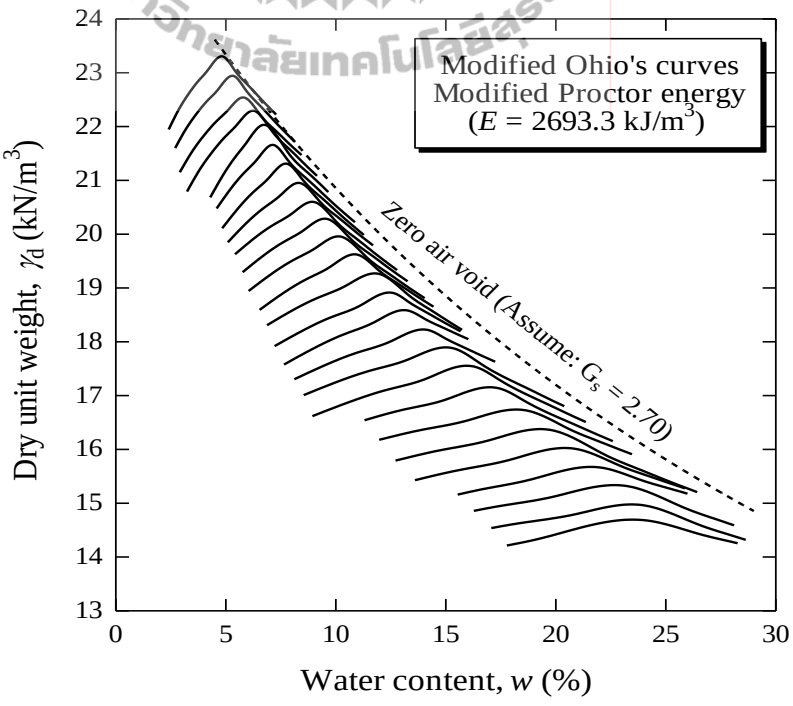
รูปที่ 2.27 เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลทดสอบและการทำนายของกรวดปนดินเหนียว (ข้อมูลจาก Ruenkrairergsa, 1982) (Horpibulsuk et al., 2009a)



รูปที่ 2.28 กราฟ Ohio ปรับปรุงสำหรับพลังงานการบดอัดเท่ากับ 296.3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (Horpibulsuk et al., 2008a)



รูปที่ 2.29 กราฟ Ohio ปรับปรุงสำหรับพลังงานการบดอัดเท่ากับ 1346.6 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (Horpibulsuk et al., 2008a)



รูปที่ 2.30 กราฟ Ohio ปรับปรุงสำหรับพลังงานการบดอัดเท่ากับ 2693.3 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (Horpibulsuk et al., 2008a)

2.12 มาตรฐานวัสดุถมคันทาง (Embankment : Material) (มทช.201-2545)

2.12.1 ขอบข่าย

วัสดุถมคันทาง หมายถึง วัสดุที่ได้จากบ่อยืมข้างทาง ถนนเดิน หรือที่อื่นๆ แล้วนำมาใช้ก่อสร้างคันทาง

2.12.2 คุณสมบัติวัสดุคันทางประเภทวัสดุดินทั่วไป (Soil)

- เป็นวัสดุปราศจากรากไม้ ใบไม้หรือวัสดุอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารผุพังปนอยู่ อันอาจจะทำให้ เกิดการยุบตัวเสียหายในอนาคต
- ค่า ซี.บี.อาร์. จากห้องทดลอง (Lab. C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่นแห้งสูงสุดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Density) ตาม มทช.(ท) 501.3 : วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์ (C.B.R.) หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ
- มีค่าการพองตัว (Swelling) ไม่มากกว่าร้อยละ 4 ตาม มทช.(ท) 501.3 : วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์ (C.B.R.)
- มีคุณสมบัติอื่น ๆ ตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

2.13 มาตรฐานวัสดุลูกรังชนิดทำผิวจราจร (มทช.206-2554)

2.13.1 ขอบข่าย

วัสดุลูกรังชนิดทำผิวจราจร หมายถึง ลูกรัง หรือ soil aggregate ซึ่งนำมาเสริมบนชั้นรองพื้นทางเพื่อใช้เป็นผิวจราจร

2.13.2 คุณสมบัติ

- ปราศจากก้อนดินเหนียว (clay lump) shale รากไม้ หรือวัชพืชอื่น ๆ
- ขนาดวัสดุใหญ่สุดต้องไม่โตกว่า 5 เซนติเมตร
- ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่มากกว่า 2/3 ของขนาดผ่านตะแกรง เบอร์ 40
- ค่าขีดเหลว (liquid limit) ไม่มากกว่าร้อยละ 35
- ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (plasticity index) อยู่ในระหว่างร้อยละ 4-11
- ค่าจำนวนส่วนร้อยละของความสึกหรอ (percentage of wear) ไม่มากกว่า 60
- ค่า ซี.บี.อาร์. จากห้องทดลอง (lab. c.b.r.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ
- มีมวลคละผ่านตะแกรง ดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2.1 ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทางลูกรัง

ขนาดของตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ			
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.	ชนิด ง.
2”	-	-	-	-
1”	100	100	100	100
3/8”	50-85	60-100	-	-
เบอร์ 4	25-65	50-85	55-100	70-100
เบอร์ 10	25-50	40-70	40-100	55-100
เบอร์ 40	15-30	25-45	20-50	30-70
เบอร์ 200	8-15	8-25	8-20	8-25

2.14 มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก (Crushed rock soil aggregate type base) (มทช.203-2545)

2.14.1 ขอบข่าย

วัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก หมายถึง วัสดุซึ่งมีขนาดคละกันสม่ำเสมอจากใหญ่ไปหาเล็ก นำมาเสริมบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นคันทาง

2.14.2 คุณสมบัติ

- ปราศจากก้อนดินเหนียว (clay lump) วัสดุจำพวกเซล (shale) รากไม้ หรือวัชพืช อื่นๆ
- มีอัตราส่วนคละสม่ำเสมอประกอบด้วยส่วนหยาบและส่วนละเอียด
- ส่วนหยาบต้องเป็นหินโม่
- ส่วนละเอียดเป็นวัสดุชนิดเดียวกับส่วนหยาบ หากมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงชนบทก่อน
- ค่าขีดเหลว (liquid limit) ไม่มากกว่าร้อยละ 25
- ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (plasticity index) ไม่มากกว่าร้อยละ 6
- ค่าจำนวนส่วนร้อยละของความสึกหรอ (percentage of wear) ไม่มากกว่าร้อยละ 40

- ค่า ซี.บี.อาร์ จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่งแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified proctor density) ตาม มทช.(ท) 501.3 : วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าซี.บี.อาร์ (C.B.R.) หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง
- มีมวลคละผ่านตะแกรง ดังตารางข่างล่างนี้

ตารางที่ 2.2 ขนาดคละของวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก

ขนาดของตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ		
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.
2 นิ้ว	100	100	-
1 นิ้ว	-	79-95	100
3./8 นิ้ว	30-65	40-75	50-85
เบอร์ 4	25-55	30-60	35-65
เบอร์ 10	15-40	20-45	25-50
เบอร์ 40	8-20	15-30	15-30
เบอร์ 200	2-8	5-20	5-15

2.15 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (liquid : L.L) (มทช.(ท) 501.5-2545)

2.15.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดเหลวของดิน

2.15.2 นิยาม

ขีดเหลวของดินคือ ปริมาณน้ำเป็นร้อยละที่ผสมอยู่ในดิน ซึ่งพอเหมาะที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะพลาสติก (plastic) มาเป็นภาวะเหลว (liquid) โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อดินนั้นเมื่ออบแห้ง

2.15.3 วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- ถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือถ้วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 115 มม. (4 1/2 นิ้ว)

- ใบพายกวนดิน (spatula) ทำด้วยแผ่นโลหะบางไร้สนิม มีปลายมนขนาดยาวประมาณ 75 มม. (3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4 นิ้ว)
- เครื่องมือทดสอบ แบ่งเป็น 2 ชนิด
  - เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องมือ ประกอบด้วยถ้วยทองเหลืองและที่ยกถ้วย สร้างอย่างถูกต้องตามแบบและขนาด
  - เครื่องทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องกล เป็นเครื่องมือที่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีความสูงในการยกถ้วยทองเหลือง และอัตราการตกกระทบพื้น ตามข้อกำหนดของการทดสอบนี้ ขนาดของถ้วยทองเหลือง และขนาดของส่วนที่สำคัญของเครื่อง ต้องสอดคล้อง และผลการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องกดนี้ ต้องเหมือนกับผลการทดสอบที่ทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยมือ
- เครื่องมือปาดร่องดิน (grooving tool) ต้องมีขนาดได้มาตรฐาน
- เครื่องวัดระยะ (gage) ถ้าติดอยู่กับเครื่องมือปาดร่องดินต้องมีขนาดได้มาตรฐาน ถ้าแยกส่วนกับเครื่องมือปาดร่องดินจะต้องมีลักษณะเป็นแท่งทำด้วยโลหะหนา 10.00±0.02 มม. (0.39±0.001 นิ้ว) และยาวประมาณ 50.8 มม. (2 นิ้ว)
- ตลับบรรจุดิน (contianer) ต้องมีขนาดพอเหมาะทำด้วยโลหะมีฝาปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นขณะก่อนชั่งและระหว่างชั่งหาน้ำหนัก
- เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- ตู้อบ ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดเวลาที่ทำการอบดิน
- ถ้วยตวงน้ำ สำหรับตวงน้ำ เพื่อผสมลงในดิน
- เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter) ใช้สำหรับผสมและแบ่งตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบ
- ตะแกรงร่อนขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) และขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40)

2.15.4 การเตรียมตัวอย่าง

- ผึ่งตัวอย่างดินให้แห้ง หรืออบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส คลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วแบ่งออกเป็นสี่ส่วน (quartering) หรือใช้

เครื่องมือแบ่งตัวอย่างแบ่งดินให้ได้ตัวอย่างซึ่งสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ได้ประมาณ 300 กรัม

- ถ้าตัวอย่างดินจับกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนยางทุบเบา ๆ พอให้เม็ดดินหลุดออกจากกัน โดยไม่ให้เม็ดดินแตก
- เอาดินที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไปและเอาดินส่วนที่ร่อนผ่านมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 อีกครั้งหนึ่งโดยใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า 5 นาที
- ดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 ให้ทิ้งไป ส่วนดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 คือ ดินที่จะนำไปใช้ทดสอบต่อไป

2.15.5 การทดสอบ

ก่อนทำการทดสอบทุกครั้งให้ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ทดสอบทั้งหมดว่าอยู่ในสภาพที่ดี มีขนาดถูกต้องตรงตามข้อกำหนด และตรวจดูถ้วยทองเหลืองของเครื่องทดสอบขีดจำกัดเหลวว่ายกได้สูง 1 ซม. แล้วสามารถตกระทบพื้นได้อย่างอิสระหรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้ปรับให้ถูกต้อง

- เอาดินที่เตรียมไว้ประมาณ 100 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากสารใด ๆ เจือปนประมาณ 15 ถึง 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงผสมและกวนให้เนื้อดินและน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้ใบพายกวนดินนวดและเคล้าไปมา เติมน้ำอีกครั้งละ 1-3 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนจนดินและน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ห้ามใช้ถ้วยทองเหลืองของเครื่องทดสอบขีดเหลว เป็นที่ผสมดินกับน้ำ
- เมื่อผสมน้ำกวนดินจนเหนียวพอประมาณเคาะได้ 40 ครั้ง ให้ใช้แผ่นกระจกปิดปากถ้วยไว้ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 50-60 นาที เพื่อให้ดินชุ่มน้ำตลอดทั่วถึงกัน
- แบ่งดินส่วนหนึ่ง จำนวนพอควร ใส่ลงในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือทดสอบขีดเหลว บริเวณเหนือก้นถ้วยทองเหลืองที่อยู่บนฐาน ใช้พายกวนดินปาดแต่งให้ได้ระดับ และไม่ให้มีฟองอากาศในเนื้อดิน และให้เนื้อดินที่ก้นถ้วยทองเหลืองหนาประมาณ 1 ซม. พยายามปาดแต่งให้น้อยที่สุด ดินส่วนที่เหลือตักออกใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม
- จับถ้วยทองเหลืองให้แน่น แล้วใช้เครื่องมือปาดร่องดิน ปาดดินให้เป็นร่องตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยทองเหลือง โดยลากตัดไปมาจนร่องที่ได้สะอาดและเหลี่ยมมุมคม ขนาดของร่องต้องไม่ให้ร่องดินฉีกขาด หรือดินใน

ถ้วยทองเหลืองเลื่อนไถล ให้ค่อย ๆ ลากเครื่องมือปาดร่องดินไปมา โดยเพิ่มความลึกลงในเนื้อดินที่ละน้อยแต่ต้องไม่ปาดไปมาเกิน 6 ครั้ง โดยครั้งสุดท้ายเครื่องมือปาดร่องดินจะขูดผิวของก้นถ้วยทองเหลืองพอดี

- หมุนเคาะถ้วยทองเหลืองด้วยอัตราเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที จนดินสองข้างของร่องเลื่อนมาชนกันที่ก้นถ้วยทองเหลืองยาวประมาณ 12.7 มม. (0.5 นิ้ว) บันทึกจำนวนครั้งที่เคาะไว้ การทดสอบต้องใช้เวลาไม่เกิน 3 นาที
- ให้เก็บตัวอย่างดินตรงที่เลื่อนมาชนกันตลอดแนวความกว้างของดินที่ตั้งฉากกับร่องดิน ใส่ลงตลับบรรจุดินนำไปชั่งทันที บันทึกน้ำหนักไว้ อบดินในตลับจนแห้งด้วยอุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วนำไปชั่งบันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้ น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำที่ระเหยออกไป การชั่งน้ำหนักดินในข้อนี้ต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- เอาดินที่เหลือในถ้วยทองเหลืองใส่กลับลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ แล้วเติมน้ำผสมลงไปคนจนเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนถ้วยทองเหลืองและเครื่องมือปาดร่องดิน ให้ล้างและเช็ดให้แห้ง
- ทำการทดสอบทั้งสิ้น 4 ครั้ง ด้วยการเพิ่มน้ำลงในดิน เพื่อให้เหลวมากขึ้นในการทดสอบครั้งถัดไป โดยให้การหมุนเคาะถ้วยทองเหลืองในการทดสอบแต่ละครั้งในอัตรา 35-40, 25-35, 20-30, 15-25 ครั้ง คือ ให้เคาะต่างกันประมาณ 5-7 ครั้ง ถ้าหมุนเคาะน้อยกว่า 15 ครั้ง หรือมากกว่า 40 ครั้ง ถือว่าการทดสอบนั้นใช้ไม่ได้
- ในกรณีที่ผสมดินเหลวไป ให้เกลี่ยดินออกเป็นชั้นบาง ๆ แล้วผึ่งลมไว้ชั่วครู่จนดินแห้งตามต้องการ อย่าทิ้งไว้ให้แห้งจนแข็ง ห้ามใช้วิธีเอาดินแห้งผสมเพิ่มลงไปในดินเหลว

2.15.6 การคำนวณ

คำนวณปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละของน้ำหนักต่อน้ำหนักดินอบแห้ง ดังนี้

- คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (wet density)

$$\text{ความชื้นเป็นร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักของดินอบแห้ง}} \times 100$$

2.15.7 การรายงาน

- เขียนโฟลว์เคิฟ (flow curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในเนื้อดินและจำนวนครั้งของการหมุนเคาะในการทดสอบลงบนกระดาษกราฟ กึ่งลอการิทึม (semi-logarithmic graph) โดยให้แกนตั้งแสดงค่าความชื้นในเนื้อดินเป็นร้อยละ และจำนวนครั้งที่เคาะอยู่บนแกนนอน ซึ่งเป็นมาตราลอการิทึม (logarithmic) โฟลว์เคิฟ ควรเป็นเส้นตรง ที่ลากผ่านหรือใกล้จุดที่ได้บนกระดาษกราฟ มากจุดที่สุด
- ค่าขีดเหลว คือ ความชื้นเป็นร้อยละ (percentage of moisture) ตรงจุดที่โฟลว์เคิฟ มีคำนวณครั้งที่หมุนเคาะเท่ากับ 25 ครั้ง

2.15.8 ข้อควรระวัง

- ในดินบางชนิดที่มีค่า “ดัชนีความเป็นพลาสติก (%plasticity index : P.I.)” ต่ำ การเลื่อนตัวของดินมาชนกันในถ้วยทองเหลือง ขณะทดสอบอาจมีลักษณะชนกันเฉย ๆ ไม่เชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถใช้ใบพายกวนดินเขี่ยให้แยกออกจากกันได้ ต้องเพิ่มน้ำลงผสมในเนื้อดิน แล้วทำการทดสอบใหม่
- การเตรียมตัวอย่างดินก่อนการร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 40 ต้องบดให้เม็ดดินหลุดออกจากกันให้หมดโดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก และไม่อบตัวอย่างดินเกินอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
- เมื่อสิ้นสุดการเคาะดินแต่ละการทดสอบ ให้รีบเก็บตัวอย่างดินแล้วชั่งเพื่อหาความชื้นทันที เพราะน้ำในดินจะระเหยทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้
- ห้ามผสมดินในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือทดสอบขีดเหลว ให้ผสมในถ้วยกระเบื้องเคลือบเท่านั้น
- ในขณะทำการทดสอบให้วางเครื่องทดสอบบนพื้นที่มั่นคงแข็งแรง และจับยึดเครื่องมือทดสอบไม่ให้เคลื่อนที่ขณะหมุนเคาะถ้วยทองเหลือง
- น้ำที่ใช้ผสมดินทดสอบ ต้องบริสุทธิ์ สะอาดปราศจากสารใด ๆ ที่สามารถทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อน

2.16 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (plastic limit : P.L.) (มทช.(ท) 501.6-2545)

2.16.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดพลาสติกของดิน

2.16.2 นิยาม

- ขีดพลาสติกของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำจำนวนน้อยที่สุด ที่วัดโดยกรรมวิธีทดสอบที่จะกล่าวต่อไป ซึ่งยังคงทำให้ดินมีสภาพเป็นพลาสติก โดยมีค่าเป็นร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักดินอบแห้ง
- ค่าดัชนี ความเป็นพลาสติก (plasticity index : P.I.) ของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำในดินช่วงหนึ่ง ซึ่งดินนั้นยังคงสภาพเป็นพลาสติก มีค่าเป็นผลต่างระหว่างค่าขีดเหลว และขีดพลาสติกของดินนั้น

2.16.3 วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- ถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือถ้วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สำหรับใส่ดินกวนผสมกับน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 115 มม. (4 1/2 นิ้ว)
- ใบพายกวนดิน (spatula) ทำด้วยแผ่นโลหะบางไร้สนิม มีปลายมนขนาดยาวประมาณ 75 มม. (3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4 นิ้ว)
- พื้นผิวเรียบสำหรับคลึงดิน อาจใช้แผ่นกระจกเรียบหรือแผ่นวัสดุพื้นผิวเรียบไม่ดูดซึมน้ำในขณะคลึงตัวอย่างดิน
- ตลับบรรจุดินต้องมีขนาดพอเหมาะทำด้วยโลหะมีฝาปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นขณะก่อนชั่งและระหว่างชั่งหาน้ำหนัก
- เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- ตู้อบ ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดเวลาที่ทำการอบดิน
- ตะแกรงร่อนดินขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) และขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40)

2.16.4 การเตรียมตัวอย่าง

ดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่าง เช่นเดียวกับการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว ตาม มทช.(ท) 501.5-2545

2.16.5 การทดสอบ

- เอาดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบเติมน้ำกลั่นลงแล้วกวนให้ทั่วจนเป็นเนื้อเดียวกันและเหนียวพอที่จะปั้นเป็นก้อนได้ แบ่งดินนั้นมาประมาณ 8 กรัม คลึงให้เป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาว หรือเส้นยา (ellipsoidal shape)

- นวดและคลึงดินรูปลักษณะแท่งกลมยาวนั้นบนผิวเรียบสำหรับคลึงดินที่วางราบอยู่ด้วยนิ้วมือ ให้กดดินด้วยแรงพอสมควรจนดินมีลักษณะเป็นเส้นยาวและมีเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอกันตลอดเส้นด้วยอัตราการคลึงไปมาระหว่าง 80-90 เที่ยวต่อนาที โดยถือว่าการคลึงไปและกลับเป็นหนึ่งเที่ยว
- เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของดินที่คลึงมีขนาด 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วตัวอย่างดินยังไม่แตกให้ตัดดินนี้ออกเป็น 6 ถึง 8 ส่วน บีบนวดเข้าด้วยกันด้วยนิ้วมือจนดินเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน คลึงให้เป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาวแล้วทำซ้ำใหม่
- เมื่อคลึงจนดินมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วดินแตกร้าวออก ไม่สามารถคลึงให้เป็นเส้นต่อเนื่องกันได้ให้รวบรวมตัวอย่างดินที่แตกทั้งหมดใส่ลงตลับบรรจุดินปิดฝาทันที แล้วนำไปชั่งบันทึกน้ำหนักไว้แล้วเอาไปอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) จนแห้ง นำไปชั่งใหม่ บันทึกน้ำหนักดินแห้งไว้ น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในดิน การชั่งน้ำหนักให้อ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม
- การแตกของดิน มีหลายลักษณะแล้วแต่ชนิดของดิน อาจแตกร่วนเป็นก้อนเล็ก ๆ อาจลอกออกเป็นชั้น ๆ จากปลายทั้งสองข้างเข้าหาส่วนกลางจนแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ เป็นต้น
- สำหรับดินเหนียวมาก ๆ (heavy clay soil) ต้องใช้แรงกดในการคลึงมาก โดยเฉพาะเมื่อใกล้จะแตกแต่เมื่อคลึงจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วดินเหนียวยังไม่แตกให้ลดแรงกด หรืออัตราความเร็วของการคลึงลงหรือลด ทั้งสองอย่าง แล้วคลึงต่อไปโดยไม่ทำให้เส้นดินชิ้นเล็กลงจนในที่สุดดินเหนียวจะขาดออกเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 6.4 มม. ถึง 9.5 มม. (1/4 นิ้ว ถึง 3/8 นิ้ว)
- สำหรับดินเหนียวที่อ่อนมาก (very soft clay) ให้คลึงเป็นรูปไข่ยาวในตอนเริ่มการทดสอบให้มีขนาดใกล้เคียงเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ได้ เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดิน
- ในกรณีที่คลึงดินจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) หรือใหญ่กว่าเล็กน้อยแล้วดินนั้นแตก ถ้าดินนั้นเคยคลึงให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ได้มาก่อน ให้ถือว่าดินนั้นแตกที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว)

- ในการคลึงให้ดินเป็นเส้น ให้คลึงด้วยแรงกดและอัตราความเร็วสม่ำเสมอคงที่ ห้ามเร่งเพื่อให้ดินแตกเมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว)
- ต้องทำการทดสอบอย่างน้อยตัวอย่างละ 2 ครั้ง และผลต่างของผลที่ได้จะต้องต่างกันไม่เกินร้อยละ 2

2.16.6 การคำนวณ

คำนวณค่าขีดพลาสติก เป็นร้อยละของน้ำที่ผสมอยู่ในดินที่อบแห้ง ดังนี้

$$\text{ขีดพลาสติก (ความชื้นเป็นร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักของดินอบแห้ง}} \times 100 =$$

ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็นผลต่างระหว่างขีดเหลว และขีดพลาสติกของดินนั้น คำนวณ ดังนี้

$$\text{ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (P.I.)} = \text{ค่าขีดเหลว (L.L.)} - \text{ขีดพลาสติก (P.L.)}$$

2.16.7 การรายงาน

ให้รายงานเป็นค่าขีดพลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก นอกจากดินมีสภาพต่อไปนี้

- ให้รายงานค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็น นอน-พลาสติก (non-plastic) เมื่อไม่สามารถวัดค่าขีดเหลว หรือขีดพลาสติก
- เมื่อค่าขีดพลาสติกเท่ากับ หรือมากกว่าค่าขีดเหลว ให้รายงานค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็น นอน-พลาสติก

2.16.8 ข้อควรระวัง

- ในการคลึงให้ดินเป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาว ให้คลึงด้วยแรงกดและอัตราเร็วสม่ำเสมอและคงที่ ห้ามเร่งเพื่อให้ดินแตก
- เมื่อคลึงดินแตกแล้ว ให้รีบชั่งหาน้ำหนักทันที ก่อนที่น้ำจะระเหยหายไป
- ดินที่มีค่าดัชนีความเป็นพลาสติกต่ำ ให้แต่งดินเป็นแท่งยาวก่อนคลึงและน้ำหนักนิ้วที่กดขณะคลึงต้องเบา และให้คอยซับน้ำที่เยิ้มออกจากตัวอย่างดินมาติดแผ่นผิวเรียบ
- ตัวอย่างดินที่มีทรายปนมากอาจเป็นพวก นอน-พลาสติก ให้ทดลองหาค่าขีดพลาสติกก่อนเพื่อประหยัดเวลา

2.17 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (sieve analysis) (มทช.(ท) 501.8-2545)

2.17.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน (particle size distribution) ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ จนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดช่องผ่าน

0.075 มม. (เบอร์ 200) แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

2.17.2 นิยาม

การกระจายของขนาดเม็ดดิน หมายถึงการที่มวลดินประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาดต่าง ๆ กัน เช่น ตั้งแต่ 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดิน

การกระจายของขนาดเม็ดดิน แสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดดินในลอการิทึม (logarithm) อยู่บนแกนนอน และร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (percent finer) อยู่บนแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (grainsize distribution curve)

2.17.3 วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ช่องผ่านต้องเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ ได้ขนาดตามต้องการ พร้อมเครื่องมือเขย่าตระแกรง
- เครื่องชั่ง แบบบาลานซ์ (balance) จะต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึงร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักตัวอย่าง
- ตู้อบ (oven) ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์)
- เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)
- แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง และแปรงขน หรือแปรงพลาสติก
- ภาชนะสำหรับใช้แช่ และล้างตัวอย่างดิน ด้วยมือหรือด้วยชนิดใช้เครื่องเขย่า

2.17.4 การเตรียมตัวอย่าง

- การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง

  นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ ถ้ามีส่วนละเอียดจับเป็นก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่โดยให้ทุบแยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยางแต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดดินแตก

- การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

นำตัวอย่างที่มีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนไปแยกออกจากกันโดยใช้ค้อนยางทุบแล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่อหาน้ำหนักตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง โดยใช้น้ำยาล้างส่วนละเอียด ซึ่งเตรียมได้จากการละลายผลึกโซเดี่ยมเฮคชะเมตตาฟอสเฟต ซึ่งทำให้เป็นกลางด้วยโซเดี่ยมคาร์บอเนต (sodium hexametaphosphate buffered with sodium carbonate) 45.7 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนผสมกันให้ทั่วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชม. แล้วนำไปเขย่า ประมาณ 10 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระฉอกออกจากภาชนะ เทตัวอย่างดินในภาชนะลงบนตะแกรงเบอร์ 200 ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ปนอยู่มากควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 ช้อนไว้ข้างบน แล้วใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 ช้อนไว้ข้างบน แล้วใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีก เทตัวอย่างลงในภาชนะแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์)

2.17.5 การทดสอบ

- นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง แล้วแต่จะต้องการทดสอบแบบใดมาโดยประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ขนาดคละของวัสดุ

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	0.5
9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	1.0
12.5 มม. (1/2 นิ้ว)	2.0
19.0 มม. (3/4 นิ้ว)	5.0
25.0 มม. (1 นิ้ว)	10.0
37.5 มม. (1 1/2 นิ้ว)	15.0
50.8 มม. (2 นิ้ว)	20.0
63.0 มม. (2 1/2 นิ้ว)	25.0
75.0 มม. (3 นิ้ว)	30.0
90.0 มม. (3 1/2 นิ้ว)	35.0

- นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกินร้อยละ 1 ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องไม่มีก้อนตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัม ต่อ 1,000 ตร.มม. หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้างแต่ละขนาดของตะแกรงไปชั่ง

2.17.6 การคำนวณ

- หาน้ำหนักที่ค้าง (weigh tretained) บนตะแกรงแต่ละขนาดโดยชั่งน้ำหนักของตัวอย่างดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรงและน้ำหนักที่หายไป เมื่อเอาน้ำหนักของตัวอย่างในทุกตะแกรงรวมกันแล้ว หักออกจากน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งทั้งหมด ซึ่งใช้ทดสอบจะได้น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 รวมกับน้ำหนักที่ค้างบนถาดรอง (pan)
- หาน้ำหนักที่ผ่าน (weight passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่องน้ำหนักที่ค้างขึ้นไป (ดูแบบฟอร์ม) เอาน้ำหนักของน้ำหนักที่ค้างบนถาดรองเป็นช่องน้ำหนักที่ค้าง ของตะแกรง เบอร์ 200 รวมน้ำหนักของน้ำหนักที่ค้าง น้ำหนักช่องน้ำหนักที่ผ่าน ของตะแกรงเบอร์ 200 เป็นน้ำหนักของช่องน้ำหนักที่ผ่าน บรรทัดบนสุดจะเท่ากับน้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมด ซึ่งใช้ทดสอบ
- คำนวณหาร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (percentage passing) ได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ}} \times 100$$

2.17.7 การรายงาน

ให้รายงานค่าร้อยละ ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ โดยน้ำหนักด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง

2.17.8 ข้อควรระวัง

- การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องมือขนาดช่องกว้างประมาณ 1 1/2 เท่าของก้อนโตที่สุด
- ตรวจดูตะแกรงบ่อย ๆ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้ โดยเฉพาะเบอร์ 200
- ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่
- การทุบตัวอย่างดินต้องไม่แรงมากจนทำให้เม็ดดินแตก
- การเขย่าอย่าเขย่านานจนตัวอย่างกระแทกแตกเป็นผง

2.18 วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (coarse aggregates) โดยใช้เครื่องมือทดสอบหาความสึกหรอ (los angeles abrasion) มทช.(ท) 501.9-2545

2.18.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาค่าความสึกหรอของหินย่อย กรวดย่อย กรวด วัสดุลูกรัง หรือมวลรวมดิน (soil aggregates) และวัสดุชนิดเม็ดหยาบ

2.18.2 วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- เครื่องมือทดสอบความสึกหรอมีลักษณะขนาด ประกอบด้วยทรงกระบอกเหล็กปิดหัวและท้ายมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 711±5 มม. (28±0.2 นิ้ว) ความยาวภายใน 508±5 มม. (20±0.2 นิ้ว) ทรงกระบอกนี้ติดอยู่กับเพลาและหมุนรอบแกนได้ในแนวราบ มีช่องสำหรับใส่วัสดุพร้อมฝาเหล็กปิด ฝาเหล็กเมื่อปิดแล้วต้องมีลักษณะผิวเหมือนกับผิวด้านในของทรงกระบอกเหล็กและเสมอกัน ซึ่งไม่ทำให้ลูกเหล็กทรงกลม (abrasive charge) สะดุดเวลากลิ้งผ่านรอยต่อมีแผ่นเหล็กขวางสูง 89±2 มม. (3.5±0.1 นิ้ว) ยาว 508±2 มม. (20±0.2 นิ้ว) ติดแน่นตามยาวด้านในทรงกระบอกเหล็ก ระยะจากแผ่นเหล็กขวางถึงช่องสำหรับใส่วัสดุไม่น้อยกว่า 1,270 มม. (50 นิ้ว) วัดตามความยาวเส้นรอบวงภายนอกทรงกระบอกเหล็ก

หมายเหตุ แผ่นเหล็กขวางควรมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ติดอยู่กับผนังของทรงกระบอกเหล็ก หรืออาจใช้เหล็กฉากแทน โดยติดที่ริมฝาเหล็กช่องใส่วัสดุ ให้ด้านนอกของเหล็กฉากหันไปตามทิศทางที่หมุน

- ตะแกรงสำหรับ หาขนาดของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ใช้ตะแกรงมีช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 75.0 มม. (3 นิ้ว), 63.0 มม. (2 1/2 นิ้ว), 50.8 มม. (2 นิ้ว), 37.5 มม. (1 1/2 นิ้ว) 25.0 มม. (1 นิ้ว), 19.0 มม. (3/4 นิ้ว), 12.5 มม. (1/2 นิ้ว), 9.5 มม. (3/8 นิ้ว), 6.4 มม. (1/4 นิ้ว), 4.75 มม. (เบอร์ 4) , 2.36 มม. (เบอร์ 8), 1.70 มม. (เบอร์ 12)
- ลูกเหล็กทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 46.8 มม. (1 27/32 นิ้ว แต่ละลูกหนักระหว่าง 390-445 กรัม จำนวนลูกเหล็กทรงกลมขึ้นอยู่กับชั้นของตัวอย่าง ซึ่งกำหนดไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 จำนวนลูกเหล็กทรงกลม ที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชั้น (grading)

ชั้น	ลูกเหล็กทรงกลม (ลูก)	น้ำหนักรวม (กรัม)
A	12	5,000±25
B	11	4.584±25
C	8	3,330±20
D	6	2,500±15
E	12	5,000±25
F	12	5,000±25
G	12	5,000±25

- เครื่องชั่งต้องสามารถชั่งได้ 15 กิโลกรัม ความละเอียดอ่านได้ถึง 1 กรัม

2.18.3 การเตรียมตัวอย่าง

- ถ้าตัวอย่างไม่มีดินเหนียวปน เช่น กรวดปนทราย หินโม่ ให้ตากตัวอย่างจนแห้ง หรืออบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส (221-230 องศาฟาเรนไฮต์)
- ถ้าตัวอย่างมีดินเหนียวปน หรือมีส่วนละเอียดติดแน่นกับก้อนตัวอย่างให้นำตัวอย่างไปล้างน้ำเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ออกทิ้งแล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 มาอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส (221-230 องศาฟาเรนไฮต์)
- นำตัวอย่างไปแยกขนาดตามชั้นในตารางที่ 2.4 ถ้าเข้าได้หลายชั้น ให้เลือกใช้ตัวที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด

2.18.4 การทดสอบ

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้และลูกเหล็กทรงกลม ตามจำนวนลูกในตารางที่ 2.4 ใส่เข้าไปในเครื่องทดสอบหาความสึกหรอหมุนเครื่องด้วยความเร็วที่ 30-33 รอบต่อนาที ให้ได้จำนวนตามตารางที่ 2.5 เมื่อหมุนได้ครบตามกำหนดแล้วให้เอาตัวอย่างออกจากเครื่องล้างส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 12 ออกทิ้ง นำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 12 มาอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส (221-230 องศาฟาเรนไฮต์) จนได้น้ำหนักคงที่จึงชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ

ตารางที่ 2.5 น้ำหนักชั้นของตัวอย่างต่อจำนวนรอบ

ขนาดตะแกรง (มม.)		น้ำหนัก (กรัม) และ ชั้นของตัวอย่าง						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
75.0	63.0					2,500±50		
63.0	50.8					2,500±50		
50.8	37.5					5,000±50	5,000±50	
37.5	25.0	1,250±25					5,000±50	5,000±25
25.0	19.0	1,250±25						5,000±25
19.0	12.5	1,250±10	2,500±10					
12.5	9.5	1,250±10	2,500±10					
9.5	6.3			2,500±10				
6.3	4.75 (#4)			2,500±10				
4.75 (#4)	2.36(#8)				5,000±10			
น้ำหนักตัวอย่างรวม		5,000±10	5,000±10	5,000±10	5,000±10	10,000±100	10,000±75	10,000±50
จำนวนรอบ		500				1,000		

2.18.5 การคำนวณ

$$\text{ความสึกหรอเป็นร้อยละ} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 =$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ

W_2 = น้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12

2.18.6 การรายงาน

ให้รายงานค่าความสึกหรอเป็นร้อยละ ด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง

2.18.7 ข้อควรระวัง

- ให้ทำการชั่งลูกเหล็กทรงกลม แต่ละลูกอย่างน้อย 1 ครั้ง ทุก ๆ 6 เดือน เพื่อตรวจสอบให้เป็นไปตามข้อกำหนด
- ในกรณีที่แผ่นเหล็กขวาง เป็นเหล็กฉากตัดริมแผ่นเหล็กปิดช่องใส่วัสดุ การติดต้องให้ด้านนอกของเหล็กฉากหันไปในทิศทางที่เครื่องหมุน

2.19 วิธีการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test) มทช.(ท) 501.2- 2545

2.19.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดิน กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดในแบบที่กำหนดขนาดไว้ด้วยตุ้มเหล็กหนัก 4.54 กก.(10 ปอนด์) ระยะปล่อยตุ้มตกกระทบสูง 457 มม. (18 นิ้ว) วิธีทดสอบ มี 4 วิธี ต่าง ๆ กันดังนี้

วิธี ก. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีพร็อกเตอร์แบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor)

วิธี ข. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีแอสโต ที 180 (AASHTO T 180)

วิธี ค. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีพร็อกเตอร์แบบสูงกว่ามาตรฐาน

วิธี ง. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีแอสโต ที 180

การใช้วิธีทดสอบวิธีใดให้เป็นไปตามรายการที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ถ้าไม่ได้ระบุวิธีการทดสอบให้ใช้ วิธี ก.

2.19.2 วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- แบบ (mold) ทำด้วยโลหะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง ผนังแข็งแรงมี 2 ขนาด มีปลอกที่สามารถถอดได้สูง 60 มม.(2 3/8 นิ้ว) เพื่อให้สามารถบดอัดดินให้สูง และมีปริมาตรตามต้องการ แบบและปลอกต้องยึดกันได้อย่างมั่นคงกับฐานแบบซึ่งสามารถถอดได้ ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกับ

- แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม.(4 นิ้ว) สูง 116.43±0.127 มม. (4.584±0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 101.6±0.406 มม. (4.000±0.016 นิ้ว) โดยมีขนาดความจุ 0.000943±0.000008 ลบ.ม (0.0333±0.0003 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)
- แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) สูง 116.43±0.127 มม. (4.584±0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 152.4±0.6604 มม. (6.000±0.026 นิ้ว) โดยมีความจุ 0.002124±0.000021ลบ.ม.(0.07500±0.00075 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม.(2 3/8 นิ้ว)
- ตุ้ม (rammer) ทำด้วยโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8±0.127 มม. (2.000±0.005 นิ้ว) น้ำหนักรวมทั้งด้ามถือ 2.5359±0.0081 กก. (10.00±0.05 ปอนด์) มีปลอกบังคับให้ยกได้สูง 457.2±1.524 มม. (18.00±0.06 นิ้ว) เหนือระดับดินที่บดอัดโดยตุ้มตกลงกระทบได้อย่างอิสระ ปลอกบังคับต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มม. (3/8 นิ้ว) ทำมุมกัน 90 องศา และห่างจากปลายปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19 มม. (3/4 นิ้ว)
- เครื่องดันตัวอย่างออกจากแบบ (sample extruder) ประกอบด้วยแม่แรง (jack) ก้านโยกแม่แรง โครงเหล็กจับแบบขณะดันตัวอย่างออกจากแบบ ใช้ดันตัวอย่างที่บดอัดในแบบแล้วออกจากแบบ หรืออาจใช้เครื่องมืออย่างอื่น ที่สามารถขุดแคะตัวอย่างดินออกจากแบบก็ได้
- เครื่องชั่ง (balance and scale) สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 11.5 กก. และอ่านละเอียดได้ถึง 5 กรัม 1 เครื่อง และสามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 1,000 กรัม อ่านละเอียดได้ถึง 0.01 กรัม อีก 1 เครื่อง
- ตู้อบ (oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) สำหรับอบดินชื้นให้แห้ง
- เหล็กปาดดิน (strainght edge) ทำด้วยเหล็กชุบแข็ง (hardened steel) มีขอบเรียบยาวไม่น้อยกว่า 254 มม. (10 นิ้ว) มีขอบที่ลบมุมด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งเรียบตรงตลอดความยาวของเหล็กปาดดิน โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.1 (0.01 นิ้วต่อความยาว 10 นิ้ว) ในช่วงที่ใช้ปาดแต่งผิวดินในแบบ

- ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มม. (8 นิ้ว) สูง 50.8 มม. (2 นิ้ว) มี 2 ขนาด คือ 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) และ 4.75 มม. (เบอร์ 4)
- เครื่องผสมดิน (mixing tool) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคลุกผสมดินให้เข้ากัน ได้แก่ ถาดใส่ดิน ช้อนตักดิน พลั่ว เกรียง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ เป็นต้น หรืออาจเป็นเครื่องผสมดินที่ทำงานด้วยเครื่องจักร ซึ่งสามารถคลุกเคล้าผสมตัวอย่างดินให้เข้ากับน้ำที่ผสมเพิ่มลงไปในตัวอย่างดินทีละน้อย ๆ ได้
- ตลับบรรจุดิน (container) ทำด้วยโลหะมีฝาปิดป้องกันความชื้นระเหยออกไปก่อนชั่งน้ำหนัก หรือระหว่างการชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นในดิน

2.19.3 การเตรียมตัวอย่าง

- ถ้าตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบชื้นให้ผึ่งให้แห้งจนสามารถใช้เกรียงบดให้ร่วนได้ หรือใช้ตู้อบอบดินให้แห้งก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส (140 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วบดให้เม็ดดินหลุดออกจากกัน โดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก
- ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุดโตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ร่อนเอาดินที่ค้างบนตะแกรงนี้ออกแล้วแทนด้วยดินที่ร่อนผ่านตะแกรงนี้แล้วค้างบนตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) จำนวนน้ำหนักเท่ากันใส่ลงแทนแล้วคลุกเคล้าให้ทั่วทำการแบ่งสี่ (quartering) หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)
- ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุดไม่โตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้แบ่งตัวอย่างตามวิธีการแบ่งสีหรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง
- ในกรณีที่จะทำการทดสอบตามวิธี ค. หรือ ง. ให้ใช้ตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) เท่านั้น ส่วนที่ค้างบนตะแกรงนี้ให้ทิ้งไป
- ให้เตรียมตัวอย่างหนักประมาณ 6,000 กรัม (14 ปอนด์) สำหรับการทดสอบวิธี ข. และ ง. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง และหนักประมาณ 3,000 กรัม (7 ปอนด์) สำหรับการทดสอบวิธี ก. และ ค. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง การเตรียมตัวอย่างต้องเตรียมให้พอทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

2.19.4 การทดสอบ

การทดสอบวิธี ก.

- นำตัวอย่างดินที่เตรียมมาพรมน้ำให้ทั่วเพื่อให้ดินชื้นโดยเมื่อคลุกผสมกันแล้วจะมีความชื้นต่ำปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (optimum moisture content) ร้อยละ 4 ใส่ดินที่ผสมน้ำแล้ว ลงในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) ซึ่งมีปลอก (collar) สวมอยู่เรียบร้อยแล้ว โดยประมาณว่าเมื่อบดอัดแล้วจะเหลือดินสูง 1/5 ของความสูงของแบบ แล้วบดอัดโดยตุ้มยกสูง 457 มม. (18 นิ้ว) จำนวน 25 ครั้ง ให้ทั่วผิวของดินในแบบ
- ทำซ้ำอีก 4 ครั้ง จนดินที่ถูกบดอัดแน่นในแบบมีความสูงกว่าแบบประมาณ 10 มม.
- ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดดินปาดแต่งหน้าดินในแบบให้เรียบเท่ากับระดับขอบบนของแบบ ถ้าดินก้อนใหญ่หลุดออกให้เติมดินตัวอย่างลงไปแทนแล้วลดให้แน่นพอควรจนเรียบแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เมื่อหักน้ำหนักของแบบออกจะได้น้ำหนักของดินชื้น ต้องอ่านเครื่องชั่งละเอียดถึง 5 กรัม
- แกะดินออกจากแบบ แล้วผ่าตามแนวตั้งผ่านจุดศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างดิน เก็บดินจากที่ผ่าประมาณ 300 กรัม ใส่ตลับบรรจุดินชั่งน้ำหนักทันที อ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม
- นำดินในตลับบรรจุดินไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักอ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม
- บดดินตัวอย่างที่แกะออกจากแบบที่เหลือให้ร่วน แล้วคลุกผสมกับดินในตอนแรกให้เข้ากัน พรมน้ำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ถึง 2
- ดำเนินการโดยเพิ่มน้ำทุกครั้งจนกว่าน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบลดลง หรือไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจลดน้ำที่ผสมลงเมื่อพบว่าการเพิ่มน้ำแล้วน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบกลับลดลง
- การทดสอบวิธี ข. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ก. แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง
- การทดสอบวิธี ค. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ก. แต่ใช้ตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) บดอัด 3 ชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง
- การทดสอบวิธี ง. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ค. แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง

2.19.5 การคำนวณ

- คำนวณหาค่าความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

(2.10)

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

- คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (WET DENSITY)

$$\gamma_w = \frac{A}{V}$$

(2.11)

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วย เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

- คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (dry density)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1 + \frac{w}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

2.19.6 การรายงาน

- นำค่าความชื้นในดิน (W) และค่าความแน่นแห้งของดิน (γ_d) ในแต่ละครั้งของการทดสอบมากำหนดจุดลงในกระดาษกราฟ โดยให้ค่าความชื้นในดินอยู่ในแกนนอนและค่าความแน่นแห้งของดินอยู่ในแกนตั้ง

- เขียนเส้นกราฟให้ผ่านจุดที่กำหนดไว้ หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด จะได้เส้นกราฟลักษณะเป็นเส้นโค้ง รูประฆังคว่ำ (parabola curve) จุดสูงที่สุดของเส้นโค้งคือค่าความแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) ของดินนั้น ตามกรรมวิธีบดอัดที่ใช้ทดสอบนี้
- ที่จุดค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดิน เมื่อลากเส้นตรงขนานกับแกนตั้งลงมาตัดแกนนอน จะได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด
- ให้รายงานค่าความแน่นแห้งสูงสุด หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) เป็นร้อยละ

2.19.7 ข้อควรระวัง

- การประมาณปริมาตรน้ำที่ใช้ผสมดินที่เกาะติดกันเป็นก้อน (cohesive soil) ควรเผื่อให้ต่ำและสูงกว่าจำนวนน้ำ ที่ทำให้ได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัด ได้แน่นสูงสุด (OMC) ดินพวกดินทราย (cohesionless soil) ควรผสมน้ำตั้งแต่น้อยที่สุด คือ เริ่มจากดินผึ่งแห้งจนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ในการบดอัดดินให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคงแข็งแรง ราบเรียบ ขณะทำการบดอัดแบบต้องไม่กระดอนไปมา
- ควรเตรียมตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดสอบทางด้านแห้งกว่า (dry side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) ไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีตัวอย่างทดสอบพอทดสอบทางด้านชื้นกว่า (wet side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) 1 ตัวอย่าง
- ดินชนิดที่มีปริมาณดินเหนียวมาก (heavy clay) หลัง จากผึ่งให้แห้งแล้วให้บดด้วยค้อนยาง หรือใช้เครื่องบด จนได้ตัวอย่างที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ปริมาตรของแบบ ให้ทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ
- แบบที่ใช้งานแล้ว ต้องคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 50 ของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

2.20 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.) (มทช.(ท) 501.3-2545)

2.20.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าเปรียบเทียบ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก (bearing value) กับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน (soil aggregte) หินคลุกหรือวัสดุอื่นใด

เมื่อทำการบดอัดวัสดุนั้นโดยใช้ตุ้มบดอัดในแบบ (mold) เมื่อมีความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (optimummoisture content) หรือปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนน และเพื่อใช้ควบคุมงาน เมื่อบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

การทดสอบ ซี.บี.อาร์. อาจทำได้ 2 วิธี คือ

วิธี ก. การทดสอบแบบแช่น้ำ (soaked)

วิธี ข. การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (unsoaked)

ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้วิธี ก.

2.20.2 วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- loading; device แบบ hydraulic jack หรือ screw jack มีอุปกรณ์วัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์)
- แบบสำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 152.4±0.66 มม. (6.0±0.026 นิ้ว) สูง 177.8±0.66 มม. (7.0±0.016 นิ้ว) พร้อมปลอก (collar) สูงโดยประมาณ 50.8 มม. (2.0 นิ้ว) และฐานแบบ (BASE PLATE) สำหรับยึดแบบและปลอก
- แท่งโลหะรอง (spacer disc) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 134.9 (5 5/16 นิ้ว) มีความสูงขนาดต่าง ๆ
- ตุ้มหนัก 4,537 กรัม (10 ปอนด์) และ 2,495 กรัม (5.5 ปอนด์)
- เครื่องวัดการพองตัว ประกอบด้วย
  - แผ่นวัดการพองตัว (swell plate)
  - สามขา (tripod) สำหรับติดมาตรวัด (dial gauge) วัดได้ 25 มม. ซึ่งวัดได้ละเอียด 0.01 มม. เพื่อวัดอัตราการพองตัวของดินเมื่อแช่น้ำ
- โลหะถ่วงน้ำหนัก (surcharge weight) เป็นเหล็กทรงกระบอกแบบเส้นผ่านศูนย์กลาง 149.2 มม. (5 7/8 นิ้ว) มีรูกลวง เพื่อให้ท่อนกด (piston) ลอดไปได้หนักแผ่นละ 2,268 กรัม (5 ปอนด์)
- ท่อนกด ทำด้วยโลหะทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.5 มม. (1.95 นิ้ว) มีเนื้อที่หน้าตัด 1,935.5 ตร.มม. (3 ตร.นิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 102 มม. (4 นิ้ว)
- เครื่องดันตัวอย่างเป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลัง เมื่อทดสอบเสร็จแล้ว
- เครื่องชั่งแบบบาล๊านซ์ (balance) มีขีดความสามารถชั่งได้อย่างน้อย 20 กก. ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม

- เครื่องชั่งแบบสเกล (scale) หรือแบบบาล๊านซ์ มีขีดความสามารถชั่งได้อย่างน้อย 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- ตู้อบ (oven) ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส
- เหล็กปาด มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มม. และไมยาวเกินไปหนาประมาณ 3.0 มม. (0.12 นิ้ว)
- เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง
- ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) 50.8 มม. (2 นิ้ว) มีขนาด ดังนี้

  ก. ขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

  ข. ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)
- เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่าง ๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ เช่น ถาด ช้อน พลั่ว เกรียง คอนยาง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ
- ตลับบรรจุดินสำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่ออบหาจำนวนน้ำในดิน
- นาฬิกาจับเวลา

2.20.3 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดสอบ

กระดาษกรองอย่างหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว)

2.20.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ ดิน หินคลุก หรือวัสดุมวลรวมดินหรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดสอบ ให้เตรียมตัวอย่าง ดังนี้

- วัสดุตัวอย่าง ก่อนจะนำมาทดสอบจะต้องปล่อยทิ้งให้แห้ง (air dry) ในห้องปฏิบัติการทำการแบ่งสี่ (quartering) แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้วให้ทิ้งไปและชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว แต่ค้างบนตระแกรง เบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน
- หาปริมาณความชื้นที่ความแน่นสูงสุด โดยวิธีการทดสอบความแน่นตามมทช. (ท) 501.1-2545 หรือ มทช.(ท) 501.2-2545

2.20.5 การทดสอบ

สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่ต้องมีการแช่น้ำ (unsoaked c.b.r. test)

- ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 6 กก. (12 ปอนด์) และนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้นในดินตัวอย่าง (initial water content)

- เตรียมแบบไว้ 2 ชุด ชั่งหาน้ำหนักแบบ (ไม่รวมฐานแบบ)
- ประกอบแบบ เข้ากับฐานแบบและแท่งโลหะรอง ใช้กระดาษกรองปูทับบนแท่งโลหะรอง เพื่อป้องกันไม่ให้เกาะติดกับแผ่นเหล็ก
- กระทุ้งดินอัดแน่นในแบบ ตามวิธีการทดสอบความแน่นที่ปริมาณความชื้น ที่ความแน่นแห้งสูงสุด (เตรียมตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง โดยทำการบดอัดแต่ละชั้นด้วยตุ้ม จำนวน 12 ครั้ง 25 ครั้ง และ 56 ครั้งต่อชั้น)
- หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้น และจำนวนครั้งแล้วถอดปลอกออกใช้เหล็กปาดปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบแบบ พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินตัวอย่างให้เรียบเสมอกับปากแบบ
- ถอดฐานแบบ และแท่งโลหะรองออก นำแบบและดินไปชั่งหาน้ำหนัก เพื่อจะนำไปหาความแน่นชื้น (wet density)
- เอากระดาษกรองวางบนฐานแบบ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะแบบติดแผ่นเหล็กประกอบแบบ ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับฐานแบบ โดยให้ปากแบบด้านที่มีดินเสมอปากวางบนฐานแบบ และส่วนที่มีช่องว่างอยู่ด้านบนสำหรับการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ
- วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก (surcharge) จำนวน 2 ชิ้น สำหรับวัสดุพื้นทาง, วัสดุรองพื้นทาง, วัสดุคัดเลือกและจำนวน 3 ชิ้น สำหรับวัสดุคันทางทับบนดินตัวอย่างในแบบ
- นำแบบเข้าเครื่องกดทดสอบ ซึ่งมีท่อนกดขนาดพื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตร.มม. (3 ตร.นิ้ว) ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินในแบบ แตะสัมผัสกับท่อนกดดังกล่าว จัดเข็มของมาตรวัด ที่จะใช้วัดค่าการจมตัว (penetration) ให้อยู่ที่จุดศูนย์
- กดท่อนกดในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับค่าการจมตัว 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.250, 0.300, 0.350, 0.400, 0.450 และ 0.500 นิ้ว
- เสร็จแล้วถอดแบบออกจากเครื่องกดทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 4.75 มม. หรือประมาณ 300 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 19.0 มม. แล้วนำไปหาความชื้น สำหรับการทดสอบแบบแช่น้ำ

- วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก จำนวน 2 ชิ้น สำหรับวัสดุพื้นทาง, วัสดุรองพื้นทาง, วัสดุคัดเลือด และจำนวน 3 ชิ้น สำหรับวัดสุคันทางลงบนดินตัวอย่าง ใส่แผ่นวัดการพองตัว สำหรับวัดอัตราการบวมของดิน ซึ่งมีด้ามขัดเกลียวขึ้นลงได้ติดอยู่กลางแผ่น ก่อนวางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักลงบนดินตัวอย่าง จะต้องเอากระดาษรองวางคั่นได้แผ่นนี้เสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดแน่นกับแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว
- แช่แบบที่เตรียมไว้ในภาชนะที่เตรียมไว้ ให้น้ำท่วมแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักประมาณ 1 นิ้ว ใช้มาตรวัดอ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว ยึดติดกับสามขา แล้ววางบนปากแบบ จัดให้ปลายของมาตรวัดแตะสัมผัสกับก้านของแผ่น วัดการพองตัว เพื่อวัดหาค่าการพองตัวของดินต่อไป
- จดค่าการขยายตัวจากมาตรวัดทุกวัน จนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการพองตัวคงที่ อาจหยุดอ่านได้ หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)
- ยกแบบออกจากน้ำและตะแคงแบบ เพื่อรินน้ำทิ้งและปล่อยทิ้งไว้ ประมาณ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจากแบบ
- นำแบบพร้อมดินไปชั่งหาน้ำหนัก
- เสร็จแล้วถอดแบบออกจากเครื่องกดทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 4.75 มม. หรือประมาณ 300 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 19.0 มม. แล้วนำไปหาความชื้น
- เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกด และค่าการจมตัว (stress vs penetration) เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. ต่อไปสำหรับในการเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกด และค่าการจมตัว เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. จำเป็นจะต้องทำการแก้เส้นกราฟโดยเลื่อนจุดศูนย์ของค่าการจมตัว ในกรณีที่เส้นกราฟหงายเพื่อให้ได้ค่า ซี.บี.อาร์. ที่แท้จริง
- เมื่อได้ค่า ซี.บี.อาร์. ของแต่ละตัวอย่างแล้วเขียนเส้นกราฟ ระหว่างค่า ซี.บี.อาร์. และค่าความหนาแน่นแห้ง (dry density) เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. เป็นร้อยละของการบดอัดที่ต้องการต่อไป

2.20.6 การคำนวณ

- คำนวณหาค่าความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

- คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (wet density)

$$\gamma_w = \frac{A}{V}$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

- คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (dry density)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1 + \frac{w}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

- คำนวณหาค่าการพองตัว (swelling)

$$\text{ค่าการพองตัวร้อยละ} = \frac{\text{ค่าการพองตัว ม.ม.}}{\text{ความสูงของแท่งตัวอย่าง}}$$

ค่าการพองตัว (มม.) = ผลต่างระหว่างการอ่านค่าที่มาตรวัด ครั้งแรกและครั้งสุดท้าย

- คำนวณหาค่า ซี.บี.อาร์.

ในการคำนวณหาค่า ซี.บี.อาร์. ให้ถือน้ำหนักมาตรฐาน (standard load) ดังนี้

ตารางที่ 2.6 น้ำหนักมาตรฐานตากการกดท่อนเหล็กขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้วของวัสดุหินคลุก

ค่าการจมตัว (มม.)	น้ำหนักมาตรฐาน (standard load) กิโลกรัม	ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (standard unit load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2.54 (0.1")	1,360.8 (3,000 lb)	70.3 (1,000 lb/in)
5.08 (0.2")	2,041.2 (4,500 lb)	105.46 (1,500 lb/in)
7.62 (0.3")	2,585.5 (5,700 lb)	133.59 (1,900 lb/in)
10.16 (0.4")	3,129.8 (6,900 lb)	161.71 (2,300 lb/in)
12.70 (0.5")	3,538.0 (7,800 lb)	182.81 (2,600 lb/in)

จากสูตร

ซี.บี.อาร์. ร้อยละ $= \frac{X}{Y}.100$

เมื่อ X = ค่าน้ำหนักที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับค่าการจมตัวที่ 2.54 มม. หรือ 0.1 นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุก ๆ 2.54 มม.)

Y = ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (standard unit load) กก./ตร.ซม. (จากตารางข้างต้น)

2.20.7 การรายงาน

ในการทำการทดสอบ ซี.บี.อาร์. ให้รายงาน ดังนี้

- ค่า ซี.บี.อาร์. ที่ความแน่นร้อยละ ของความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐานหรือแบบมาตรฐาน) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง
- ค่าความแน่นแห้งที่ให้ค่า ซี.บี.อาร์. ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- ค่าการพองตัว ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง
- ค่าอื่น ๆ

เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ค่า ซี.บี.อาร์. เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการรับน้ำหนักกับวัสดุหินมาตรฐาน ดังนั้น จึงไม่มีการกำหนดเกณฑ์ตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ข้อควรระวัง

- สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (heavy clay) หลังจากตากแห้งแล้วให้ทุบด้วยค้อนยาง จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

- ในการใช้ตุ้มทำการบดอัด ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีตไม่ให้แบบกระดก หรือกระดอนขึ้นขณะทำการบดอัด
- ในการทดสอบหาค่าการจมตัว โดยใช้เครื่องกดทดสอบแบบวงแหวน (proving ring) เป็นตัวอย่างอ่านน้ำหนักและใช้มาตรวัดค่าการจมตัวติดที่โครง (frame) ของเครื่องกดทดสอบต้องทำการแก้ค่าการจมตัว เนื่องจากการหดตัวของวงแหวน (proving ring) โดยหักค่าการหดตัวของวงแหวนออกจากค่าการจมตัว กรณีที่ติดมาตรวัดค่าการจมตัว (penetration dial) ที่ท่อนกดไม่ต้องปฏิบัติตามความในข้อนี้
- ในการเขียนกราฟระหว่างค่าน้ำหนักมาตรฐาน และค่าการจมตัว จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์สำหรับเส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบ หรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่างเนื่องจากการแช่น้ำ ให้ทำการแก้โดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของส่วนโค้งของเส้นกราฟ ไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือเส้นที่ลากผ่านค่าน้ำหนักมาตรฐาน เท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของค่าการจมตัวไปที่จุดที่ตัดแล้วจึงหาค่า ซี.บี.อาร์. ที่ปรับค่า (corrected c.b.r. value) ต่อไป
- ค่า ซี.บี.อาร์. ที่ได้จากการปรับค่า หรือที่ได้จริงจากการอ่านค่าน้ำหนักมาตรฐาน (true load value) ซึ่งคำนวณจากค่าการจมตัวที่ 2.54 มม.(0.1 นิ้ว) และที่ค่าการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) เป็นค่า ซี.บี.อาร์ ที่ใช้รายงาน

  โดยปกติค่า ซี.บี.อาร์. ที่มีค่าการจมตัว 2.54 มม. จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า ซี.บี.อาร์. ที่มีค่าการจมตัว 5.08 มม. ถ้าหากไม่เป็นดังนั้น คือค่า ซี.บี.อาร์. ที่ 5.08 มม. สูงกว่าที่ 2.54 มม. ให้ทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด แต่ถ้าค่า ซี.บี.อาร์. ที่ได้ยังคงสูงกว่าอีก ให้ใช้ค่า ซี.บี.อาร์. 5.08 มม.
- ในการทำตัวอย่างเพื่อทดสอบ ในกรณีที่ต้องการบดอัดมากหรือน้อยกว่าที่ต้องการตามวิธีการทดสอบนี้ อาจจะเพิ่มการบดอัดเป็นชั้นละ 75 ครั้ง หรือลดการบดอัดเป็นชั้นละ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียนเส้นกราฟ
- ตุ้มที่ใช้ทำการลดอัดเพื่อเตรียมตัวอย่าง เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. มี 2 ขนาด (ตามข้อ 2.1.4) ในการเตรียมตัวอย่าง ซี.บี.อาร์. โดยวิธีการทดสอบความแน่นแบบ

มาตรฐานให้ใช้ตุ้มขนาดเล็ก ส่วนการเตรียมตัวอย่าง ซี.บี.อาร์. ตามวิธีการทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐานให้ใช้ตุ้มขนาดใหญ่

2.21 การก่อสร้างและการบดอัด ชั้นโครงสร้างทาง

2.21.1 งานชั้นดินถมคันทาง

งานชั้นรองพื้นทาง หมายถึง การก่อสร้างวัสดุบนชั้นดินเดิม ได้บดอัดแล้วเสร็จ โดยใช้วัสดุดินถม นำมาคลุกเคล้าผสมน้ำ (mix Process) แล้วทำการปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดแน่นให้ได้รูปแบบ ความหนาชั้นละไม่เกิน 20 ซม. ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 Standard proctor density

2.21.2 งานชั้นรองพื้นทาง (subbase)

งานชั้นรองพื้นทาง หมายถึง การก่อสร้างวัสดุบนชั้นคันทาง หรือบนชั้นวัสดุคัดเลือกที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยใช้วัสดุลูกรัง หรือมวลรวมดิน (soil aggregate) นำมาคลุกเคล้าผสมน้ำ (mix Process) แล้วทำการปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดแน่นให้ได้รูปแบบ ความหนาชั้นละไม่เกิน 15 ซม. ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density

2.21.2.1 วิธีการก่อสร้าง

กรณีการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางบนถนนเดิมที่มีผิวจราจรเป็นลูกรัง ให้ตบแต่งพื้นทางเดิมให้ได้แนวและระดับตามรูปแบบที่กำหนด หากมีวัสดุส่วนใดที่หลุดร่อนไม่คงทนหรือด้อยคุณภาพหรือเป็นหลุมบ่อ ต้องกวาดวัสดุเดิมออกให้หมด และดำเนินการกลบหลุมบ่อด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ต่ำกว่ามาตรฐานของวัสดุคัดเลือก หรือหากพบบริเวณใดที่มีดินอ่อนอยู่ใต้ชั้นโครงสร้างเดิม (soft spot) ให้ขุดออกแล้วนำวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ต่ำกว่ามาตรฐานของวัสดุคัดเลือกมาถมแทนที่ และบดอัดเป็นชั้น ๆ ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 standard proctor density

กรณีการก่อสร้างชั้นวัสดุรองพื้นทางใหม่บนชั้นวัสดุรองพื้นทางเดิม ซึ่งมีความหนาของชั้นน้อยกว่า 10 เซนติเมตร ต้องขุดคุ้ย (scarify) วัสดุชั้นรองพื้นทางเดิมช่วงนั้นลึกไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร แล้วผสมคลุกเคล้ากับวัสดุชั้นรองพื้นทางใหม่ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงทำการบดให้แน่นและได้ระดับตามแบบก่อสร้าง

กรณีที่ก่อสร้างบนคันทาง ที่ได้บดอัดและปรับแต่งเรียบร้อยแล้ว ให้นำวัสดุรองพื้นทางที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนด มาเกลี่ยแผ่บดอัดเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นไม่เกิน 15 เซนติเมตร ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density บริเวณใดหรือช่วงใดหากวัสดุรองพื้นทางที่เกลี่ยแผ่และทำการบดอัดแล้ววัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมีการแยกตัวออกจากกัน

(segregation) ให้แก้ไขโดยขุดออกแล้วทำการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หรือรื้อออกแล้วนำวัสดุรองพื้นทางที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอใส่ลงไปแทน ในกรณีที่ใช้วัสดุมากกว่าหนึ่งชนิด นำมาผสมกันเพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางนั้น วัสดุแต่ละชนิดจะต้องได้รับการคลุกเคล้าให้มีลักษณะสม่ำเสมอ และต้องได้รับการตรวจสอบความถูกต้องตรงตามมาตรฐานวัสดุรองพื้นทางจากผู้ควบคุมงานก่อน และเมื่อทำการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องมีผิวหน้าเรียบแน่นสม่ำเสมอได้ระดับถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

2.21.2.2 ผลการทดสอบความแน่นที่ไม่ผ่านเกณฑ์ หากผลทดสอบความแน่นในสนามน้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density ให้พิจารณาดำเนินการดังนี้

- หากปริมาณน้ำอยู่ในช่วงของ ±3% ของค่าปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (o.m.c.) ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่การทดสอบความแน่นไม่ผ่านตามข้อกำหนดให้ทำการบดอัดซ้ำโดยเพิ่มปริมาณพลังงาน (recompaction) และเพิ่มจำนวนเที่ยวเพื่อให้ได้ความแน่นตามที่กำหนด
- หากปริมาณน้ำไม่อยู่ในช่วง ±3% ของค่าปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (o.m.c.) ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จะต้องขุดคุ้ยวัสดุ (scarify) เพื่อตากให้แห้ง กรณีที่ปริมาณน้ำมากเกินไป หรือผสมน้ำเพิ่ม กรณีที่ปริมาณน้ำน้อย แล้วจึงทำการบดอัดใหม่ให้ได้ความแน่นตามที่กำหนด

2.21.2.3 ข้อแนะนำเพิ่มเติม

- ก่อนก่อสร้างชั้นรองพื้นทางหากพื้นผิววัสดุชั้นล่างแห้ง ให้สเปรย์น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นก่อน และเป็นการป้องกันการดูดซึมน้ำจากวัสดุรองพื้นทางที่กำลังก่อสร้าง ซึ่งอาจทำให้ค่าปริมาณความชื้นของชั้นรองพื้นทางเปลี่ยนแปลงไปทำให้ความแน่นไม่ได้ตามข้อกำหนด นอกจากนี้การให้ความชื้นยังทำให้การประสานระหว่างวัสดุ 2 ชั้น ดีขึ้นด้วย
- ให้สังเกตวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างจะต้องมีลักษณะเป็นวัสดุชนิดและแหล่งเดียวกันโดยจะต้องมีการควบคุมคุณสมบัติ ทั้งจากแหล่ง general test และในระหว่างการก่อสร้าง control test ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด

2.21.3 งานพื้นทาง (base)

งานชั้นพื้นทาง หมายถึง การก่อสร้างงานชั้นบนสุดของโครงสร้างทาง ทำหน้าที่รองรับผิวจราจรและแบกทานน้ำหนักที่ถ่ายมาจากผิวจราจร กระจายน้ำหนักลงสู่ฐานด้านล่าง วัสดุที่ใช้ก่อสร้างได้แก่หินคลุก หินโม่ กรวดโม่ ตะกรันเหล็ก (slag) ที่มีขนาดคละสม่ำเสมอจากใหญ่ไปหาเล็ก ซึ่งวัสดุที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานวัสดุพื้นทาง นำมาคลุกเคล้าผสมน้ำ (mix process) ทำการปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดแน่นให้ได้ตามรูปแบบ หนาชั้นละไม่เกิน 15 ซม. ความแน่นไม่น้อยกว่า ร้อยละ 95 modified proctor density

2.21.3.1 วิธีการก่อสร้าง

การก่อสร้างต้องตรวจสอบระดับและความแน่นของชั้นรองพื้นทางให้ถูกต้อง ก่อนนำวัสดุพื้นทางมาถมบนชั้นรองพื้นทางทำการคลุกเคล้าวัสดุกับน้ำให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอและมีความชื้นพอเหมาะใกล้เคียงกับค่าปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (o.m.c.) จากห้องปฏิบัติการ จากนั้นจึงเกลี่ยแผ่แล้วบดอัดเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นหนาไม่เกิน 15 เซนติเมตร บดอัดแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density บริเวณใดหรือช่วงใดวัสดุพื้นทางที่เกลี่ยแผ่และทำการบดอัดแล้วมีมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดแยกตัวจากกัน (segregation) ให้แก้ไขโดยการขุดรื้อออกแล้วทำการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หรือรื้อออกใส่วัสดุพื้นทางที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอลงไปแทน แล้วสเปรย์น้ำให้ได้ความชื้นที่เหมาะสม เกลี่ยให้ได้รูปตามแบบก่อสร้างแล้วทำการบดอัดแน่น ในระหว่างการบดอัดให้มีการสเปรย์ น้ำบาง ๆ เพื่อให้วัสดุจับตัวกันจะช่วยให้ผิวหน้าเรียบปราศจากหลุมบ่อ และเพื่อให้ผิวหน้าเรียบแน่นสม่ำเสมอ ให้ทำการบดอัดชั้นสุดท้ายด้วยรถบดล้อเหล็กน้ำหนักไม่น้อยกว่า 12 ตัน ซึ่งในระหว่างก่อสร้างหากมีฝนตกน้ำขัง ทำให้ความชื้นในระหว่างการบดอัดมากเกินไปจนเป็นเหตุให้ชั้นพื้นทางเสียหายหรืออาจเสียหายลึกลงไปถึงชั้นรองพื้นทางด้วย ดังนั้นเมื่อพบว่าพื้นทางส่วนที่ได้ก่อสร้างแล้วมีการบวมตัว (soft spot) จะต้องรื้อออกและอาจต้องตรวจสอบชั้นรองพื้นทางด้วยว่ามีความเสียหายหรือไม่ หากเสียหายจะต้องรีบดำเนินการแก้ไขปรับปรุงชั้นรองพื้นทางให้เรียบร้อยก่อนแล้วจึงทำการแก้ไขพื้นทางต่อไปถ้าแบบก่อสร้างกำหนดความหนาพื้นทางมากกว่า 15 เซนติเมตร ให้แบ่งการทำงานเป็น 2 ชั้น หนาชั้นละเท่า ๆ กัน (โดยประมาณ) บดอัดให้แน่นและได้ระดับตามแบบก่อสร้าง

งานชั้นพื้นทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ และยังไม่ได้ก่อสร้างลาดยางรองพื้นแอสฟัลต์ (prime coat) ตามขั้นตอนปกติ ให้ฉีดพ่นน้ำหล่อเลี้ยงผิวหน้าป้องกันการสูญเสียความชื้น

2.21.3.2 ผลการทดสอบความแน่นที่ไม่ผ่านเกณฑ์ หากผลทดสอบความแน่นในสนามน้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density ให้พิจารณาดำเนินการดังนี้

- หากปริมาณน้ำอยู่ในช่วง ใกล้เคียงค่าปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (o.m.c.) ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่การทดสอบความแน่นไม่ผ่านเกณฑ์ให้ทำการบดทับซ้ำโดยเพิ่มพลังงานการบดอัดและเพิ่มจำนวนเที่ยว เพื่อให้ได้ความแน่นตามที่ต้องการ
- หากปริมาณน้ำไม่อยู่ในช่วงใกล้เคียงค่าปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (o.m.c.) ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จะต้องขุดคุ้ยวัสดุ (scarify) เพื่อตากให้แห้งกรณีที่ปริมาณน้ำมากเกินไป หรือผสมน้ำเพิ่ม กรณีที่ปริมาณน้ำน้อย แล้วจึงบดอัดใหม่ให้ได้ความแน่นตามข้อกำหนด

2.22 เครื่องจักรกลที่ใช้บดอัดดินในสนาม

อุปกรณ์และเครื่องจักรกลที่ใช้ในการทำงานมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีความเหมาะสมเฉพาะงาน ดังนั้นการรู้จักใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรกลให้เหมาะสมกับขนาดและประเภทของงานเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง การบดอัดดินในสนามพอที่จะจำแนกระบบบนพื้นฐานการทำงานของเครื่องจักรกลได้ดังนี้

2.22.1 รถบดล้อเรียบ (รูปที่ 2.31) เป็นรถบดอัดที่เหมาะสำหรับกรวด ทราย หรือวัสดุที่คล้ายคลึง ล้อรถบดทำด้วยเหล็กที่มีความแข็งแรงมาก การบดอัดจะทำให้เกิดการแตกหักของเม็ดดินและทำให้ผิวถนนเรียบ ความดันที่จุดสัมผัสระหว่างดินกับล้อประมาณ 45 ถึง 55 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (310 ถึง 380 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร) รถบดอัดประเภทนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการบดอัดในชั้นดินที่หนามาก เนื่องจากความดันล้อมีค่าไม่สูงนัก

รูปที่ 2.31 รถบดล้อเรียบ

2.22.2 รถบดล้อยาง (รูปที่ 2.32) เป็นรถบดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ารถบดล้อเรียบในหลายๆ ด้าน รถบดประเภทนี้เป็นรถบดที่มีน้ำหนักมาก และประกอบด้วยล้อประมาณ 4 ถึง 6 ล้อในหนึ่งแถว แต่ละล้อมีระยะห่างใกล้กัน ความดันที่จุดสัมผัสระหว่างล้อกับดินประมาณ 85 ถึง 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (585 ถึง 690 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร) รถบดแบบนี้เหมาะสำหรับดินทรายและดินเหนียว การบดอัดเป็นการผสมผสานระหว่างการบดอัดด้วยความดันและการนวด

รูปที่ 2.32 รถบดล้อยางทำงานด้วยระบบความดันลม (pneumatic-tired roller)

2.22.3 รถบดตีนแกะ (รูปที่ 2.33) ประกอบด้วยล้อโลหะรูปทรงกระบอกที่มีเหล็กยื่นออกมา (projection) พื้นที่ของแต่ละ projection จะประมาณ 4 ถึง 13 ตารางนิ้ว (25 ถึง 85 ตารางเซนติเมตร) รถบดประเภทนี้เป็นรถบดที่มีประสิทธิภาพในการบดอัดดินเหนียวมากที่สุด ความดันที่จุดสัมผัสระหว่างดินและล้อบดประมาณ 200 ถึง 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (1380 ถึง 6900 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร) การวิ่งผ่านของรถรอบแรกๆ จะบดอัดดินส่วนที่อยู่ด้านล่าง และการวิ่งผ่านของรถรอบหลังๆ จะบดอัดดินที่อยู่ชั้นบน

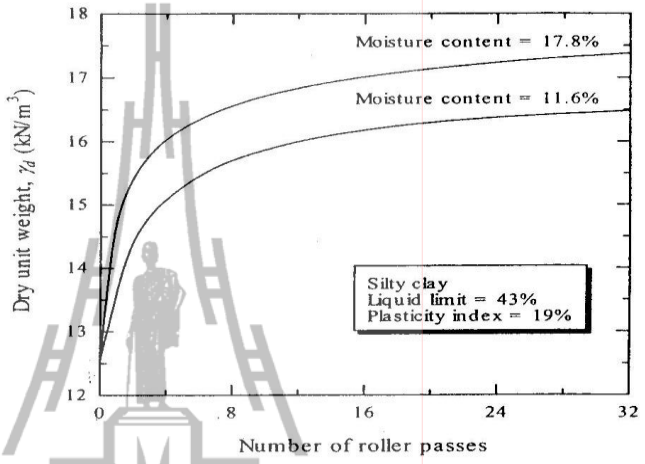
รูปที่ 2.33 รถบดตีนแกะ

2.22.4 รถบดอัดแบบสั่นสะเทือนเป็นรถบดอัดที่มีประสิทธิภาพอย่างมากสำหรับกรวดและทราย เครื่องสั่นสะเทือนสามารถติดตั้งกับรถบดอัดได้ทุกประเภท รูปที่ 2.34 แสดงหลักการของรถบดอัดประเภทนี้การสั่นสะเทือนเกิดจากเครื่องที่ติดตั้งไว้นอกจุดศูนย์กลางของล้อ (off-center rotation weight) เครื่องสั่นนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นลงระหว่างการบดอัดด้วยความถี่ 20 ถึง 30 รอบต่อวินาที

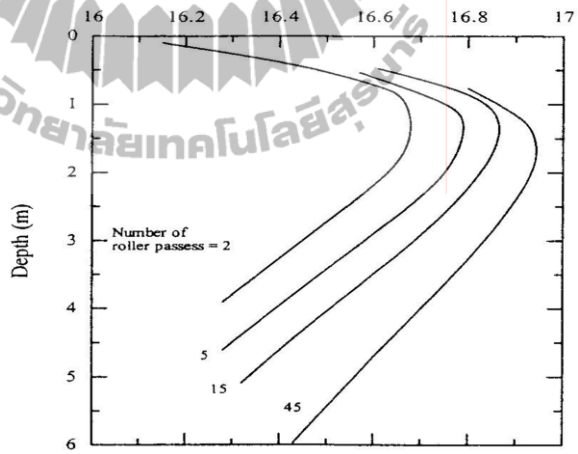
รูปที่ 2.34 รถบดสั่นสะเทือน (vibrating roller)

นอกจากชนิดของดินและปริมาณความชื้นแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบดอัดในสนามอีก ปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่ ความหนาของชั้นดินที่ทำการบดอัด (lift) ความเข้มข้นของความดันจากเครื่องบดอัด และพื้นที่สัมผัสระหว่างล้อกับดิน เนื่องจากความดันล้อที่กระทำที่ผิวดินจะลดลงตามความลึก ส่งผลให้เกิดการลดลงของระดับการบดอัด (degree of compaction) นอกจากนี้ความหนาแน่นแห้งของดินยังแปรผันกับจำนวนรอบที่รถบดอัดวิ่งผ่าน รูปที่ 2.35a แสดง

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับ จำนวนรอบที่รถบดอัดวิ่งผ่านของดินเหนียวปนดินตะกอนที่ปริมาณความชื้นค่าหนึ่ง ความหนาแน่นแห้งจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนรอบที่รถบดอัดวิ่งผ่านจนถึงค่าหนึ่ง และความหนาแน่นแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ถึงแม้ว่าจำนวนรอบที่บดอัดจะเพิ่มขึ้น โดยทั่วๆ ไป จำนวนรอบที่เท่ากับ 10 ถึง 15 รอบ ให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด



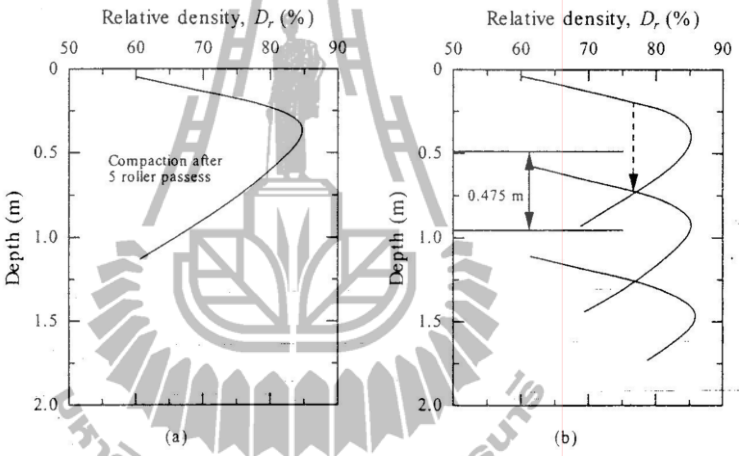
รูปที่ 2.35 a) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและจำนวนรอบของรถบดอัดที่วิ่งผ่าน (Johnson and Sallberg. 1960)



รูปที่ 2.35 b) ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งกับจำนวนรอบทีรถบดอัดวิ่งผ่าน (D'Appolonia et al., 1969)

รูปที่ 2.35 b แสดงการเปลี่ยนแปลงของหน่วยน้ำหนักแห้งกับความลึกสำหรับทรายที่มีขนาดคละไม่ดี การบดอัดกระทำโดยใช้รถบดอัดตีนแกะแบบสั่นสะเทือน น้ำหนักของรถบดอัดเท่ากับ 55.6 กิโลนิวตัน และเส้นผ่านศูนย์กลางของตีนแกะเท่ากับ 1.19 เมตร ความหนาของชั้นบดอัดเท่ากับ 2.44 เมตร ตระหนักว่า ที่ความลึกใดๆ ความหนาแน่นแห้งของการบดอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ตามจำนวนรอบของการวิ่งผ่านของรถบดอัด แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการเพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลงหลังจากจำนวนรอบที่ 15 ความจริงอีกประการหนึ่งที่ค้นพบจากรูปที่ 2.35 b คือความหนาแน่นแห้งมีค่ามากที่สุดที่ความลึกประมาณ 0.5 เมตรและค่อยๆ มีค่าน้อยลงตามความลึก เนื่องจากการลดลงของความเค้นตามความลึก ทันทีที่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกกับความหนาแน่นสัมพัทธ์ (หรือความหนาแน่นแห้ง) สำหรับดินชนิดหนึ่งๆ ที่จำนวนรอบที่รถบดอัดวิ่งผ่านค่าหนึ่ง เราสามารถประมาณความหนาของการบดอัดแต่ละชั้นได้ วิธีการนี้แสดงในรูปที่ 2.36 (D'Appolonia et al., 1969)



รูปที่ 2.36 การประมาณความหนาของระดับชั้นของดินสำหรับความหนาแน่นสัมพัทธ์ 75% กับจำนวนรอบของรถบดอัดที่วิ่งผ่านเท่ากับ 5 รอบ

2.23 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test)

2.23.1 วิธีการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test) มทช.(ท) 501.4-2545

2.23.1.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางที่บดอัดในสนาม (in place density) ของวัสดุที่มีเม็ดไม่โตกว่า 50.8 มม. (2 นิ้ว) โดยใช้ทรายแทนที่ เพื่อหาปริมาตร

2.23.1.2 วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วยชุดเครื่องมือทดสอบความแน่น (density apparatus) ประกอบด้วย

- ขวด (jar) ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกโปร่งใสปริมาตรจุ 4 ลิตร ตัวขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 160 มม. ปากขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. และมีเกลียวสำหรับต่อกับกรวย
- กรวย (metal funnel) ทำด้วยโลหะสูงประมาณ 210 มม. ตรงกลางมีลิ้น (valve) สำหรับปิดเปิดรูทรงกระบอก (orifice) เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) ยาว 28.6 มม. (1 1/8 นิ้ว) ปากกรวยบานออกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 165.1 มม. (6 1/2 นิ้ว) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 171.5 มม. (6 ¾ นิ้ว) สูง 136.5 มม. (5 3/8 นิ้ว) ปลายอีกข้างหนึ่งมีเกลียว สำหรับต่อกับขวด ขณะทำการทดสอบรอยต่อระหว่างขวด และกรวยต้องสนิท ในกรณีที่มีช่องว่างหรือเคลื่อนตัวได้ ต้องใส่แหวนยางหรือ ปะเก็น (gasket) รองลิ้นจะต้องมีที่บังคับให้หยุดเมื่อเปิด หรือ ปิดจนสุดรูปทรงกระบอกแล้ว
- แผ่นฐาน (base plate) ทำด้วยโลหะขนาด 305 มม. X 305 มม. (12 นิ้ว x 12 นิ้ว) ตรงกลางมีรูกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 165.1 มม. (เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของปากกรวย) มีช่องกว้างประมาณ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) สำหรับวางปากกรวยให้สนิทขอบขอบแผ่นฐานยกสูงขึ้น เพื่อความสะดวกในการเก็บดินตัวอย่าง

  หมายเหตุ ชุดเครื่องทดสอบความแน่นนี้ ใช้กับดินตัวอย่างประมาณ 2,800 ลูกบาศก์เซนติเมตร (0.01 ลบ.ฟ.) อาจดัดแปลงชุดเครื่องมือให้เล็กลงหรือใหญ่ขึ้นได้แล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละชนิด
- ทราย ใช้ทรายออตตาวา (ottawa sand) หรือเตรียมจากทรายที่มีในท้องที่หรือวัสดุอื่นใด ที่คล้ายทราย ต้องสะอาด แห้ง ไหลได้อย่างอิสระ (free flowing) ปราศจากเชื้อประสาน แข็ง กลม ไม่มีรอยแตก ไม่มีเหลี่ยมมุม ขนาดผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มม. (เบอร์ 10) และค้างบนตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200) เล็กน้อยและมีความแน่นแบบบัลค์ (bulk density) เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินร้อยละ 1

- เครื่องชั่ง ที่สามารถชั่งได้หนักถึง 10 กก. อ่านได้ละเอียดถึง 1.0 กรัม
- เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้หนักถึง 500 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- อุปกรณ์ทำให้ดินแห้ง ได้แก่ เตาน้ำมันก๊าด เตาแก๊ส กระทะดั่วดิน เป็นต้น หรืออาจใช้ตู้อบไฟฟ้า ตู้อบน้ำมันก๊าด ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ดินตัวอย่างแห้งสำหรับความชื้นได้
- อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น ช้อนตักดิน ตลับบรรจุดินพร้อมฝาปิด ภาชนะสำหรับใส่ดิน เกรียง สิ่ว ค้อน แปรงขน แปรงลวด เหล็กปาด ตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) 2.00 มม. (เบอร์ 10) และ 0.075 มม. (เบอร์ 200) และเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ เป็นต้น

2.23.1.3 การทดสอบ วิธีหาปริมาตรขวด พร้อมกรวย จนถึงรูลิ้นที่ปิด ดำเนินการ ดังนี้

- ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมกรวย
- ตั้งขวดเปล่าพร้อมกรวยบนพื้นที่มั่นคง เมื่อได้ระดับแล้วเปิดลิ้นไว้
- ใส่น้ำกลั่นลงในกรวย จนกระทั่งระดับน้ำขึ้นท่วมกรวย และไม่มีฟองอากาศค้างอยู่ในขวด แล้วจึงปิดลิ้นให้สนิท และเทน้ำที่ล้นข้างบนออกให้หมด
- ถ้าน้ำซึมออกตามบริเวณเกลียวปากขวด ให้ใช้ขี้ผึ้งหรือเทปป้องกันน้ำซึม
- เช็ดน้ำที่ติดกรวย หรือข้างขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักเมื่อน้ำเต็มขวด เมื่อนำน้ำหนักในข้อมาหักออกจะได้น้ำหนักน้ำเมื่อเต็มขวด
- วัดอุณหภูมิของน้ำในขวด
- ให้ทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของน้ำเต็มขวด โดยแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3 กรัม และอุณหภูมิของน้ำเพื่อนำไปหาค่าความแน่นของน้ำ ตามตารางที่ 1 คำนวณหาปริมาตรของขวด

ตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความแน่นของน้ำ

อุณหภูมิ		ปริมาณของน้ำ ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก
องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์	ลบ.ซม./กรัม (T)
12	53.6	1.00048
14	57.2	1.00073
16	60.8	1.00103
18	64.4	1.00138
20	68.0	1.00177
22	71.6	1.00221
24	75.2	1.00268
26	78.8	1.00320
28	82.4	1.00375
30	86.0	1.00435
32	89.6	1.00497

หมายเหตุ ให้ทำเครื่องหมายไว้ด้วยว่าเกลียวของขวดและกรวยเคลื่อนตัวหรือไม่ เกลียวต้องไม่ขยับในขณะทดสอบ เพื่อให้ปริมาตรของขวดมีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ทดสอบ

2.23.1.4 วิธีตรวจสอบความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย (bulk density of sand) ดำเนินการดังนี้

- วางขวดเปล่าที่ประกอบเข้ากับกรวยซึ่งได้ทำความสะอาดและชั่งเรียบร้อยแล้วหงายลงบนพื้นที่ราบมั่นคง และได้ระดับ ปิดลิ้นให้สนิทแล้วเททรายใส่ในกรวยจนเต็ม
- เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงในขวด คอยเติมทรายในกรวยไม่ให้น้อยกว่าครึ่งของกรวยอยู่ตลอดเวลา ต้องระวังไม่ให้ขวดและกรวยกระเทือน ซึ่งจะทำให้ค่าความแน่นของทรายผิดได้ เมื่อทรายเต็มขวดโดยหยุดไหลแล้ว ให้ปิดลิ้นเททรายที่เหลือในกรวยทิ้ง
- ชั่งน้ำหนักขวดพร้อมกรวยและทราย ที่บรรจุอยู่เต็มขวด หักออกด้วยน้ำหนักของทรายเต็มขวด

- ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายเต็มขวด

2.23.1.5 วิธีหาน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย ดำเนินการ ดังนี้

- ดำเนินการชั่งน้ำหนักขวด พร้อมกรวยและทรายที่บรรจุอยู่เต็มขวด
- คว่ำกรวยลงบนแผ่นฐาน ให้ปากกรวยตรงกับร่องของแผ่นฐาน โดยแผ่นฐานต้องวางอยู่บนพื้นที่ราบเรียบสะอาดและตรึงสนิทกับพื้น
- เปิดลิ้นให้ทรายไหลจนเต็มกรวยโดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือนเมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น
- นำขวดทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก นำมาหักออกจากน้ำหนักที่หาได้จะได้น้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย
- ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

2.23.1.6 วิธีหาค่าความแน่นของดินในสนาม ดำเนินการดังนี้

- ปรับแต่งพื้นผิวบริเวณที่จะทดสอบให้ราบเรียบ สะอาด
- วางแผ่นฐานลงบนพื้นที่จะทดสอบแล้วตรึงแผ่นฐานให้แน่น
- เจาะดินตรงรูกลางแผ่นฐานเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ารูกลางของแผ่นฐาน โดยเจาะเป็นแนวดิ่ง ตลอดชั้นวัสดุที่ทดสอบ หรือลึกประมาณ 10-15 ซม. แล้วแต่ชนิดของงาน แต่งหลุมให้เรียบร้อยเพื่อให้ทรายไหลลงแทนที่ได้สะดวก
- นำดินที่เจาะขึ้นมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก จะได้น้ำหนักของดินชื้น และภาชนะใส่ดิน เมื่อหักน้ำหนักภาชนะที่ใส่ดินออกแล้ว จะเหลือน้ำหนักรวมของดินชื้น
- คลุกดินที่เก็บจากหลุมในภาชนะใส่ดินให้ทั่วแล้วเก็บใส่ตลับบรรจุดินอย่างน้อย 100 กรัม ปิดฝากตลับแล้วนำไปชั่งและอบให้แห้ง คำนวณหาปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละ ของน้ำหนักดินที่อบแห้ง
- คว่ำขวดที่บรรจุทรายอยู่เต็มพร้อมกรวยซึ่งชั่งน้ำหนักไว้แล้วลงบนร่องของแผ่นฐาน เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงจนเต็มหลุม โดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือน เมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น นำขวดทราย

ที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก เก็บทรายสะอาดเพื่อใช้งานต่อไป ส่วนทรายที่ชื้นหรือสกปรก ให้นำไปทำความสะอาดนำน้ำหนักในตอนหลังหักออกจากน้ำหนักที่ชั่งได้ก่อนคว่ำกรวย จะได้น้ำหนักของทรายที่ไหลออกไปจากขวด

- นำน้ำหนักที่ได้ไปหักออกจากน้ำหนักของทรายที่ไหลออกไปจากขวด แล้วจะได้น้ำหนักทรายที่แทนที่ดินในหลุม

2.23.1.7 การคำนวณ ความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย

- หาปริมาตรของขวด

$$L = MT$$

เมื่อ L = ปริมาตรของขวด (ลบ.ซม.)

M = น้ำหนักของน้ำเต็มขวด (กรัม)

T = ปริมาตรของน้ำซึ่งหนัก 1 กรัม ที่อุณหภูมิทดลอง (ตารางที่ 1) (ลบ.ซม./กรัม)

- ความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย

$$\gamma_s = \frac{M_1}{L}$$

เมื่อ γ_s = ความแน่นแบบบัลค์ของทราย (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M_1 = น้ำหนักของทรายเต็มขวด (กรัม)

L = ปริมาตรของขวด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

- ความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W1 = น้ำหนักของดินชื้น (กรัม)

W2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง (กรัม)

- หาปริมาตรของหลุม

$$V = \frac{M_2}{\gamma_s}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของหลุม (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M_2 = น้ำหนักทรายที่แทนที่ดินในหลุม (กรัม)

γ_s = ความแน่นแบบบัลค์ของทราย (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

- ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม

$$\gamma_w = \frac{P}{V}$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

P = น้ำหนักรวมของดินชื้นที่ขุดออกจากหลุม (กรัม)

V = ปริมาตรของหลุม (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2.23.1.8 ความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\frac{w}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

γ_w = ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

- ร้อยละของการบดอัด

$$Pc = \frac{\gamma_d}{\gamma_m}$$

เมื่อ Pc = ร้อยละของการบดอัด

γ_d = ความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

γ_m = ความแน่นแห้งสูงสุดของดินตัวอย่างชนิดเดียวกับดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) ตามวิธีทดสอบ มทช.(ท) 501.1-2545 หรือ มทช.(ท) 501.2-2545

2.23.1.9 การรายงาน

- ให้รายงานชื่อโครงการ สายทาง ชั้นของวัสดุ ชนิดของวัสดุ รายนามเจ้าหน้าที่ที่ทดสอบ วันเวลาที่ทดสอบ ความแน่นของทรายที่หาได้ ตำแหน่งที่ทดสอบ ความหนาของชั้นต่าง ๆ ตามสัญญา และความหนาจริงในการก่อสร้าง และรายละเอียดอื่น ๆ
- ค่าความแน่นของดินให้ใส่ทศนิยม 3 ตำแหน่ง และร้อยละของการบดอัดให้ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

2.23.1.10 ข้อควรระวัง

- แผ่นฐานที่วางบนพื้นทดสอบต้องตรึงให้แน่น
- พื้นผิวที่ทดสอบควรราบเรียบได้ระดับ สะอาด
- ขณะทดสอบต้องไม่ให้ขวดทรายกระเทือน
- หาค่าความแน่นแบบบัลค์ ของทราย อย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง
- ทรายที่ใช้ทดสอบต้องสะอาดและแห้ง
- ต้องปิดลิ้นก่อนคว่ำขวดทรายทุกครั้ง
- ในขณะขนย้ายเครื่องมือให้อุ้มตัวขวดโดยตรง ห้ามหิ้วที่กรวยเพราะตรงบริเวณลิ้นไม่แข็งแรงอาจขาดได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีทรายบรรจุอยู่เต็มขวด

2.23.2 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนามโดยวิธี Nuclear Gauge

2.23.2.1 หลักการทั่วไปของเครื่องมือ Nuclear Gauge

Nuclear Gauge เป็นเครื่องมืออิเลคโทรนิกส์ที่สามารถวัดหาปริมาณความชื้น ความหนาแน่นและการอัดแน่นของวัสดุ เช่น ดิน,หิน คอนกรีตและยางมะตอยหรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีความชื้นและความหนาแน่นในช่วงที่เครื่องมือกำหนดไว้ ในการวัดความแน่นนั้นใช้รังสีแกมมาหรือโฟตอนจากต้นกำเนิดรังสี คือ ซีเซียม 137 (Cs – 137) ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีชนิดที่มีความแรงของรังสีในระดับที่ต่ำ มีค่าครึ่งชีวิต 30 ปี ความแรงรังสี 8 mCi (มิลลิคูรี) ส่วนการวัดหาปริมาณความชื้นในวัสดุนั้นใช้รังสีรังสีนิวตรอนจากต้นกำเนิดรังสี คือ อเมอริเซียม 241 และเบอริลเลียม (Am 241:Be) มีค่าครึ่งชีวิต 432 ปี ความแรงรังสี 40 mCi (มิลลิคูรี) วิธีการทดสอบได้ผ่านการรับรองให้เป็นเครื่องมือในการควบคุมการบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D2922, D2950, D3017 และ D-1040

ส่วนประกอบของเครื่องมือนิวเคลียร์จะมีตัวต้นกำเนิดรังสี ถูกบรรจุอยู่ในแคบซูลสเตนเลสหนาสองชั้น (เป็น Seal Source ซึ่งไม่สามารถรั่วออกมาได้) ซีเซียม 137 (Cs-137) เชื่อมติดอยู่กับปลายแท่งสเตนเลส ส่วนอเมอริเซียม 241 และเบอริลเลียม (Am 241:Be) เชื่อมติดอยู่กับฐานภายในตัวนิวเคลียร์เกจ การวัดความหนาแน่นทำได้โดยการปล่อยรังสีแกมมาผ่านชั้นความหนาของวัสดุที่ต้องการทดสอบ จากนั้นตัวตรวจวัด (Detector) ซึ่งจะตรวจนับรังสีตามเวลาที่กำหนดแล้วคำนวณค่าตามคุณสมบัติของรังสีที่ผ่านตัวกลางโดยนำค่าที่ได้จากการตรวจนับไปเปรียบเทียบกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีกับความแน่นออกมาเป็นค่าความแน่นที่เราต้องการวัด ตัวตรวจวัดที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นได้แก่ G-M Tubes ซึ่งเป็น Photon detector มีอยู่ 2 ตัว ในการวัดความชื้นทำได้โดยการปล่อยรังสีนิวตรอนลงไปในชั้นวัสดุ แล้วใช้ Helium-3 detector เป็นตัวตรวจวัด Slowed neutron

รูปแบบการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Nuclear Gauge เครื่องมือ Nuclear Gauge มีลักษณะการใช้งานในการวัดความหนาแน่นอยู่ 2 แบบคือ backscatter และ direct transmission

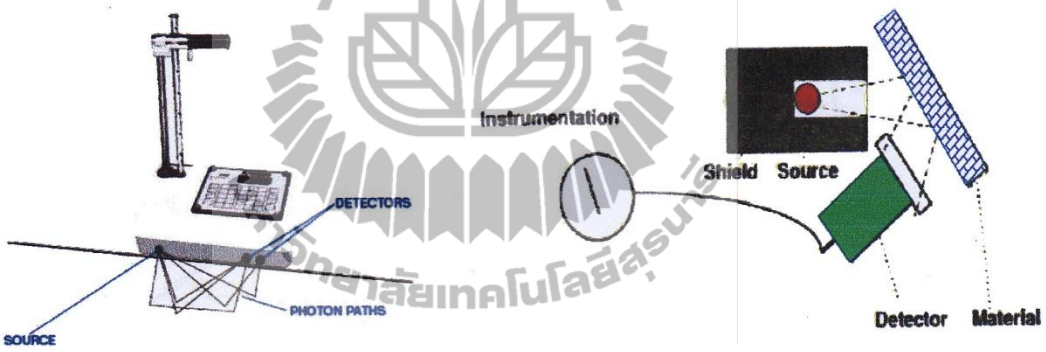
วิธีวัดแบบ backscatter mode เป็นวิธีการทำงานที่รวดเร็วและยังไม่เป็นการทำลายชั้นทาง เพราะจะวางเครื่องมืออยู่ชั้นทางที่ต้องการทดสอบโดยไม่มีการขุดหรือตอกที่ชั้นทาง ตำแหนงของ source rode จะอยู่ที่ต่ำจากตำแหน่ง safe position ลงมาหนึ่งขั้นซึ่งจะทำให้ทั้งต้นกำเนิดรังสีแกมมาและ Detectors (ตัวตรวจจับรังสี) จะยังคงติดอยู่ที่ภายในตัว gauge ซึ่งวางอยู่บนระนาบชั้นวัสดุที่ต้องการทดสอบ การตรวจนับรับสีเป็นการอ่านค่า ของ detector จากการสะท้อนกลับ (scatter of reflect) การวัดค่าโดยใช้ backscatter mode นั้นโดยปกติใช้กับชั้นโครงสร้างที่ไม่หนามาก เช่น ชั้นผิวทาง asphalt และ concrete เป็นการวัดค่าที่ความหนาประมาณ 10 ซม. แต่การวัดแบบ backscatter นั้นจะถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าวิธี direct transmission

วิธีวัดแบบ direct transmission mode เป็นการทดสอบกับชั้นทางที่หนา วิธีการทดสอบทำโดยเลื่อนแท่งรังสี (source rod) ที่มีแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่ปลายแกนในรูที่เจาะลึกลงไปโดยใช้ drill rod ตามระยะความลึกที่ต้องการทดสอบ เมื่อทำการทดสอบรังสีแกมมาจะถูกปล่อยผ่านไปยังชั้นวัสดุและชนกับอิเล็คตรอนจนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไป ยิ่งวัสดุมีความหนาแน่นมากเท่าไรก็จะยิ่งทำให้เกิดการชนระหว่างโฟตอนกับอิเล็คตรอนมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ลดจำนวนโปรตอนที่จะเหลือให้ detector ที่ติดอยู่ที่ฐานของ gauge ตรวจพบ ดังนั้นจำนวนนับรังสีแกรมมาจากหัววัดรังสี (detector) จึงเป็นอัตราส่วนผกผันกับความหนาแน่นของวัสดุ จากการปรับเทียบ gauge calibration (ซึ่งได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจำนวนนับรังสีในแต่ละระดับความลึกกับความแน่นของวัสดุที่ทำการทดสอบ) และใช้โปรแกรมคำนวณจะทำให้สามารถหาค่าความหนาแน่นจากค่าที่ตรวจจับได้จากหัววัดรังสี วิธีนี้จะได้ค่าที่เป็นค่าเฉลี่ยของชั้นวัสดุที่ความลึกจากแหล่งกำเนิด

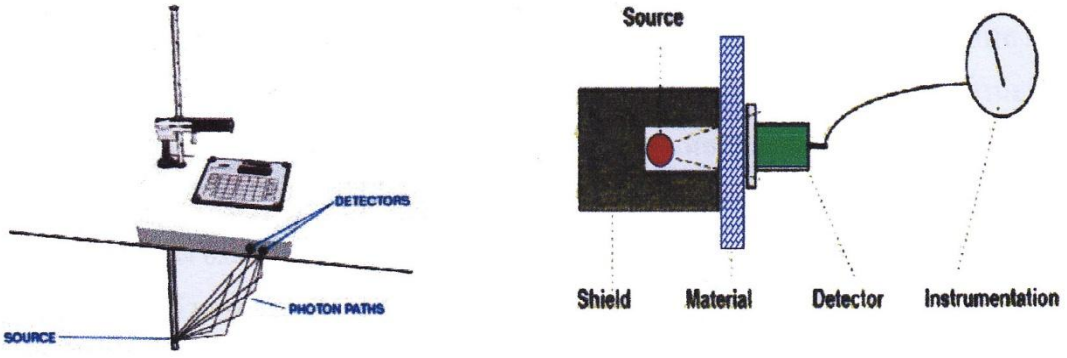
รังสีกับตำแหน่งที่ detector ดังนั้นจะได้ค่าที่คลาดเคลื่อนน้อยกว่า จะลดความคลาดเคลื่อนจากผิวที่ขรุขระลงได้ด้วย การทดสอบโดยใช้วิธีนี้ใช้ได้กับชั้น aggregate ที่หนาหรือแม้กระทั่งชั้น ผิว asphalt และ concrete ก็ใช้ได้

ค่าความลึกที่ทดสอบโดยวิธี direct transmission นั้น จะสามารถเซตความลึกได้ 2 แบบ คือ automatic depth เครื่องวัดจะทำการอ่านค่าความลึกของตำแหน่ง source rod ที่เคลื่อนที่ลงไปจากผิวโดยใช้ depth sensor และอีกแบบหนึ่งก็คือเซตความลึกแบบ manually depth ซึ่งผู้ใช้จะต้องป้อนค่าระยะความลึกของ source rod ที่เคลื่อนที่ลงไปในวัสดุทดสอบ

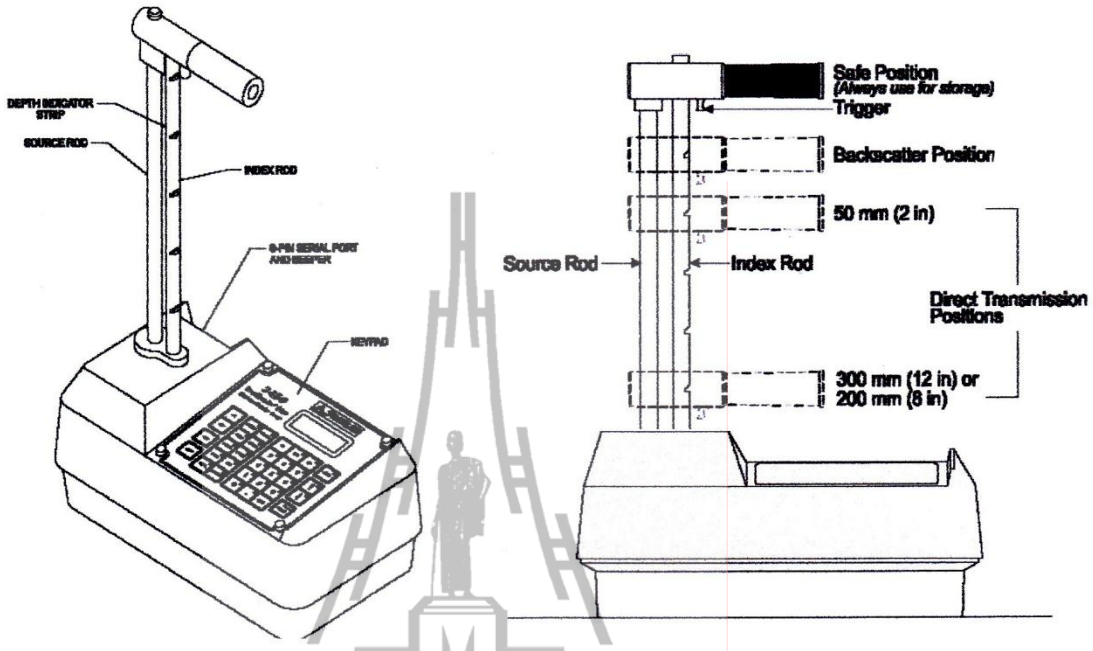
สาเหตุที่ต้องมีการบอกค่าความลึกแบบ manually depth นั้นจะใช้ในกรณีที่ตัวเซนเซอร์วัดความลึก (depth sensor) เสียหาย บอกค่าความลึกไม่ได้ ผู้ทดสอบจะต้องใส่ค่าความลึกที่ถูกต้องเข้าไปในเครื่องทดสอบ จากนั้นเครื่องจะคำนวณค่าความแน่นได้ถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.37-2.39



รูปที่ 2.37 รูปแบบของการจัดระบบการวัดสำหรับการกระเจิงกลับของรังสีกับวัตถุเทียบได้กับการใช้เครื่องมือวัดในการวัดแบบ backscatter



รูปที่ 2.38 รูปแบบของการจัดระบบการวัดสำหรับการใช้รังสีส่งผ่านวัตถุเทียบได้กับการใช้เครื่องมือวัดในการวัดแบบ direct transmission



รูปที่ 2.39 รูปร่างลักษณะของเครื่องมือและตำแหน่งของ source rod positions ในการใช้งานที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน

ในการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ทำให้เกิดรังสีที่นำมาใช้ในการทดสอบความแน่นในสนามอธิบายได้ดังนี้คือ เมื่อนิวเคลียสของตัวต้นกำเนิดรังสี เช่น ซีเซียม 137 (cs – 137) ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีมีการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติเพื่อทำเกิดความเสถียร นิวเคลียสซึ่งยังอยู่ในสถานะที่ตื่นตัวก็จะคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีแกมมา เพื่อที่จะได้เป็นนิวเคลียสที่มีอยู่ในสภาพปกติสำหรับรังสีแกมมาเองนี้มีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก คืออยู่ระหว่างประมาณ 0.001 อังสตรอม (angstrom) ถึง 1.5 อังสตรอม ($1 Å = 10^{-8}$ cm)

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมและค่าครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีนั้นโดยอาศัยความจริงที่ว่า โอกาสที่นิวเคลียสจะสลายต่อ 1 หน่วยเวลา มีค่าคงที่ เรียกค่าคงที่นี้ว่า ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay contant) ใช้สัญลักษณ์ λ มีหน่วยเป็นเวลา$^{-1}$ โดยกำหนดว่าเมื่อเวลา t มี N(t) อะตอม ตามคำจำกัดความของค่าคงที่ของการสลาย ในระหว่างเวลา t ถึง t+dt คือช่วงเวลา dt จำนวนนิวคลีไอสลายได้ $\lambda(t)dt$

อัตราที่อะตอมสลายตัวจะเป็น $\lambda N(t)$ ครั้งต่อ 1 หน่วยเวลา อัตราการสลายนี้ เรียกว่า “ความแรง หรือกัมมันตภาพ” (Activity) ของสารตัวอย่าง ใช้สัญลักษณ์ a ดังนั้นความแรงเมื่อเวลา t เขียนได้ว่า

$$A(t) = \lambda N$$

เนื่องจาก $\lambda N(t)dt$ นิวคลีไอ สลายในช่วงเวลา dt จะทำให้จำนวนนิวคลีไอที่เหลืออยู่ลดน้อยลง ดังนั้นในช่วงเวลา dt สลายได้

$$-dN(t) = \lambda N(t)dt$$

โดยการอินติเกรท จะได้

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \qquad \text{.....(2.13)}$$

เมื่อ N_0 เป็นจำนวนอะตอมเมื่อเวลา t = 0

คูณทั้งสองข้างของสมการ ด้วย λ, จะได้ความแรงของสารตัวอย่างเมื่อเวลา t คือ

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \qquad \text{.....(2.14)}$$

เมื่อ A_0 คือ ความแรงเมื่อเวลา t = 0

นั่นคือความแรงจะลดลงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) กับเวลา

เวลาที่ทำให้จำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสีลดลงครึ่งหนึ่งเรียก “ครึ่งชีวิต” (half life) ใช้สัญลักษณ์ $T_{½}$ ดังนั้น

$$N\left(T_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{N_0}{2}$$

หรือ

$$A\left(T_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{A_0}{2}$$

ใช้ความหมายนี้แทนในสมการ (2.4) จะได้

ใส่ลอกทั้งสองข้างของสมการ แล้วแก้สมการ หาครึ่งชีวิต จะได้

$$T_{½} = \frac{In2}{\lambda}$$

หรือ

$$T_{½} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad .....(2.15)$$

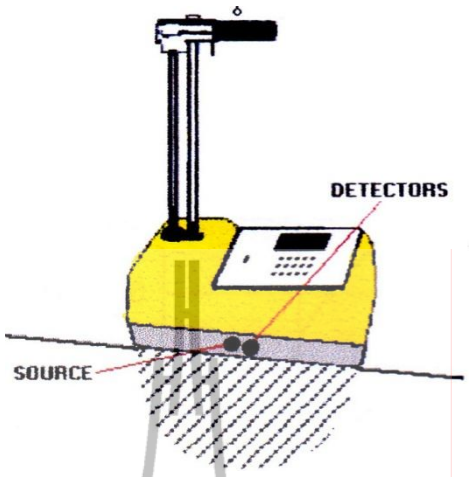
ในสเปกของเครื่องมือ Nuclear Gauge ที่ใช้ยี่ห้อง troxler รุ่น 3450 นั้น ใช้ซีเซียม 137 ปริมาณหนึ่งซึ่งทำให้มีค่าความแรงรังสี หรือกัมมันตภาพ (activity) 8 mCi $\pm$ ร้อยละ 10

โดยที่ 1 Ci (curie) = มีค่าเท่ากับความแรงที่นิวเคลียสสลายได้ 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที

2.23.2.2 วิธีการทดสอบหาค่าความชื้นในวัสดุชั้นทาง

การทดสอบหาค่า moisture content เป็นการทดสอบที่ไม่ทำลายชั้นทาง หลักการในการทดสอบคือ Fast neutron จะถูกปล่อยออกไปในชั้นวัสดุและจะช้าลงหลังจากที่แผ่รังสีนิวตรอนชนกับอะตอมของไฮโดรเจนกลายเป็น slowed neutrons หรือ thermalized neutrons จากนั้นตัวตรวจวัด (detector) ใน gauge ก็จะตรวจนับจำนวนของนิวตรอน (slowed neutrons) ซึ่งก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ทำการทดสอบ รายงานผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น ซึ่งการวัดรังสีนิวตรอนโดย Detector นั้นอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ในการวัดรังสีนิวตรอน (slowed neutrons of thermalized neutrons) ใช้สารที่มีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับนิวตรอนสูง ในเครื่องมือนี้ได้แก่ He (ไอโซโทปของาตุฮีเลียมที่มีเลขมวลหรือมวลอะตอมเท่ากับ 3) ซึ่ง sensitive ต่อ slow neutron เท่านั้น การวัดปริมาณความชื้นดังกล่าวทำงานเหมือนกับการวัดความแน่นโดยใช้ backscatter mode กล่าวคือทั้งตัวตรวจจับรังสี (helium-3 detector) และต้นกำเนิดรังสี (Am-241:Be) อยู่บนระนาบเดียวกับบนชั้นวัสดุที่ต้องการตรวจวัด

ค่าความลึกที่เหมาะสมในการวัดค่าความชื้นในสนามของเครื่องมือทดสอบนั้นขึ้นอยู่กับว่าวัสดุที่ต้องการวัดนั้นมีค่าความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใด ถ้าหากวัสดุมีความชื้นน้อยอนุภาคนิวตรอนก็สามารถแผ่ไปได้ลึกกว่า แต่ถ้าวัสดุมีความชื้นมาก อนุภาคนิวตรอนก็จะยังเหลือไปถึงชั้นที่ลึกได้น้อยเพราะจะเปลี่ยนแปลงไปกลายเป็น slowed neutron เมื่อเจอกับอะตอมไฮโดรเจนที่มีอยู่มาก ดังแสดงในรูปที่ 2.40

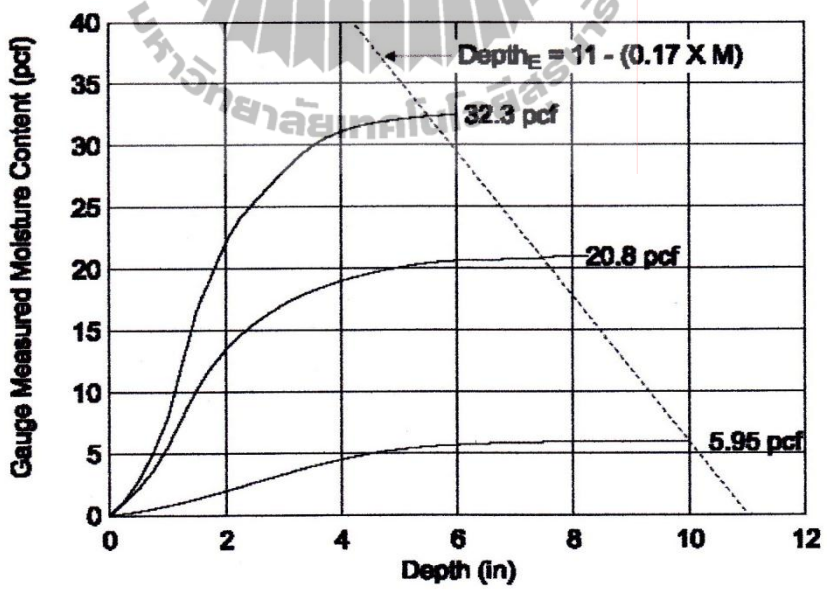


รูปที่ 2.40 การจัดเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่าความชื้นในสนาม

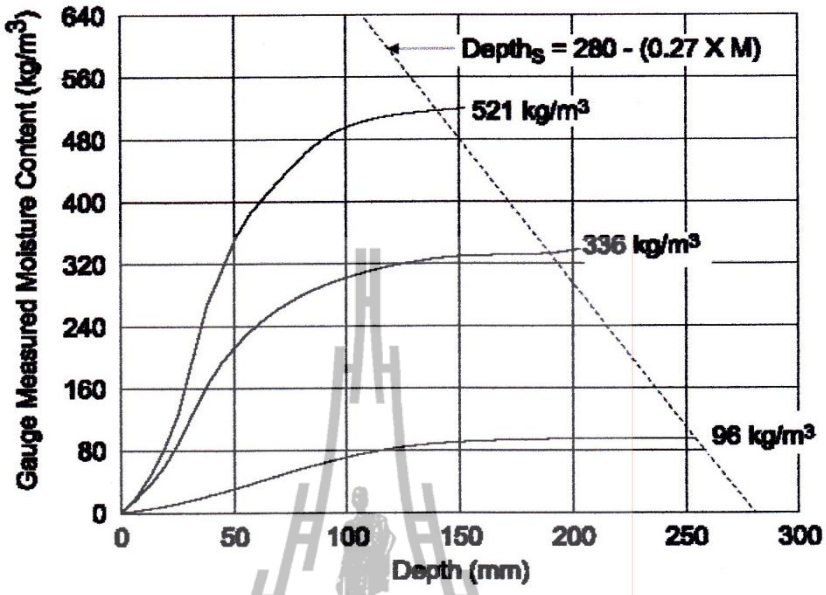
สมการต่อไปนี้แสดงค่าความหนาที่เหมาะสมในการวัดค่าความชื้นในสนาม

depth (inches) = 11 – (0.17 x M) M คือ ค่าความชื้นในหน่วย pcf รูปที่ 2.41

depth (mm) = 280 – (0.27 x M) M คือ ค่าความชื้นในหน่วย kg/m^3 รูปที่ 2.42

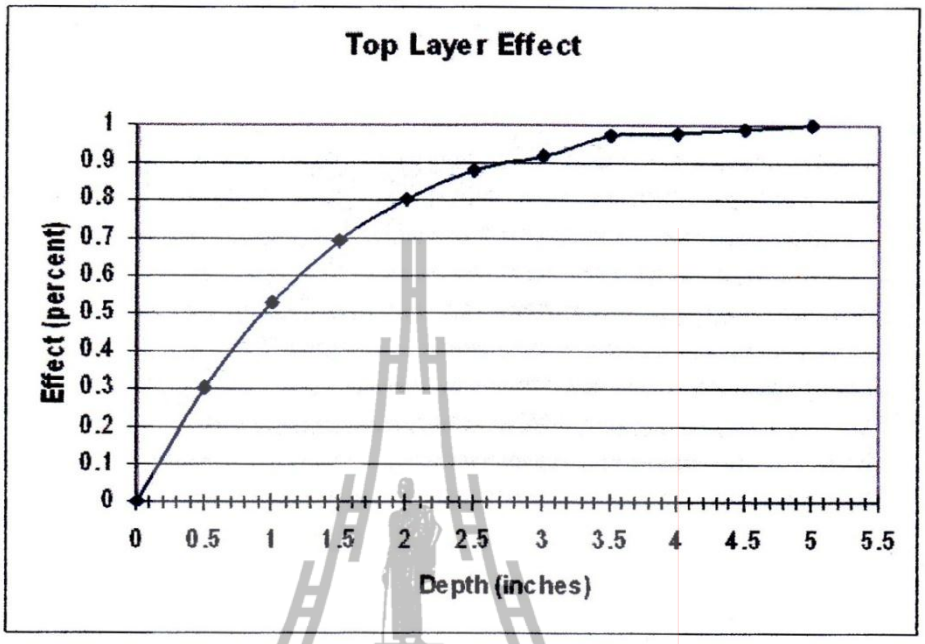


รูปที่ 2.41 กราฟค่าความหนาที่เหมาะสมในการวัดค่าความชื้นในสนามในหน่วย pcf



รูปที่ 2.42 กราฟค่าความหนาที่เหมาะสมในการวัดค่าความชื้นในสนามในหน่วย kg/m^3 top layer effect

ในการวัดค่าความแน่นในสนามนั้น หากเราเลือกใช้การวัดแบบ backscatter จำเป็นต้องรู้ถึงผลกระทบที่เรียกว่า top layer effect คือ ที่ความหนา 5 ซม. แรกจะมีผลต่อการวัดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความหนา 5 ซม. ด้านล่างจะมีผลต่อการวัดประมาณ ร้อยละ 18 ดังรูปที่ 2.43

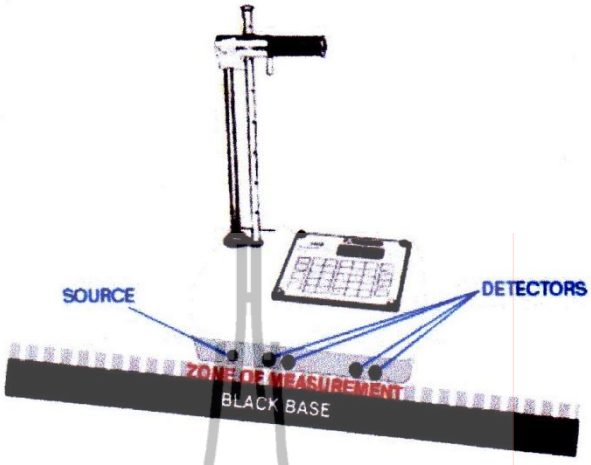


รูปที่ 2.43 กราฟผลกระทบที่เรียกว่า top layer effect ที่มีต่อการวัดค่าความแน่นแบบ backscatter ที่ความหนาต่าง ๆ กัน

ดังนั้นในการวัดค่าความแน่นในสนามแบบ backscatter จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรับผิวหน้าพื้นที่ที่จะวัดให้มีความเรียบ เพื่อไม่ให้มีช่องว่างในขณะที่วางฐานเครื่องทดสอบลงไป เพราะจะทำให้มีผลกระทบอย่างมากต่อค่าที่วัดออกมา ทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง

2.23.2.3 วิธีการวัดแบบ Thin Layer

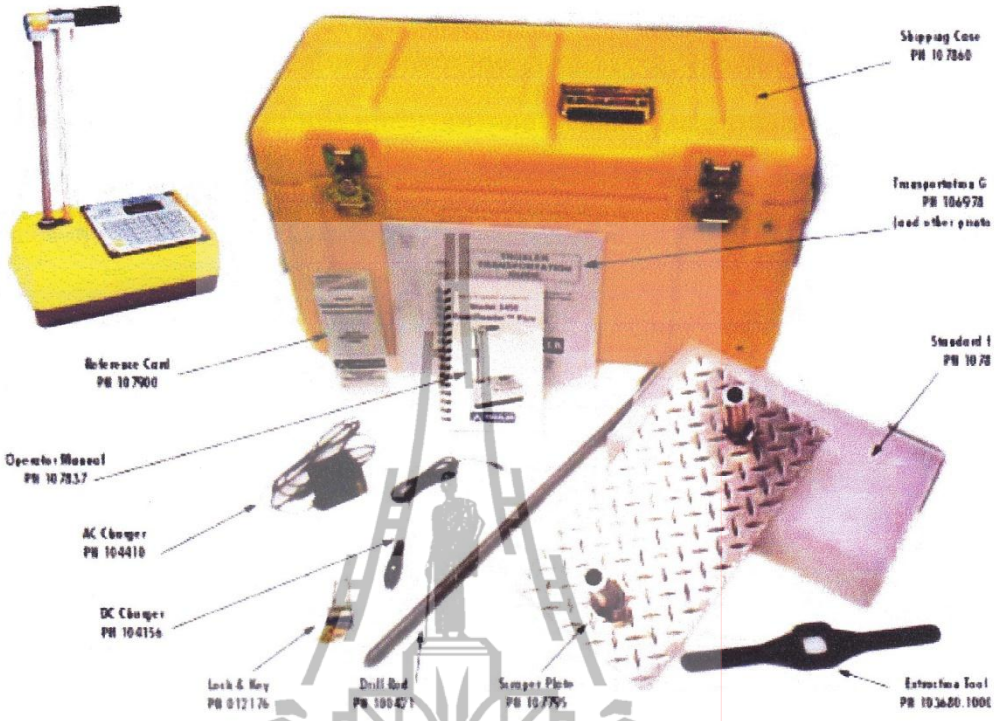
เครื่องมือวัดความแน่นในสนามยี่ห้อ troxler รุ่น model 3450 มี g-m tubes ที่ใช้เป็น photon detector อยู่ 2 ตำแหน่ง เมื่อมีการทำงานแบบที่วัดรังสีสะท้อนกลับ ตัวที่อยู่ไกลไปจากแหล่งกำเนิดมากกว่าจะมีความเหมาะสมมากกว่าในการวัดรังสีที่สะท้อนมาจากวัสดุที่อยู่ลึกกว่า ส่วนตัวที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดรังสีมากกว่าเหมาะกับการวัดรังสีที่สะท้อนมาจากวัสดุที่อยู่ตื้นกว่า ในการทดสอบสามารถเลือกการทดสอบชนิดเป็นชนิด thin layer ได้เพื่อจะสามารถวัดค่าที่ความหนาที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 การจัดตำแหน่งของเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบในโหมด Thin Layer

2.23.2.4 ส่วนประกอบของชุดวัดความชื้นและความหนาแน่น

Nuclear gauge เป็นเครื่องมือวัดประเภท protable (เคลื่อนย้ายได้) สามารถอ่านข้อมูลได้ในการวัดความชื้นหรือความหนาแน่น ภายในบรรจุสารกัมมันตรังสี วงจรอิเล็คโทรนิค ชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ด้านหลังจะมีสลากบอกเกี่ยวกับตัวเครื่อง เช่น ความแรงของรังสี หมายเลขเครื่อง Reference block ใช้ในการปรับตั้งมาตรฐานการนับเพื่อเช็คการทำงานของเครื่องว่าพร้อมหรือไม่ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน หรือเป็นการปรับแก้ไขค่าการวัดให้ถูกต้องจากที่สารรังสีลดลงไปตามเวลา Scraper plate (Drill Rod guide) ใช้ในการระบุตำแหน่งที่จะเจาะเพื่อทำเป็นรูให้ท่อนำสารรังสีลงไปในงานสนาม โดยเลือกลักษณะการใช้งานแบบ direct transmission drill rod ใช้ในการเจาะรูสำหรับการใช้งานแบบ direct transmission drill rod extraction tool ใช้ดึงที่เจาะ (drill rod) ออกจากวัสดุที่ทำการเจาะอยู่ charger มี 2 ชนิดคือแบบรับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบ DC (12 โวลต์) หรือรับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟแบบ AC (115/230V ,50/60 Hz) extra battery case เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบใช้ถ่าน alkaline transport case เป็นกล่องบรรจุเครื่องมือและเครื่องวัดที่ใช้ในการขนย้าย ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 ส่วนประกอบของชุดวัดความชื้นและความหนาแน่นของเครื่องมือ

2.23.2.5 การเตรียมใช้เครื่องมือ

ในขณะที่ไม่ได้ทำการทดสอบ source rod คือแท่งที่มีแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาอยู่ที่ปลายแท่งนั้นควรอยู่ที่ตำแหน่ง safe position

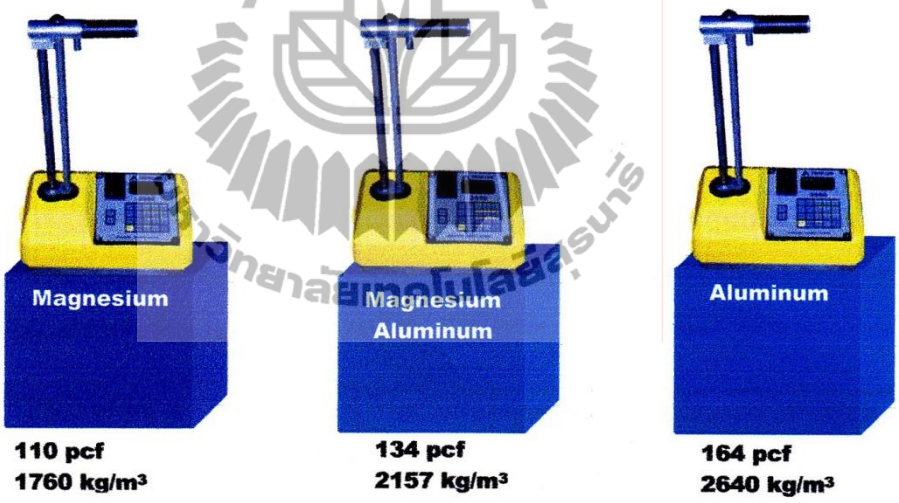
การใช้งานเมื่อเริ่มเปิดสวิทช์ไฟเข้าเครื่อง เครื่องมือจะมีการตรวจสอบตัวเองว่าพร้อมที่จะใช้งานหรือไม่ หากมีอะไรผิดปรกติจะแสดงผลออกมาที่จอแสดงผล จากนั้นจะเป็นการ warm up เครื่องเป็นเวลาประมาณ 10 นาที จึงจะพร้อมใช้งานได้ ในการใช้งานเครื่องนั้นผู้ทดสอบจะต้องทราบการกำหนดค่าราามิเตอร์ที่ต้องป้อนเข้าไปและบันทึกไว้ในหน่วยความจำของเครื่องเพื่อให้ทราบค่าการ set up เครื่องก่อนใช้งาน เครื่องทดสอบยี่ห้อ troxler รุ่น model 3450 สามารถบันทึกเก็บค่าผลการทดสอบไว้ในหน่วยความจำโดยให้ผู้ใช้ตั้งชื่อโปรเจคที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล การดูข้อมูลที่เก็บไว้ก็โดยการเรียกชื่อไฟล์ โปรเจคซึ่งอาจเก็บไว้หลาย ๆ ไฟล์โปรเจค ภายในเครื่องสามารถเก็บข้อมูลได้ 1000 ผลการทดสอบ เก็บข้อมูลได้สูงสุดใน 1 ไฟล์โปรเจคได้ 650 ผลการทดสอบ

2.23.2.6 การทำ Calibration

การ Calibrate เครื่องมือวัดทำได้โดย คำนวณหาค่าการนับรังสี จากการวัดค่าจากวัสดุที่รู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอนแล้ว นำค่าที่อ่านได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่านับรังสีที่อ่านได้กับค่าความหนาแน่นที่เรารู้ค่าที่แท้จริงแล้ว

วัสดุที่รู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอนที่ใช้ ได้แก่ Magnesium มีความหนาแน่น 1,760 kg/m^3 Magnesium Aluminum มีความหนาแน่น 2,157 kg/m^3 และ Aluminum มีความหนาแน่น 2,640 kg/m^3

วิธีการ Calibrate ทำโดยนำเครื่องมือวางบนวัสดุมาตรฐานดังกล่าวแล้วทำการนับรังสีที่แต่ละความลึก ค่าที่อ่านได้จะถูกบันทึกโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และคำนวณหาค่าความสัมพันธ์เป็นค่าคงที่ที่ใช้เป็นสมการในการคำนวณหาค่าความหนาแน่นในสนาม โดยปกติควรมีการทำ Calibration ทุก ๆ 12 ถึง 18 เดือนโดยผู้ผลิต ดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 การทำ Calibration ของเครื่องมือ โดยทดสอบบนวัสดุที่รู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอน

การคำนวณในการหาความหนาแน่นในสนาม

$$WD = 1/B\{In[A/CRd + C]\} - M/20 \quad .....(2.16)$$

$$M = \{CRm - E\} / F \quad .....(2.17)$$

CRd = Density Measure Count / Density Standard Count

CRm = Moisture Measure Count / Moisture Standard Count

In = natural log base e

A,B,C,E and F are calibration constants specific to the gauge and the depth

2.23.2.7 การทำ Standard Count

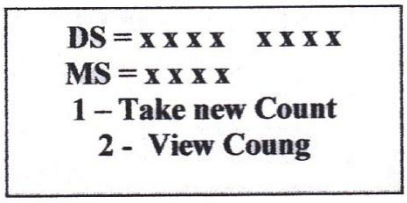
ทำไมต้องทำ Standard Count ? คำตอบก็คือ เพื่อให้การวัดค่าได้ผลออกมาถูกต้อง เพราะเมื่อเวลาผ่านไป ต้นกำเนิดรังสีจะมีปริมาณลดน้อยลง ทำให้อัตราการสลายตัวให้รังสีลดลงไปด้วย ฉะนั้นผู้ใช้จำเป็นที่จะต้องมีการทำ Standard Count เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา Count Ratio ซึ่งมี 2 ค่า คือ CRd และ CRm (ในสมการที่ 4 และ 5) ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปเครื่องทดสอบก็ยังวัดค่าความแน่นได้ถูกต้อง โดยที่ Count Ratio = Count ในสนาม / Standard Count

หลักการในการทำ Standard Count ก็เพื่อที่จะนำค่า Count Ratio จากบอล์คพาราฟินซึ่งเป็นวัสดุอ้างอิงที่เรารู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอนก่อนแล้ว

การเลือกสถานที่ที่จะทำ Standard Count ควรจะประกอบด้วย

1. จะต้องเป็นสถานที่ที่แห้งและเป็นพื้นราบ
2. จะต้องห่างจากกำแพงอย่างน้อย 3 เมตร หรือ 10 ฟุต
3. จะต้องห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีอื่นไม่น้อยกว่า 3 เมตร
4. พื้นจะต้องเป็นแอสฟัลต์, หรือดินที่บดอัดแล้ว โดยมีความหนาไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตรหรือ 4 นิ้ว

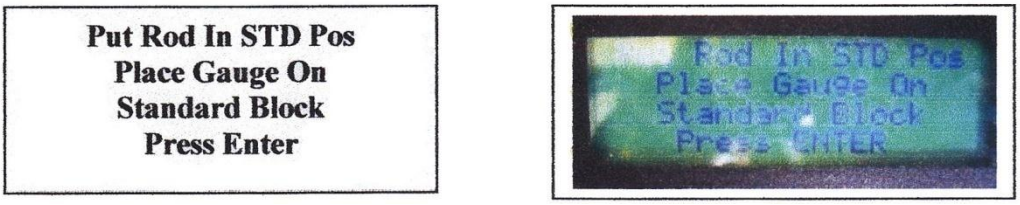
หลังจากเลือกสถานที่ทำ Standard Count ได้แล้ว ก็ให้นำเครื่องทดสอบออกมาแล้ว Turn On เมื่อหน้าจอแสดงผลอยู่ในเมนู Ready Screen แล้วให้กดคีย์ (Standard) จอแสดงผลจะแสดงค่า STD ของ DS และ MS ที่อยู่ในเครื่องก่อนหน้านี้ ดังนี้



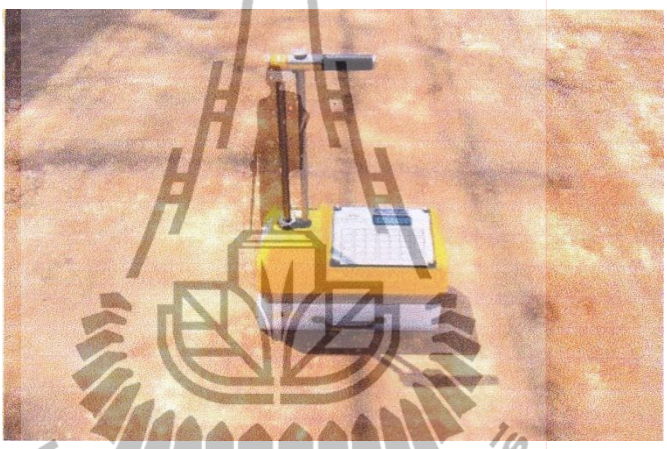
หมายเหตุ DS = Density Standard Count

MS = Moisture Standard Count

ถ้าต้องการทำ Standard Count ใหม่ให้กดคีย์เลข (1) จากนั้นกดคีย์ (2) แล้ว ENTER เครื่องจะถามออกมาว่า

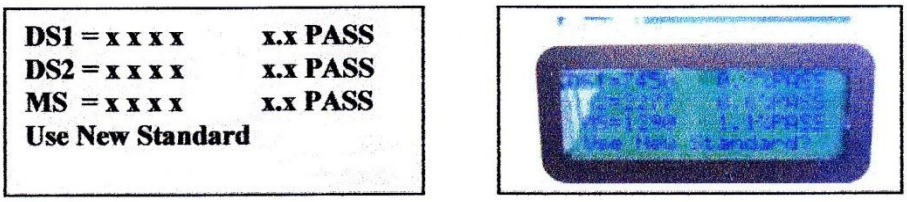


ให้ผู้ใช้นำบอล์คพาราฟินสี่เหลี่ยมมาแล้วนำเครื่องทดสอบวางบนแผ่นบอล์คพาราฟินนั้น ดังรูปที่ 2.47



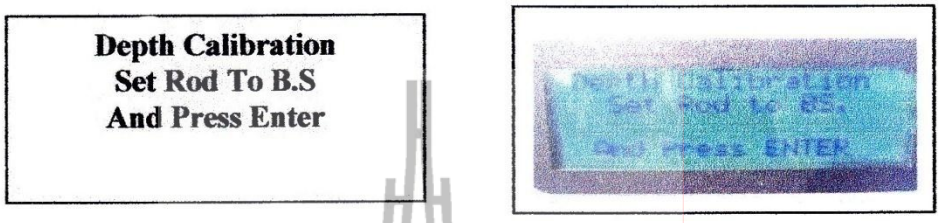
รูปที่ 2.47 การนำเครื่องทดสอบวางบนแผ่นบอล์คพาราฟินเพื่อทำ Standard count

การวางเครื่องทดสอบจะต้องให้ทุกส่วนของฐานวางอยู่บนบอล์คพาราฟินโดยปลายด้านหนึ่งชิดกับแผ่นเหล็ก และให้ตำแหน่งของแท่งรังสี (Soure Rod) อยู่ในตำแหน่ง Safe Position จากนั้นทำการยืนยันคำสั่งให้กดคีย์ (ENTER) การทำ Std Count จะใช้เวลาครั้งละ 4 นาที เมื่อเสร็จสิ้นการนับรังสีแล้ว เครื่องจะแสดงผลที่หน้าจอ



ค่า DS1 และ DS2 จะผิดพลาดไม่เกิน ±1.3% ของค่าเฉลี่ยและค่า MS จะผิดพลาดได้ไม่เกิน ±1% ของค่าเฉลี่ย

หลังจากทำ STD Count ผ่านแล้วให้กดคีย์ (YES) จากนั้นเครื่องจะทำการ Calibrate ตำแหน่งของแท่งรังสี โดยหน้าจอจะแสดงข้อความว่า



จากนั้นให้กดคีย์ (ENTER)

ในกรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องทดสอบเป็นเวลานานเป็นเดือน ผลการทำ STD Count อาจจะ Fail ได้ให้ผู้ใช้ทำการยืนยันค่าใหม่ให้เข้าไปเก็บแทนค่าเก่า และให้ทำทดลองทำใหม่อีกสัก 4 ครั้ง ค่าที่ทำครั้งหลังสุดน่าจะได้ DS1 และ MS ผ่าน ถ้ายังไม่ผ่านให้ติดต่อบริษัทผู้ขาย ทำการซ่อมบำรุง

ตัวอย่างการคำนวณในการทำ Standard count

Density 1	Density 2	Moisture
7128	1987	1084
7134	1985	1071
7121	1990	1073
7140	1981	1083
28523/4=**7131**	7943/4=**1986**	4311/4=**1078** Average of these counts

Today's standard count:

Density 1	Density 2	Moisture
7139	1979	1080

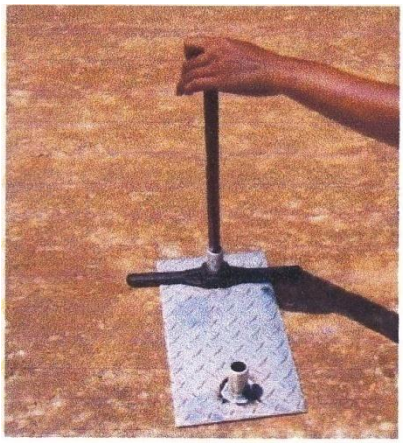
Formula: [today's – average] = n ; (n / average) x 100 = %

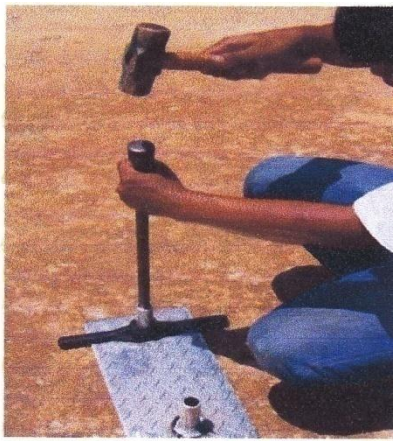
Density 1	Density 2	Moisture
7139 -7131= 8 ; (8 / 7131) x100 = 0.11% Pss	1979-1986 = 7 ; (7 / 1986) x100 = 0.35% Pass	1080-1078 = 2 ; (2/1078)x100 = 0.12% Pass
must be within +/-1% of average	must be within +/-1.2% of average	must be within +/-2% of average

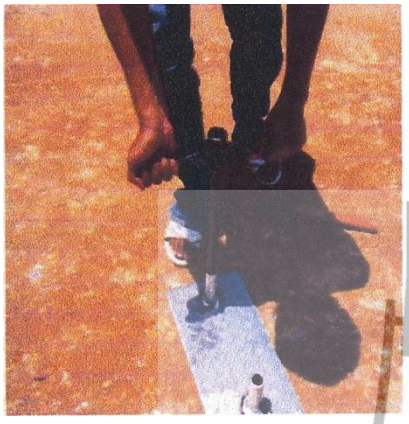
2.23.2.8 การเตรียมสถานที่ที่ทำการทดสอบ (preparing a teatsite)

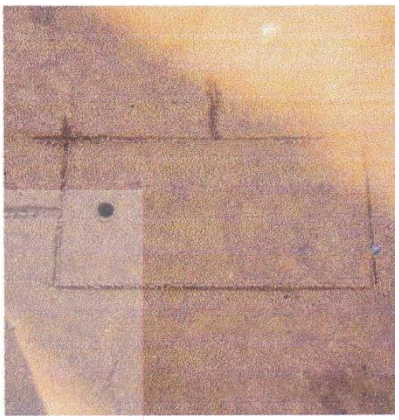
การเตรียมสถานที่สำหรับการทดสอบงานดิน (soil site)

1. สถานที่จะต้องเป็นพื้นเรียบห่างจากรอยร้าวหรือรูโพรงขนาดใหญ่
2. ถ้าจำเป็น ที่จะต้องทำการปรับพื้นให้เรียบก็ให้ใช้แผ่นเพลท ที่ใช้เจาะรูทำการปรับพื้นให้เรียบ
3. ปรับพื้นที่เป็นรูเล็ก ๆ ด้วยทรายละเอียด
4. นำเพลทโลหะที่สำหรับเจาะรูวางบนสถานที่ที่เตรียมไว้ แล้วกดเพลทลงไปผิวดิน
5. สำหรับการทดสอบแบบ Direct Transmission เป็นวิธีที่สามารถวัดได้ถูกต้อง และมีความแน่นอนสูง จะต้องทำการเจาะรู เพื่อหย่อนแท่งรังสีลงไปต่ำกว่าบริเวณผิวทางดังรูป
6. ใช้ค้อนปอนด์ตอกแท่งเหล็กเจาะรูลงไประยะความลึก สังเกตได้จากตำแหน่งบอกระยะที่แท่งเจาะช่องละ 2 นิ้ว ควรจะตอกลงไปลึกกว่าตำแหน่งที่ต้องการทดสอบ เช่น ถ้าทดสอบที่ความลึก 10 เซนติเมตร (4 นิ้ว) ก็ควรตอกให้ลึก 6 นิ้ว หรือ 5 นิ้ว เพราะเวลาถอนเอาแท่งเจาะออกจะมีดินบางส่วนเคลื่อนปิดลงไปทำให้ระยะลึกน้อยกว่าระยะที่ตอกจริง
7. ทำการถอนแท่งเจาะออก
8. เมื่อจะเอาแผ่นเพลทออก ควรใช้ไม้หรือเหล็กแหลมขีดทำเครื่องหมายบอกที่รอบแผ่นเพลงบนผิวดินให้ครบทั้ง 4 มุม เพราะเวลาเอาเครื่องทดสอบไว้วางบนบริเวณที่เตรียมพื้นที่ไว้ แท่งรังสีจะหย่อนลงไปในรูเจาะได้พอดี ดังรูปที่ 2.48









รูปที่ 2.48 การเจาะรูโดยใช้ Scraper plate (Drill Rod guid) และแท่ง Drill Rod เป็นการระบุตำแหน่งที่จะนำสารรังสีลงไปในสนามในการเลือกลักษณะการใช้งานแบบ Direct transmission โดยมีการทำสัญลักษณ์หลังจากเจาะเตรียมไว้เพื่อที่จะได้นำเครื่องมือมาวางให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง

หมายเหตุ อย่าลืมใส่ตัวถอนแท่งเจาะลงบนเพลทโลหะ เพราะเมื่อตอกแท่งเจาะลงไปแล้วไม่มีตัวถอนออก จะเกิดปัญหาเอาแท่งเจาะดึงกลับออกมาไม่ได้

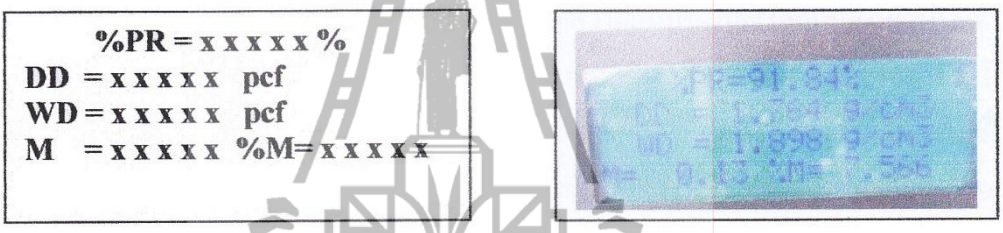
2.23.2.9 การเตรียมสถานที่สำหรับงาน asphalt, คอนกรีต, ดินแข็ง (asphalt site) ก็จะมีขั้นตอนเหมือนกันกับงานดินเพียงแต่การเจาะรูเพื่อทำการวัดแบบ direct transmission จะทำได้ยาก เพราะวัสดุทดสอบจะมีความแข็งมากบางครั้งจำเป็นที่จะต้องใช้สว่านไฟฟ้าเจาะรู แทนการตอกด้วยแท่งเหล็ก แต่ถ้าไม่ต้องการเจาะรู เราอาจเลือกทำการวัดแบบ backscatter ก็ได้แต่ผลความแน่นอนจะน้อยกว่าวิธี direct transmission

2.23.2.10 การทดสอบใน Soil Mode

การวัดความแน่นและความชื้นของดิน, หินคลุก, ทราย มีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกการทดสอบแบบ Soil Mode
2. ทำการป้อนค่า Protor (ค่า Max Lab) จากห้องปฏิบัติการ
3. เตรียมสถานที่ที่ทำการทดสอบ
4. วางเครื่องทดสอบบนสถานที่ที่เตรียมทดสอบ
5. กดแท่งรังสีให้เลื่อนลงไปในรูที่เจาะไว้ให้ลึกตามที่ต้องการ โดยคลายล๊อคกลไกที่แขนจับก่อนทำได้โดยใช้นิ้วมือกดสลักล๊อค

6. สังเกตความลึกจากแท่งรังสีที่เคลื่อนลงไปจากเสาบอกระยะ ที่มีระยะบอกช่วงละ 2 นิ้ว เมื่อถึงตำแหน่งที่ต้องการ จะต้องให้ตัวล๊อคซึ่งเป็นกลไกอยู่ที่แขนจับเลื่อนล๊อคกับร่องปากที่เสาบอกระยะพอดี เมื่อปล่อยคลายกลไก ผู้ใช้จะได้ยินเสียงคลิกส์ เมื่อแท่งรังสีล๊อคเข้ากับตำแหน่งที่ทดสอบ
7. กดคีย์ (Start) โดยปกติจะใช้เวลาในการทดสอบแต่ละครั้งนาน 1 นาที ดังนั้นจะต้องเซตค่า (Time) ไว้ที่ 1 นาทีก่อน เมื่อครบเวลา 1 นาที และหน้าจอแสดงผลจะแสดงผลการทดสอบออกมาดังนี้



%PR = Percent Proctor

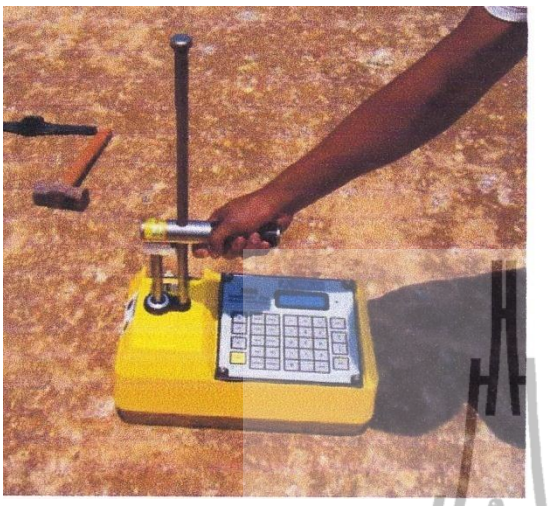
DD = Dry Density

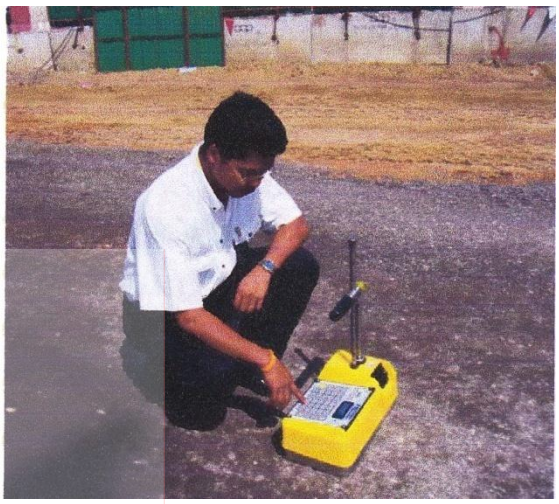
WD = Wet Density

M = Moisture

%M = Percent Moisture

ถ้าต้องการบันทึกค่าลงในไฟล์โปรเจค ที่ตั้งชื่อไว้ให้กดคีย์ (store) จากนั้น ต้อการกลับสู่เมนู Ready Screen ให้กดคีย์ (ESC) และถ้าต้องการเริ่มทดสอบใหม่อีกครั้งก็ให้กดคีย์ (start) เมื่อจบการทดสอบแล้วให้เลื่อนแท่งรังสีกลับสู่ตำแหน่ง Safe position รูปที่ 2.49





รูปที่ 2.49 การกดแท่งรังสีให้เลื่อนลงไปในรูเจาะให้ลึกตามที่ต้องการ โดยคลายล๊อคกลไกที่แขนจับ หลังจากนั้นกดปุ่มคำสั่งให้เครื่องทำงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทำโครงงาน

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบการบดอัด และCBRในห้องปฏิบัติการของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก จากสำนักทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) กรมทางหลวงชนบท ดินตัวอย่างทั้งหมดเป็นดินที่มีความคละตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงชนบท ผลทดสอบทั้งหมดจะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) เพื่อใช้เป็นค่าควบคุมการทดสอบความแน่นในสนาม นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลความแน่นของดินบดอัดในสนามและจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด เพื่อเข้าใจการพัฒนาความแน่นแห้งในสนามตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด เพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูล ความแน่นแห้งในสนามได้จากการทดสอบด้วย วิธีนิวเคลียร์ (Nuclear method) วิธีการนี้จะคำนวณหาหน่วยน้ำหนักแห้งโดยการส่งผ่านรังสีแกมม่า (Gamma ray) ไปยังดินถมและสะท้อนขึ้นสู่เครื่องรับรังสี ถ้าปริมาณรังสีสะท้อนกลับมายังเครื่องรับมากแสดงว่า วัสดุมีความแน่นแห้งสูง การหาปริมาณความชื้นทำโดยการใช้รังสีนิวตรอน (new tron) ส่งผ่านไปยังวัสดุดินถมและสะท้อนกลับไปเครื่องรับ อนุภาคของนิวตรอนจะไปชนกับอะตอมของไฮโดรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำ ถ้านิวตรอนสะท้อนกลับเข้าเครื่องรับช้า แสดงว่า ปริมาณน้ำในมวลวัสดุดินถมมีมาก นอกจากความสะดวกรวดเร็วแล้ว วิธีการนี้ยังเป็นการทดสอบที่ไม่ทำลายชั้นทาง

3.2 แผนงานดำเนินการ

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยงานหลักสองส่วน ส่วนแรกเป็นการรวบรวมผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และในสนามผลการทดสอบในสนามประกอบด้วยผลทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน (การกระจายขนาดของเม็ดดิน และพิกัด Atterberg) ผลทดสอบการบดอัด และผลทดสอบ CBR ข้อมูลผลการทดสอบทั้งหมดรวบรวมจากสำนักทางหลวงชนบทที่ 2(สระบุรี) กรมทางหลวงชนบท ส่วนที่สองเป็นรวบรวมผลทดสอบการบดอัดในสนาม งานวิจัยนี้ทำการรวบรวมผลทดสอบในสนามจากโครงการ ก่อสร้างถนนเลียบแม่น้ำเจ้าพระยา อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี การบดอัดนี้เป็นการบดอัดดินเม็ดละเอียดสำหรับทำพื้นคันทาง

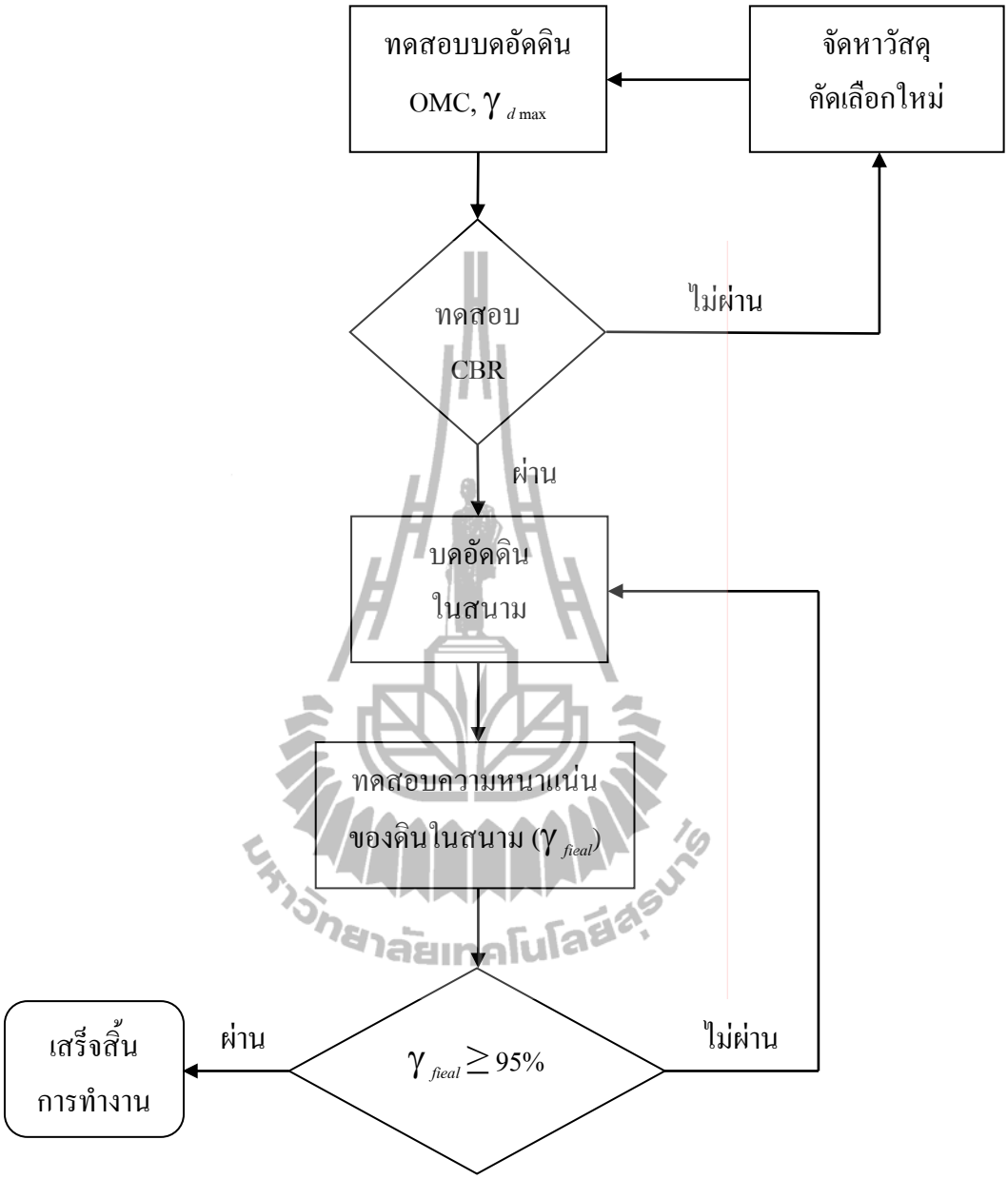
3.3 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ดินตัวอย่างที่รวบรวมมาจะผ่านการทดสอบตามมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท โดยดินตัวอย่างจากสายทางต่างๆจะนำตากให้แห้ง และแบ่งตัวอย่างให้ได้ปริมาณเพียงพอต่อการทดสอบด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างตาม มาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวงชนบทเป็นดังนี้

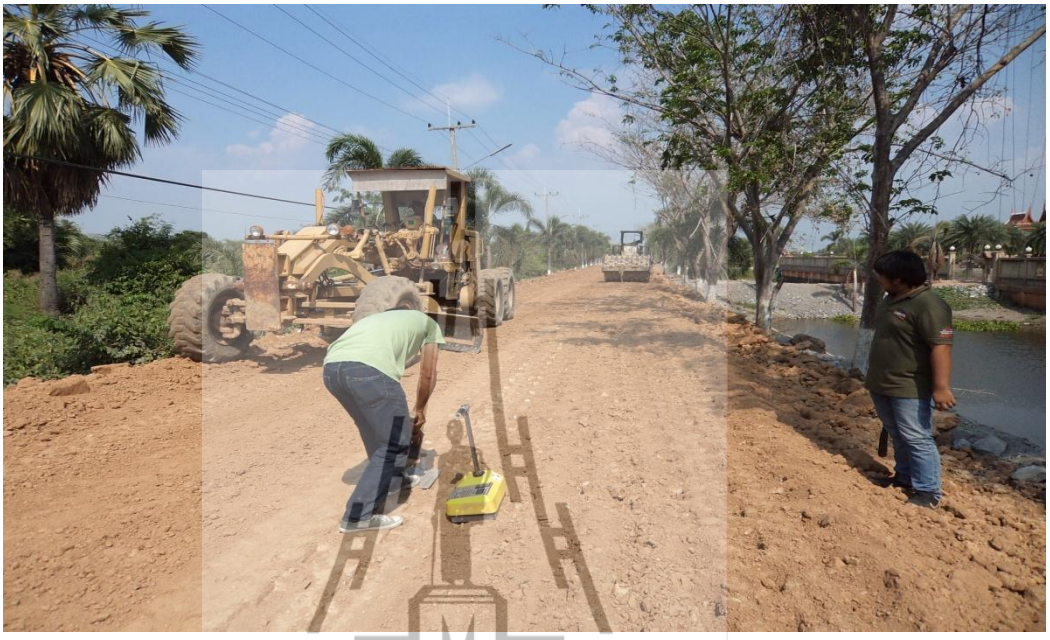
- การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้างตามมาตรฐานวิธีทดสอบ มทช.(ท) 501.8-2545
- การทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (Liquid Limit : LL) ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ มทช.(ท) 501.5-2545
- การทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : PL) ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ มทช.(ท) 501.6-2545
- การทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction test) ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ มทช.(ท) 501.2-2545
- การทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์ (C.B.R.) ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ แบบแช่น้ำ (Soaked) ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ มทช.(ท) 501.3-2545
- การทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse aggregates) โดยใช้เครื่องมือทดสอบหาความสึกหรอ (Los angeles abrasion) ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ มทช.(ท) 501.9-2545

3.4 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (Field density test) โดยวิธีการ Nuclear Method

ขั้นตอนในการทำงานก่อสร้างถนน สามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเริ่มต้นจากการคัดเลือกวัสดุและทำการทดสอบการบดอัด และCBR จัดวัสดุที่ได้มาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท และทำการบดอัดในสนามด้วยรถบดอัดในสนามด้วยรถบดอัดได้ร้อยละของการบดอัดไม่น้อยกว่า 95 การบดอัดในสนามและการทดสอบความหนาแน่นแห้งในสนามแสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการก่อสร้างดินคันทางหรือถนน



รูปที่ 3.2 การทดสอบความแน่นในสนามรอบที่ 8

รูปที่ 3.3 การทดสอบความแน่นในสนามรอบที่ 15

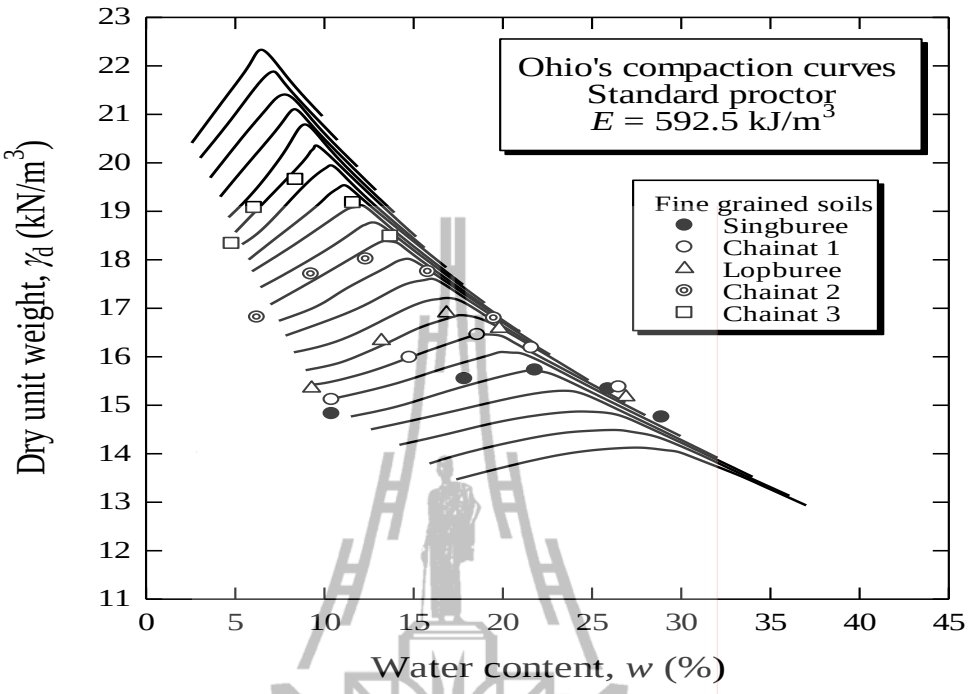
บทที่ 4
การศึกษาผลทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 บทนำ

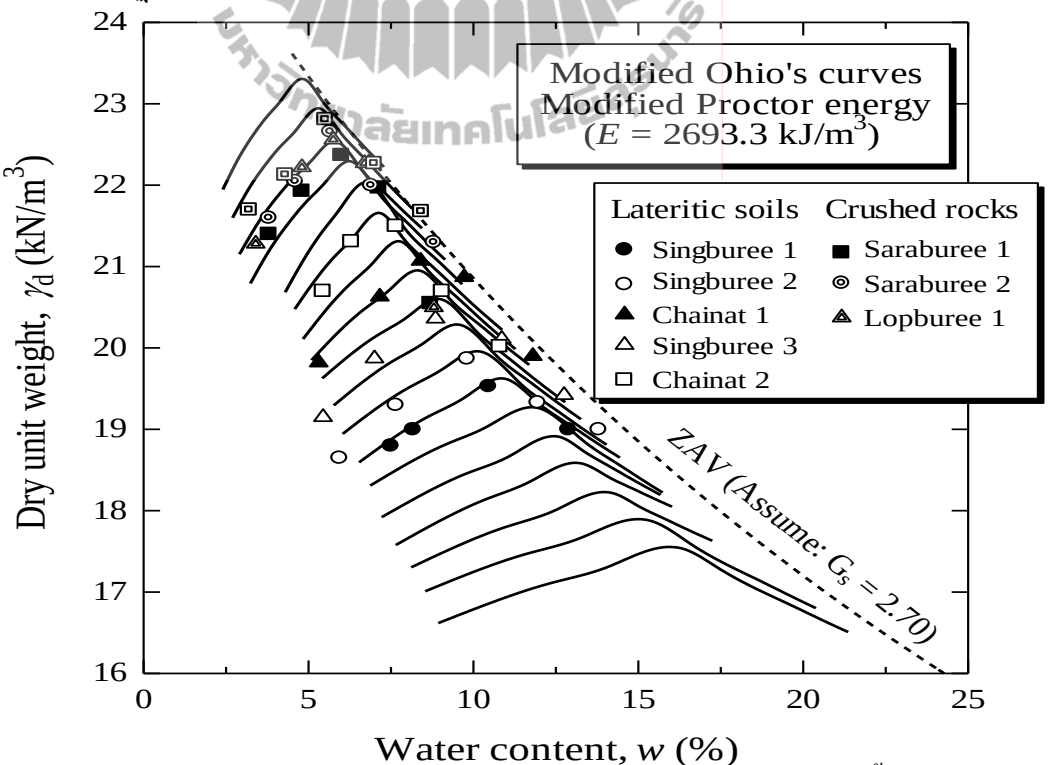
บทนี้วิเคราะห์ผลทดสอบการบดอัดและ CBR ของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก การบดอัดแน่นแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) สำหรับดินเม็ดละเอียด และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor) สำหรับดินลูกรัง และหินคลุก กราฟการบดอัดของดินทั้งสามประเภทนำมาเปรียบเทียบกับกราฟ Ohio's Compaction ที่เสนอโดย Joslin (1959) และกราฟ Modified Ohio's Curves ที่เสนอโดย Horpibul suk et al., (2008)และ(2009) ผลการทดสอบ CBR (California Bearing Ratio) ของดินทั้งสามประเภทในห้องปฏิบัติการจะนำมาสร้างความสัมพันธ์กับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ข้อมูลผลการทดสอบทั้งหมดรวบรวมจากสำนักทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) กรมทางหลวงชนบท จากแหล่งวัสดุบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดสระบุรี ลพบุรี สิงห์บุรี ชัยนาท และสุพรรณบุรี ระหว่างปี พ.ศ.2552-2554 และผลการทดสอบความแน่นในสนาม โดยวิธี Nuclear method เก็บจากโครงการก่อสร้างถนนเลียบแม่น้ำเจ้าพระยา อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี ข้อมูลที่ได้จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด

4.2 กราฟการบดอัด

จากการรวบรวมกราฟการบดอัดของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุกจากโครงการก่อสร้างและซ่อมสร้างทางของสำนักทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) พบว่ากราฟการบดอัดของดินทั้งสามประเภทมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ หน่วยน้ำหนักสูงสุดมีค่าแปรผันในช่วง 15ถึง 20,19.5ถึง 21.5 และ 22.2 ถึง 22.8 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุกตามลำดับ และปริมาณน้ำเหมาะสมมีค่าแปรผันในช่วงร้อยละ 11 ถึง 23, 7 ถึง 12 และ 6 ถึง 7 สำหรับดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ตามลำดับ หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำเหมาะสม ปริมาณน้ำเหมาะสมที่มากจะสอดคล้องกับหน่วยน้ำหนักที่ต่ำ รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงกราฟการบดอัดของดินเม็ดละเอียด ที่พลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและกราฟการบดอัดของ ดินลูกรังและหินคลุกที่พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน เปรียบเทียบกับกราฟการบดอัด Ohio (Joslin,1959) และกราฟการบดอัด Modified Ohio(Horpibulsuk et al., 2008 และ 2009) จะเห็นได้ว่าผลทดสอบของดินทั้งสามประเภทสามารถพล็อตกราฟการบดอัด Ohio และกราฟการบดอัด Modified Ohio



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นเหมาะสมในห้องปฏิบัติการและ Ohio's Compaction Curves Standard Proctor



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นเหมาะสมในห้องปฏิบัติการและ Modified Ohio's Compaction Curves Modified Proctor

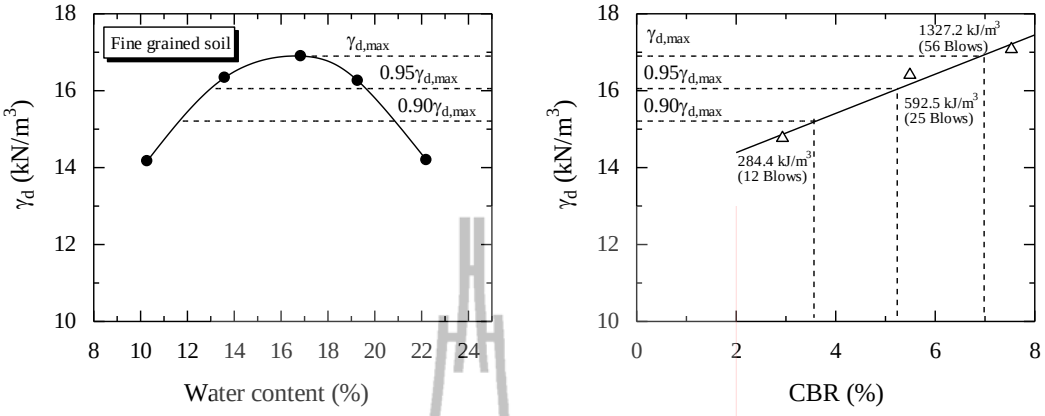
4.3 ผลทดสอบ CBR (California Bearing Ratio)

รูปที่ 4.3 ถึง 4.5 แสดงผลกานทดสอบการบดอัดและ CBR สำหรับดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก โดยที่กราฟทางซ้ายมือแสดงกราฟการบดอัด ส่วนกราฟทางขวามือแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและCBR ของตัวอย่างที่ถูกบดอัดด้วยพลังงานการบดอัดต่างๆที่ปริมาณความชื้นเดียวกันคือปริมาณความชื้นเหมาะสม พลังงานการบดอัดที่แตกต่างกันจำลองได้โดยการบดอัดด้วยจำนวนตกกระทบของค้อนบดอัดที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าค่า CBR มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง ในช่วงที่หน่วยร้อยละของการบดอัดมีค่าระหว่าง 90 ถึง100

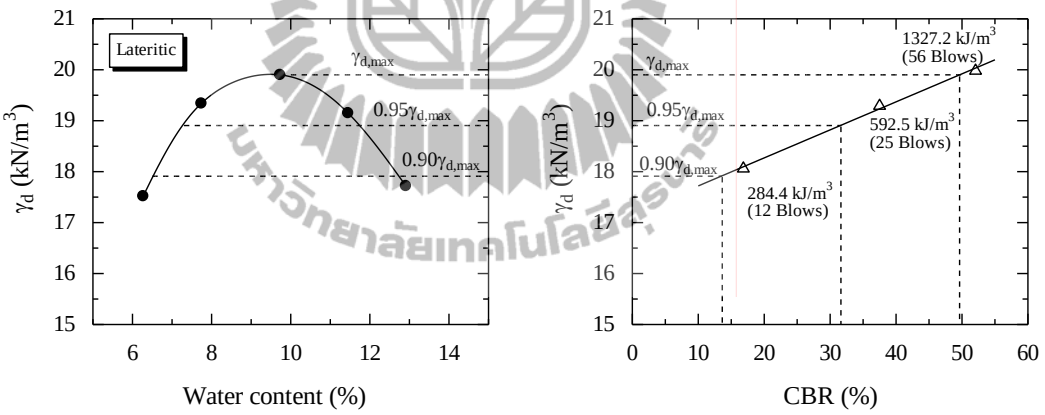
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และความแน่นแห้ง มีต่างชนิดกันตามแต่ชนิดของดิน กำลังต้านทานแรงเฉือน ความคละของดิน และความต้านทานการสึกหรอ เป็นต้น ดินเม็ดละเอียดจะมีค่า CBR ต่ำที่สุด ในขณะที่ หินคลุกจะมีค่า CBR สูงที่สุด แม้ว่าค่า CBR ของดินแต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกัน แต่ค่า CBR ของดินเดียวกันจะแปรผันตามหน่วยน้ำหนักแห้ง ดังนั้น อัตราส่วน CBR และอัตราส่วนหน่วยน้ำหนักแห้งของดินประเภทต่างๆ จึงสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์เดียวกันได้ดังรูปที่ 4.6 และสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{CBR}{CBR_{\max}} = 4.95\frac{\gamma_d}{\gamma_{d,\max}} - 3.96 \qquad (4.1)$$

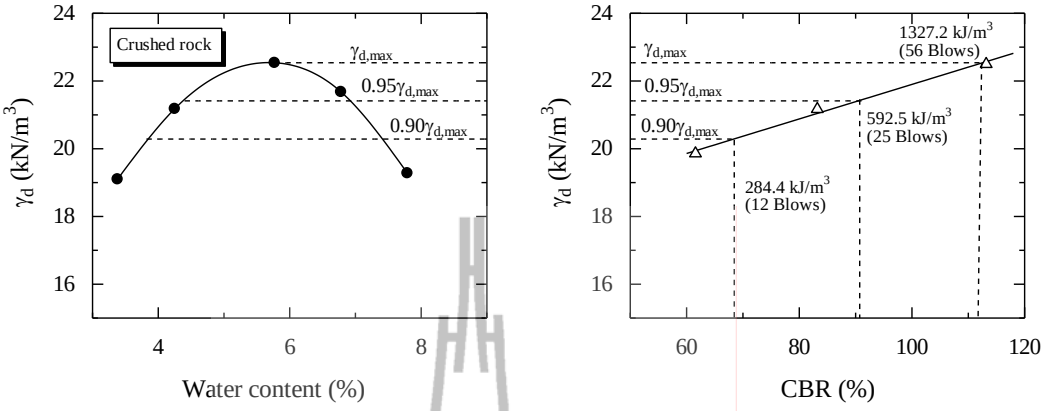
เมื่อ CBR คือค่าของ CBR ที่หน่วยน้ำหนักแห้งใดๆ (γ_d) และ $CBR_{\max}$ คือค่าของ CBR ที่หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด



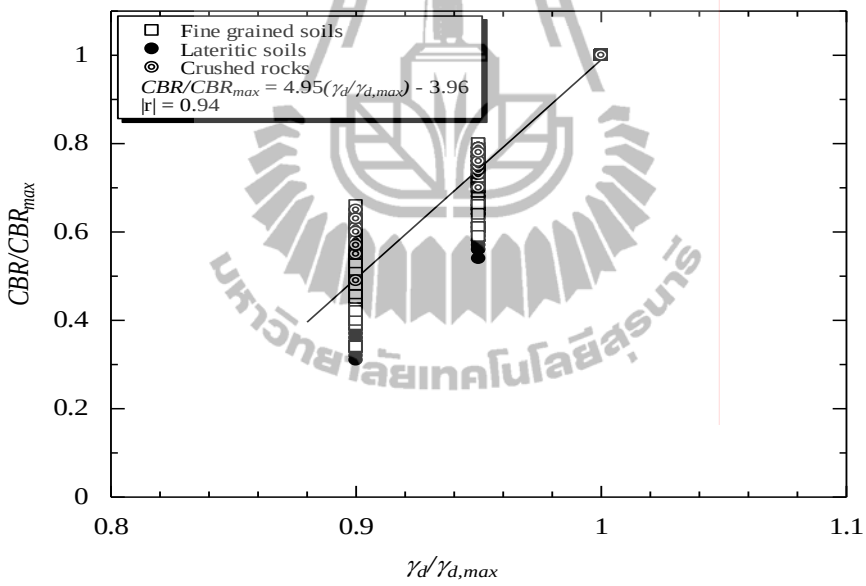
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ค่าความแน่นแห้งและค่า ร้อยละCBR
ที่พลังงานการบดอัดที่แตกต่างกันของดินเม็ดละเอียด



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ค่าความแน่นแห้งและค่า ร้อยละCBR
ที่พลังงานการบดอัดที่แตกต่างกันของดินลูกรัง



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ค่าความแน่นแห้งและค่า ร้อละCBR
ที่พลังงานการบดอัดที่แตกต่างกันของหินคลุก



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR/CBR_{max}และค่าγ_d/γ_{dma}

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และความแน่นแห้งสูงสุด

ผลทดสอบในรูปที่ 4.6 ถึง 4.9 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า CBR มีค่าแปรผันตามประเภทของดิน ดินเม็ดหยาบจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรม (กำลังต้านทานแรงเฉือน CBR การอัดตัว) ที่ดีกว่าดินเม็ดละเอียด แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับดินประเภทเดียวกัน คุณสมบัติทางวิศวกรรมควรมีค่าใกล้เคียงกัน หากมีคุณสมบัติพื้นฐาน อันได้แก่ ปริมาณความชื้น พิกัด Atterberg และความคละเป็นต้น มีค่าใกล้เคียงกัน (Whyte, 1982 และ Wroth and Wood, 1978) เนื่องจากคุณสมบัติพื้นฐานของดินเป็นตัวควบคุมความหนาแน่นของดินบดอัด (Nagaraj et al., 2006 และ Gurtug and

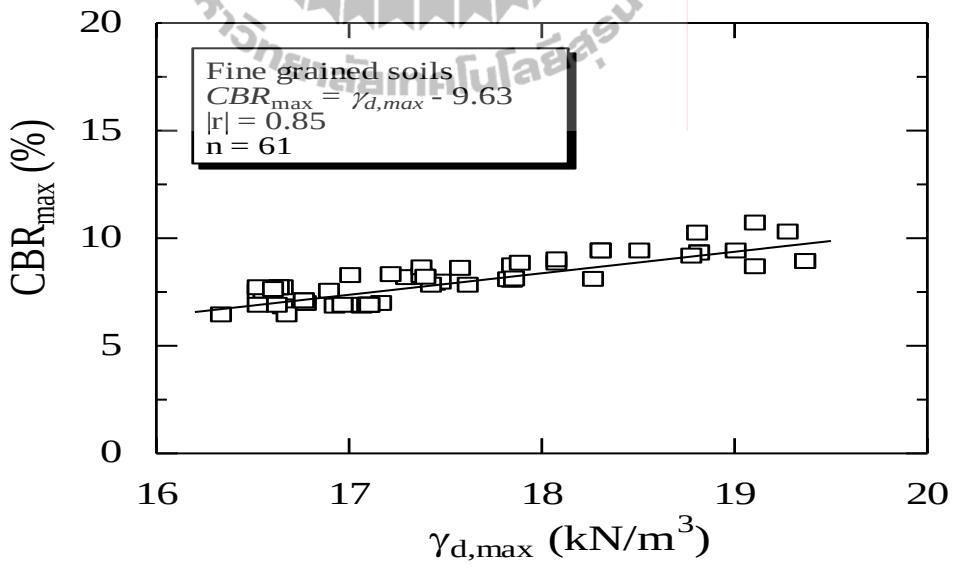
Sridharan, 2002) ดังนั้น ค่า CBR ของดินแต่ละประเภทจึงน่าจะแปรผันตามหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด รูปที่ 4.6 ถึง 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR และหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ที่เก็บในพื้นที่จังหวัดสระบุรี ลพบุรี สิงห์บุรี ชัยนาท และสุพรรณบุรี จะเห็นได้ว่าค่า CBR ของดินแต่ละประเภทมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด

$$CBR_{\max} = \gamma_{d,\max} - 9.63 \quad \text{สำหรับดินเม็ดละเอียด} \quad (4.2)$$

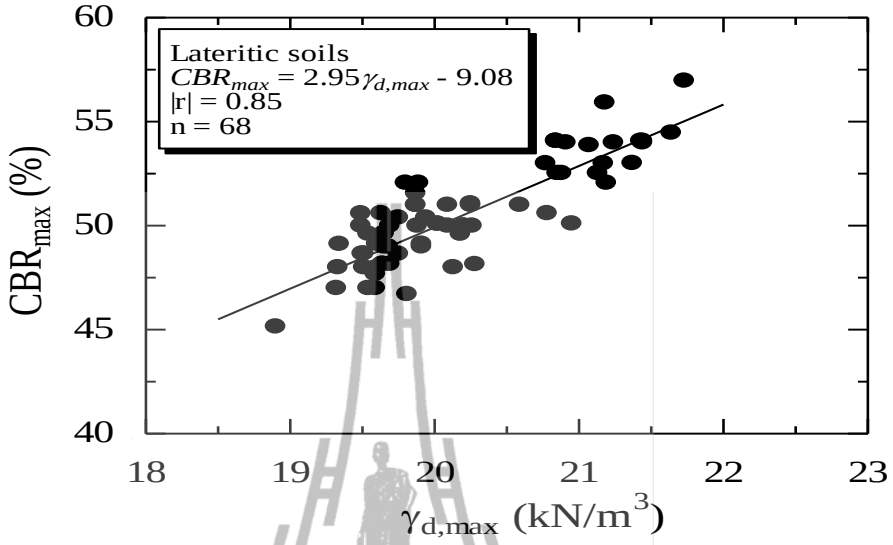
$$CBR_{\max} = 2.95\gamma_{d,\max} - 9.08 \quad \text{สำหรับดินลูกรัง} \quad (4.3)$$

$$CBR_{\max} = 17.44\gamma_{d,\max} - 276.76 \quad \text{สำหรับหินคลุก} \quad (4.4)$$

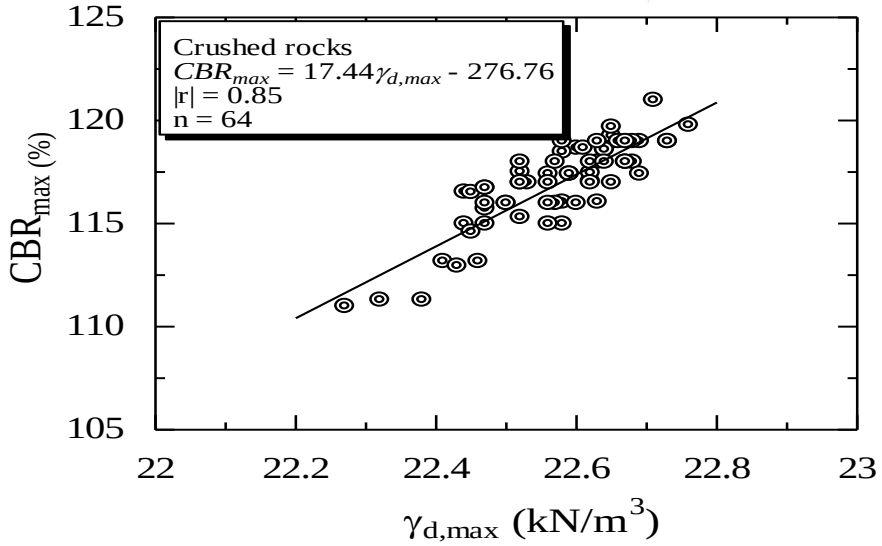
เมื่อ $\gamma_{d,\max}$ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร จากความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าค่า CBR ของดินเม็ดละเอียดมีความไวตัวต่อหน่วยน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด โดยมีค่า CBR อยู่ระหว่าง 6 ถึง 10 เท่านั้น หินคลุกมีความไวตัวต่อหน่วยน้ำหนักแห้งมากที่สุด (ความชันของกราฟสูงที่สุด) โดยมีค่า CBR อยู่ระหว่าง 110 ถึง 120 สำหรับการเปลี่ยนแปลงหน่วยน้ำหนักแห้งเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละ CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (γ_d) Standard Proctor ดินถม



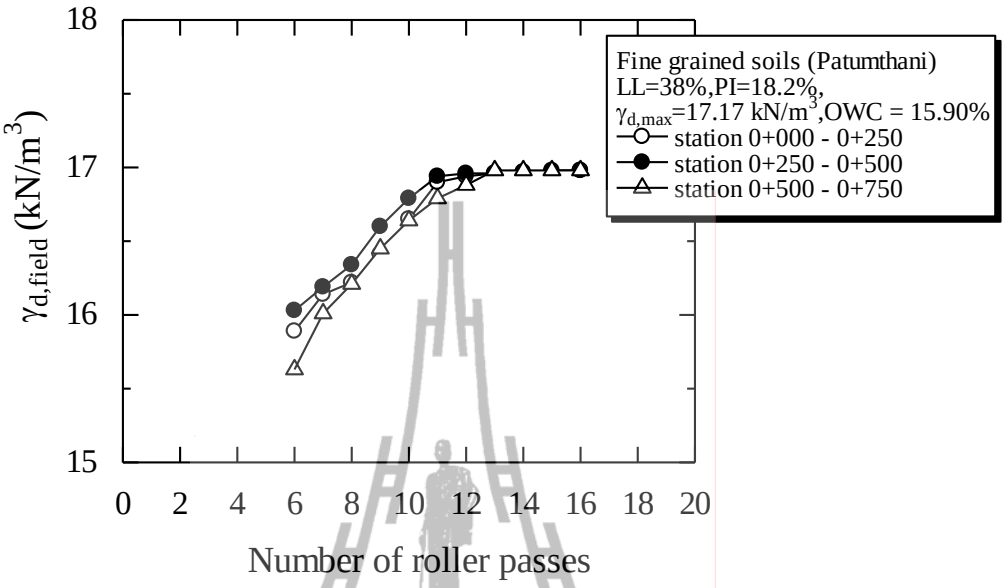
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละ CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (γ_d) Modified Proctor (ลูกรัง)



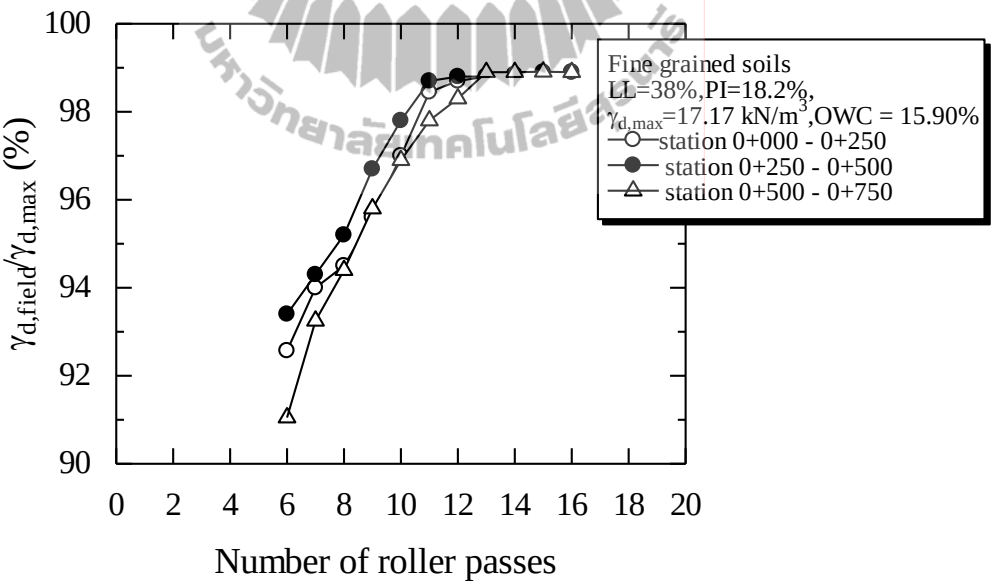
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละ CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (γ_d) Modified Proctor (หินคลุก)

4.5 การทดสอบรอบการบดอัดแน่นในสนามด้วยเครื่องมือกล

การบดอัดแน่นดินเม็ดละเอียดในสนามทำโดยการถมดินชั้นที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมและบดอัดจำนวน 6 ครั้ง จนได้ความหนาสุดท้ายประมาณ 20 เซนติเมตร การบดอัดเริ่มต้นจากการถมดินจนได้ความหนาชั้นละประมาณ 3-4 เซนติเมตร และบดอัดด้วยรถบดอัด 1 เที่ยว เมื่อได้ความหนาสุดท้ายประมาณ 20 เซนติเมตร (เที่ยววิ่งที่ 6) รถบดอัดจะเริ่มต้นบดอัดอย่างต่อเนื่อง (โดยปราศจากการถมดินเพิ่ม) จนได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ รถบดอัดที่ใช้เป็นรถบดตีนแกะแบบสั่นสะเทือน มีเหล็กยื่นออกมา (Projection) พื้นที่ 50 ตารางเซนติเมตร ลึก 2.50 เซนติเมตร และน้ำหนักล้อรถบดประมาณ 12 ตันต่อตารางเมตร ความถี่ของการสั่นสะเทือนประมาณ 20.ถึง30 รอบต่อวินาที การบันทึกความหนาแน่นแห้งในสนามด้วยวิธี Neclear Method จะเริ่มที่จำนวนรอบที่ 6 เป็นต้นไป รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งในสนามและจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด ซึ่งเป็นผลการตรวจวัดที่สถานีวัด 3 สถานที่ จะเห็นได้ว่าหน่วยน้ำหนักแห้งในสนามมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนเที่ยวที่ 6 ถึง 11 หลังจากนั้น ความหนาแน่นแห้งเริ่มมีค่าคงที่ เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นแห้งที่วัดได้นี้กับความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 4.11) จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นแห้งที่จำนวนรอบที่ 11 ขึ้นไปมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการแล้ว แม้ว่าจะทำการเพิ่มพลังงานการบดอัดให้มากขึ้น (เพิ่มจำนวนเที่ยวของการบดอัด) แต่หน่วยน้ำหนักแห้งก็ไม่สามารถเพิ่มขึ้นต่อไปได้อีก เนื่องจากระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำที่สภาวะนี้มีค่าใกล้เคียงกับหน่วยน้ำหนักแห้งในสภาวะไม่มีอากาศในโพรงดิน (Zero air void) ดังนั้น จำนวนเที่ยวที่มากเกินไปจึงไม่เกิดประโยชน์อันใดในทางปฏิบัติ



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งในสนาม
และจำนวนรอบการบดอัดด้วยรถบด



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความแน่นแห้งในสนามต่อความหนาแน่นแห้ง
สูงสุดและจำนวนรอบการบดอัดด้วยรถบด

4.6 ขั้นตอนการบดอัดดิน

จากผลการศึกษาทั้งหมด ผู้วิจัยนำเสนอแนวทางการบดอัดดินในสนาม ซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่การหาแหล่งดินดังนี้

1. นำดินจากแหล่งดินมาทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดิน และพิกัด Atterberg
2. นำดินที่ผ่านตามข้อกำหนดของมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทมาทำการทดสอบการบดอัด 1 การทดสอบ
3. ประมาณกราฟการบดอัดและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดจากกราฟ Ohio และ Modified Ohio
4. ประมาณค่า CBR_{max} จากสมการที่ 4.2 ถึง 4.4
5. ประมาณค่า CBR ในสนามที่ร้อยละของการบดอัดระหว่าง 90 ถึง 95 จากสมการที่ 4.1
   5.1 หากได้ค่า CBR ที่ประมาณได้มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนด เลือกดินจากแหล่งดินใหม่
   5.2 หากได้ CBR ที่ประมาณได้มีค่าตามข้อกำหนด ทำการทดสอบจริงเพื่อยืนยันผลการประมาณ
6. ทำการบดอัดดินในสนามที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม โดยใช้จำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัดประมาณ 10 ถึง 12 เที่ยว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมผลการบดอัดในห้องปฏิบัติการและในสนามเพื่อนำเสนอขั้นตอนการทำงานบดอัดที่ประสิทธิภาพ บทสรุปที่สำคัญแสดงได้ดังนี้

1. กราฟการบดอัดของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ที่มีความคละและพิกัด Atterberg ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบทมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับกราฟการบดอัด Ohio และ Modified Ohio
2. ค่า CBR ของดินดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ที่บดอัดที่ประมาณความชื้นเหมาะสม ภายใต้พลังงานการบดอัดต่างๆ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับหน่วยน้ำหนักแห้งต่าง อัตราส่วน CBR และอัตราส่วนหน่วยน้ำหนักแห้งของดินทั้งสามประเภทเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นเอกภาพ ไม่แปรผันตามประเภทของดิน
3. ค่า CBR ของดินประเภทหนึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด CBR ของหินคลุกมีความไวตัวอย่างมากกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ขณะที่ CBR ของดินเม็ดละเอียดมีความไวตัวน้อยที่สุด
4. ความหนาแน่นแห้งในสนามมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด จนกระทั่งถึงหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด จำนวนเที่ยววิ่งที่เพิ่มขึ้นหลังจากนี้ไม่สามารถเพิ่มหน่วยน้ำหนักแห้งได้อีกต่อไป เนื่องจากระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าเข้าใกล้ 1.0
5. จากผลการศึกษาทั้งหมด ผู้วิจัยได้นำเสนอขั้นตอนการบดอัด โดยเริ่มต้นตั้งแต่การเลือกดินตัวอย่าง จนถึงการบดอัดในสนามให้ได้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท ขั้นตอนที่นำเสนอนี้สามารถช่วยลดแรงงานและระยะเวลาในการทดสอบวัสดุ

เอกสารอ้างอิง

สุขสันติ์ หอพิบูลสุข. (2545). **ลักษณะการอัดตัวของดินตะกอนปนดินตะกอน ปนดินเหนียวบดอัดที่ด้านแห้งและด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น.** ปฐพีกลศาสตร์. หน้า 240

สุขสันติ์ หอพิบูลสุข. (2545). **ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินเหนียวปนดินตะกอนบดอัด.** ปฐพีกลศาสตร์. หน้า 241

รุ้งลาวัลย์ ราชัน และ สุขสันติ์ หอพิบูลสุข. **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและพลังงานการบดอัดของดินเหนียวปนดินตะกอนและหินคลุกและเส้น Normalization.** ปฐพีกลศาสตร์. หน้า 243

รุ้งลาวัลย์ ราชัน และ สุขสันติ์ หอพิบูลสุข. (2548). **เส้นกราฟการบดอัดดินที่ได้จากผลการทดสอบและการทำนายของดินเหนียวปนดินตะกอน.** ปฐพีกลศาสตร์. หน้า 248

Proctor. (1930). **ทฤษฎีการบดอัดดิน.** ปฐพีกลศาสตร์. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. หน้า 738 – 739

Hogentogler. (1936). **ทฤษฎีบดอัดดิน.** ปฐพีกลศาสตร์. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. หน้า 739 – 740

Buchanan. (1942). **ทฤษฎีบดอัดดิน.** ปฐพีกลศาสตร์. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. หน้า 740 – 741

Hilf. (1956). **ทฤษฎีบดอัดดิน.** ปฐพีกลศาสตร์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. หน้า 741 – 742

Lambe. (1985). **ทฤษฎีบดอัดดิน.** ปฐพีกลศาสตร์. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. หน้า 742 – 743

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. (2545). **มาตรฐานวัสดุลูกรังชนิดทำผิวจราจร.** มทช.206-2545 กรมทางหลวงชนบท

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. (2545). **มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก.** มทช. 203-2545 กรมทางหลวงชนบท

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา.(2545). **มาตรฐานวิธีทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว.** มทช. (ท) 501.5-2545 กรมทางหลวงชนบท

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. (2545). **มาตรฐานวิธีทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก.** มทช. (ท) 501.6-2545 กรมทางหลวงชนบท

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. (2545). **มาตรฐานวิธีทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ.** มทช. (ท) 501.6-2545 กรมทางหลวงชนบท

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. (2549). **มาตรฐานวิธีทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุเม็ดหยาบ**. มทช. (ท) 501.9-2549 กรมทางหลวงชนบท

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. (2545). **มาตรฐานวิธีทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน.** มทช.(ท) 501.2-2545 กรมทางหลวงชนบท

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. (2545). **มาตรฐานวิธีทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์.** มทช. (ท) 501.3-2545 กรมทางหลวงชนบท

Gurtug, Y and Sridharan, A. (2002). **Prediction of compaction characteristics of fine-grained soils", Geotechnigue**. vol.52, No.10, pp.761-763

Horpibulsuk, s., Miura, N, Nagaraj, T.S. (2005). **Clay-Water Cement ration identity of cement and mixed soft clay**. Journal of Geotechnical and Geoenviroment Engineering, ASCE, vol.131, No.2 (in press)

Johnson, A.W. and Sallberg, J.R. (1960). **Factors Hat influence field compaction of soil.** Bulletin No.272, High survey research board, 206p.

Lambe, T.W. (1962). **Soil stabilization", Chapter 4 of foundation engineering**. G.A. Leonard (ed.), McGraw Hill, New York.

Lee, P.Y. and Suedkamp, R.J. (1972). **Characteristics of irregularly shaped compaction curves of soils.** Highway research record No.381, National academic of sciences, Washington D.C., pp.1-9.

ภาคผนวก

ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

ตารางที่ ภ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการฉาบผิวลาดยางสเลอรี่ซีล (แบบ Para Slurry Seal) สาย สบ.4011 แยกทางหลวงหมายเลข 3222-บ้านชำผักแพว อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี
แหล่งวัสดุ โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน ลงวันที่ 16 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.87	-	-
	3/8”	60.20	-	-
	No.4	41.53	-	-
	No.10	25.00	-	-
	No.40	16.07	-	-
	No.200	6.07	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.316	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.78	-	-
Liguid Limit		NP.	-	-
Plasticity Index		NP.	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		19.94	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมฟื้นฟูทางหลวงชนบทอันเนื่องมาจากเหตุอุทกภัย สาย ลบ.1030 แยก ทล.1-บ้านถลุงเหล็ก อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถมบริเวณโครงการ, ลูกรัง บ่อเขากระทิง จ.ลพบุรี, ลงวันที่ 29 กรกฎาคม 2554
หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.57	88.12	-
	3/8”	59.47	62.40	-
	No.4	40.57	44.76	-
	No.10	25.23	27.84	-
	No.40	16.73	16.72	-
	No.200	6.23	6.08	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.306	2.078	1.866
	Optimum Water Content (%)	5.66	9.09	15.56
Liguid Limit		NP	23.00	-
Plasticity Index		NP	7.56	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.00	32.00	7.10
% Abrasion		19.38	31.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมฟื้นฟูทางหลวงชนบทอันเนื่องมาจากเหตุอุทกภัย สาย ลบ.4128 แยกทางหลวงหมายเลข 3196-บ้านบางลี่ อำเภอเมือง, ท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน ลงวันที่ 24 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.75	-	-
	3/8”	59.47	-	-
	No.4	40.90	-	-
	No.10	25.47	-	-
	No.40	16.73	-	-
	No.200	6.23	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.311	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.67	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	-	-
% Abrasion		20.30	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนน สายแยก ทช.สบ.4005-บ้านสวนมะเดื่อ ตำบลซับสนุ่น อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิม บริเวณก่อสร้าง, ดินถม บ่อดินหน้างาน ลงวันที่ 24 มกราคม 2554
บ่อลูกรังพุแค, หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.70	89.20	-
	3/8”	60.37	63.92	-
	No.4	41.70	45.12	-
	No.10	25.37	23.08	-
	No.40	16.87	15.80	-
	No.200	6.47	6.08	-
	ชนิด	ข.	ข	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.298	1.989	1.690
	Optimum Water Content (%)	5.51	10.46	17.71
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.36	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	30.00	4.60
% Abrasion		19.60	33.62	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแดสฟัลติกคอนกรีต (โดยธี Pavement In Place Recycling) สาย สบ.4018 แยกทางหลวงหมายเลข 3222- บ้านห้วยตะเฆ่ อำเภอก่งคอย จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน ลงวันที่ 24 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.27	-	-
	3/8”	59.90	-	-
	No.4	41.23	-	-
	No.10	25.03	-	-
	No.40	16.53	-	-
	No.200	6.37	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.317	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.69	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	-	-
% Abrasion		21.14	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 6 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยก ทช.สห. 3008-โครงการพระราชดำริบ้านหนองลาด ตำบลพิกุลทอง อำเภอท่าช้าง จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ลูกรัง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี, ลงวันที่ 30 เมษายน 2554
หินคลุก อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.13	88.72	-
	3/8”	59.83	63.04	-
	No.4	41.17	44.48	-
	No.10	24.97	23.36	-
	No.40	16.47	16.40	-
	No.200	6.23	6.80	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.311	2.003	1.796
	Optimum Water Content (%)	5.76	10.34	14.42
Liguid Limit		NP	NP	-
Plasticity Index		NP	NP	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	29.00	6.00
% Abrasion		19.30	31.52	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 7 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการฉาบผิวลาดยางสเลอรี่ซีล (แบบ Para Slurry Seal) สายสบ.4033 แยกททางหลวงหมายเลข 2224-ถ้ำดาวเขาแก้ว อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน ลงวันที่ 16 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.73	-	-
	3/8”	59.67	-	-
	No.4	41.87	-	-
	No.10	25.40	-	-
	No.40	16.90	-	-
	No.200	6.03	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.318	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.66	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	-	-
% Abrasion		20.62	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 8 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการจัดซื้อวัสดุลูกรังเพื่อใช้ซ่อมสร้างผิวทาง ลูกรัง สาย สบ-4040 แยกทางหลวงหมายเลข 2243-บ้านซับขาม อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ลงวันที่ 19 พฤษภาคม 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.63	59.04	-
	3/8”	59.97	62.88	-
	No.4	41.67	44.08	-
	No.10	25.20	23.20	-
	No.40	16.67	16.16	-
	No.200	6.07	5.96	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.305	2.159	1.743
	Optimum Water Content (%)	5.81	7.48	14.63
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.49	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	37.50	4.80
% Abrasion		19.20	26.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 9 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนน แยกทางหลวงหมายเลข 2089-บ้านทะเลวังวัด ตำบลท่าดินดำ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิมบริเวณหน้างาน, ดินถม ต.ท่าดินดำ อ.ชัยบาดาล ลงวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2554 จ.ลพบุรี, หินคลุก หจก.ศิลาแผ่นกดินทองเขาตำบล

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
23.20Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.13	88.88	-
	16.163/8”	60.00	63.20	-
	No.45.96	42.00	44.92	-
	No.10	25.50	23.20	-
	No.40	17.00	16.52	-
	No.200	6.20	6.64	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.313	1.987	1.726
	Optimum Water Content (%)	5.69	9.33	15.59
Liguid Limit		NP	22.20	-
Plasticity Index		NP	6.04	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.00	29.00	6.50
% Abrasion		19.20	31.10	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 10 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนน สาย ลบ.1036 แยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านป่าหวาย ตำบลป่าตาล อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 1 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.53	90.72	-
	3/8”	59.23	62.64	-
	No.4	41.23	44.08	-
	No.10	25.03	23.36	-
	No.40	16.53	16.40	-
	No.200	6.30	6.80	-
	ชนิด	ก	ข	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.313	2.057	1.862
	Optimum Water Content (%)	5.56	7.18	12.35
Liguid Limit		NP	23.00	-
Plasticity Index		NP	5.87	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.50	31	9.75
% Abrasion		18.40	28.00	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ภ 11 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีต สาย สบ.1030 แยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านหนองจักร อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณโครงการ, ลูกรัง บ่อโชคดีมีชัย ลงวันที่ 5 สิงหาคม 2554
หินคลุก โรงโม่ศิลาชัยเจริญ

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	22.92	-
	No.40	16.67	15.88	-
	No.200	6.17	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.291	2.099	1.685
	Optimum Water Content (%)	5.69	9.60	17.90
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	30.00	4.30
% Abrasion		19.80	28.70	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 12 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต (โดยวิธี Pavement In-Place Recycling) สายถนนข้างโรงงาน ทีพีไอ-โพลีน-ผาเสด็จ ตำบลทับกวาง อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถมคันทาง จาก ต.ทับกลาง อ.แก่งคอย ลงวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2554
ลูกรัง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี
หินคลุก อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.57	88.12	-
	3/8”	59.47	62.40	-
	No.4	40.57	44.76	-
	No.10	25.23	27.84	-
	No.40	16.73	16.72	-
	No.200	6.23	6.08	-
	ชนิด	ข.	23.00	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.306	2.078	1.866
	Optimum Water Content (%)	5.66	9.09	15.56
Liguid Limit		NP	23.00	-
Plasticity Index		NP	7.56	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.00	32.00	7.10
% Abrasion		19.38	31.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 13 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีต (โดยวิธี Pavement In-Placed Recycling) สาย สบ.5052 บ้านสหกรณ์ – บ้านหนองหมู อำเภอวิหารแดง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 9 พฤษภาคม 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.50	-	-
	3/8”	60.13	-	-
	No.4	41.00	-	-
	No.10	25.53	-	-
	No.40	16.70	-	-
	No.200	6.37	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.308	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.71	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		20.90	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 14 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการฉาบผิวลาดยางสเลอรี่ซีล (แบบ Para Slurry Seal) สาย สบ.1003 แยกทางหลวงหมายเลข 2-น้ำตกเจ็ดคต อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูล ลงวันที่ 2 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.23	-	-
	3/8”	59.90	-	-
	No.4	40.77	-	-
	No.10	25.57	-	-
	No.40	16.70	-	-
	No.200	6.40	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.307	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.70	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	-	-
% Abrasion		19.72	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ภ 15 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการจัดซื้อวัสดุลูกรังเพื่อใช้ในโครงการซ่อมสร้างผิวทางลูกรัง สาย สบ.4037 แยกทางหลวงหมายเลข 2224-บ้านซับแทน อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 14 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	100.00	-
	3/8”	-	68.80	-
	No.4	-	49.77	-
	No.10	-	34.43	-
	No.40	-	22.13	-
	No.200	-	8.33	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.021	-
	Optimum Water Content (%)	-	10.37	-
Liguid Limit		-	22.80	-
Plasticity Index		-	6.70	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	35.00	-
% Abrasion		-	32.40	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 16 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีต (โดยวิธี Pavement In-Place Recycling) แยกทางหลวงหมายเลข 3016-บ้านท่าลาน อำเภอบ้านหมอ , หนองโดน จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 4 สิงหาคม 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.87	-	-
	3/8”	60.20	-	-
	No.4	41.53	-	-
	No.10	25.00	-	-
	No.40	16.07	-	-
	No.200	6.07	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.316	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.78	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		19.94	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 17 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต (โดยวิธี Pavement In-Place Recycling) สาย สบ.1014 แยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านพระพุทธบาทน้อย อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน ลงวันที่ 9 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.57	-	-
	3/8”	59.47	-	-
	No.4	40.90	-	-
	No.10	25.47	-	-
	No.40	16.73	-	-
	No.200	6.23	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.311	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.67	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	-	-
% Abrasion		20.30	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 18 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีต (โดยวิธี Pavement In-Place Recycling) สาย สบ.6084 บ้านหนองตาเดี้ยง อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 9 พฤษภาคม 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.80	-	-
	3/8”	59.77	-	-
	No.4	42.00	-	-
	No.10	25.53	-	-
	No.40	17.00	-	-
	No.200	6.10	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.315	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.65	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	-	-
% Abrasion		21.12	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 19 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการจัดซื้อวัสดุลูกรังเพื่อใช้ซ่อมสร้างถนนลูกรัง สาย ลบ.4048 แยกทางหลวงหมายเลข 3334-วัดตรัยรัตนมงคล อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 26 กรกฎาคม 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	100.00	-
	3/8”	-	68.00	-
	No.4	-	49.63	-
	No.10	-	34.50	-
	No.40	-	22.07	-
	No.200	-	8.20	-
	ชนิด	-	ก	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.048	-
	Optimum Water Content (%)	-	10.26	-
Liguid Limit		-	23.00	-
Plasticity Index		-	5.92	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	37.00	-
% Abrasion		-	31.14	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 20 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างสะพานข้ามคลองชลประทาน ตำบลบางกระบือ อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณหน้างาน ต.บางกระบือ อ.เมือง ลงวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554
จ.สิงห์บุรี, ลูกรัง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี
หินคลุก โรงโม่อ.ศิริค้าวัสดุ 1997 ต.ขุนโขลน อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.27	88.20	-
	3/8”	59.60	60.48	-
	No.4	40.27	41.76	-
	No.10	25.10	24.20	-
	No.40	16.60	15.24	-
	No.200	6.27	6.64	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.308	2.041	1.700
	Optimum Water Content (%)	5.73	11.59	16.36
Liguid Limit		NP	24.10	-
Plasticity Index		NP	6.94	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	33.00	4.30
% Abrasion		19.60	30.64	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 21 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทาง AC สาย ลบ.1008 แยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านดงพลับ อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ตำบลหน้าพระลาน จ.สระบุรี ลงวันที่ 27 กรกฎาคม 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	100.00	-	-
	3/8”	59.27	-	-
	No.4	41.47	-	-
	No.10	25.03	-	-
	No.40	16.73	-	-
	No.200	5.87	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.314	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.63	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		20.82	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 22 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต (โดยวิธี Pavement In-Place Recycling) สาย สบ.4042 แยกทางหลวงหมายเลข 3041-บ้านท่าหลวง อำเภอเสาไห้ จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 4 สิงหาคม 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.57	-	-
	3/8”	59.47	-	-
	No.4	40.90	-	-
	No.10	25.47	-	-
	No.40	16.73	-	-
	No.200	6.23	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.311	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.67	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	-	-
% Abrasion		20.30	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 23 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมปรับปรุงบริเวณคอขวด : ไหล่ทาง (โดยวิธี Pavement In-Place Recycling) สาย สบ.4005 แยกทางหลวงหมายเลข 2247-บ้านวังม่วง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน ลงวันที่ 17 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.67	-	-
	3/8”	60.33	-	-
	No.4	41.20	-	-
	No.10	26.00	-	-
	No.40	16.70	-	-
	No.200	6.40	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.310	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.71	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		20.84	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 24 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต (โดยวิธี Pavement In-Place Recycling) สายสบ.5043 แยกทางหลวงชนบท สบ.1021-บ้านหนองน้ำใส อำเภอเมือง,หนองแซง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน ลงวันที่ 8 กรกฎาคม 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.30	-	-
	3/8”	59.33	-	-
	No.4	41.40	-	-
	No.10	24.85	-	-
	No.40	16.47	-	-
	No.200	5.70	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.313	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.59	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		20.84	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 25 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนสายแยกทางหลวงหมายเลข 3333-ศูนย์ฝึกอบรมเด็กและเยาวชน ตำบลพัฒนานิคม อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิม บริเวณโครงการ, ดินถม บริเวณโครงการ ลงวันที่ 26 มกราคม 2554
ลูกรัง ซอย 7,24 อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี, หินคลุก หน้าพระลาน

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.13	88.72	-
	3/8”	59.83	63.04	-
	No.4	41.17	44.48	-
	No.10	24.97	23.36	-
	No.40	16.47	16.40	-
	No.200	6.23	6.80	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.311	2.003	1.796
	Optimum Water Content (%)	5.75	10.34	14.42
Liguid Limit		NP	22.20	-
Plasticity Index		NP	6.42	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	29.00	5.00
% Abrasion		19.30	31.52	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 26 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการฉาบผิวลาดยางสเลอรี่ซีล (แบบ Para Slurry Seal) สาย สบ.4036 แยกทางหลวงชนบท สบ.3314-บ้านหนองขันแตก อำเภอหนองแค, เมือง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน ลงวันที่ 16 มิถุนายน 2554

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.63	-	-
	3/8”	59.47	-	-
	No.4	41.67	-	-
	No.10	25.17	-	-
	No.40	16.77	-	-
	No.200	5.97	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.314	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.62	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.50	-	-
% Abrasion		20.24	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 27 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 2212-บ้านโค้งรถไฟ ตำบลศิลาทิพย์ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิม จากหน้างาน, ดินถม บ้านเนินหาด ต.นิคมลำนารายณ์ อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี, ลูกรัง ต.นิคมลำนารายณ์ อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี, หินคลุก หจก.ศิลาแผ่นดินทองเขา ตำบล ต.นาโสม อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี

ลงวันที่ 29 ตุลาคม , 5 พฤศจิกายน 2552

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.40	88.56	-
	3/8”	60.13	63.23	-
	No.4	41.40	44.28	-
	No.10	24.93	23.28	-
	No.40	16.27	16.40	-
	No.200	6.13	6.96	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.300	2.065	1.693
	Optimum Water Content (%)	5.80	11.71	18.92
Liguid Limit		NP	22.70	-
Plasticity Index		NP	6.43	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	34.00	5.00
% Abrasion		21.56	31.12	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 28 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 2243-บ้านปฏิรูป ตำบลซับนุ่น อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถมหน้างานก่อสร้าง, ลงวันที่ 18, 21 พฤศจิกายน 2554

ลูกรังบ่อลูกรังซับสนุ่น กม.13 สาย 2247 (ปากช่อง-ลำสมพุง)

หินคลุก โรงโม่บริษัทสินชัย (1992) จำกัด

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	92.67	89.24	-
	3/8”	60.00	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	23.12	-
	No.40	16.67	16.20	-
	No.200	6.33	5.96	-
	ชนิด	ข.	ข	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.317	2.025	1.709
	Optimum Water Content (%)	5.73	9.81	18.58
Liguid Limit		NP	22.80	-
Plasticity Index		NP	6.04	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	32.00	-
% Abrasion		20.46	31.06	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 29 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 2224-บ้านหนองขันแตก ตำบลโคกตูม อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิม บริเวณโครงการ, ดินถม อ.หนองแค ลงวันที่ 23 พฤศจิกายน 2552
จ.สระบุรี, ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค, หินคลุก โรงโม่หิน
หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.13	88.72	-
	3/8”	59.83	63.04	-
	No.4	41.17	44.48	-
	No.10	24.97	23.36	-
	No.40	16.47	16.40	-
	No.200	6.23	6.80	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.311	2.003	1.796
	Optimum Water Content (%)	5.75	10.34	14.42
Liguid Limit		NP	22.20	-
Plasticity Index		NP	6.42	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	29.00	6.00
% Abrasion		19.30	31.52	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 30 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามคลองมวกเหล็ก อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิมบริเวณโครงการ, ดินถม บ่อตำบลคำพราน ลงวันที่ 9 ธันวาคม 2552
ลูกรัง บ่อตำบลพุแค

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	88.96	-
	3/8”	-	63.28	-
	No.4	-	44.48	-
	No.10	-	23.28	-
	No.40	-	16.40	-
	No.200	-	6.56	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.028	1.723
	Optimum Water Content (%)	-	9.73	16.84
Liguid Limit		-	22.30	-
Plasticity Index		-	6.03	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	31.00	5.00
% Abrasion		-	30.40	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 31 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการฉาบก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายบ้านช่องสาลิกา-บ้านซอยช่องสาลิกา อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 17 ธันวาคม 2552

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.17	91.16	-
	3/8”	59.67	65.00	-
	No.4	41.67	46.12	-
	No.10	25.20	23.72	-
	No.40	16.50	15.88	-
	No.200	6.00	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.297	1.998	1.695
	Optimum Water Content (%)	5.63	7.52	18.82
Liguid Limit		NP	22.60	-
Plasticity Index		NP	6.30	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.50	28.00	-
% Abrasion		19.38	30.88	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 32 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 3123-บ้านพุน้อย ตำบลหนองมะโมง อำเภอหนองมะโมง จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินถม ต.หนองมะโมง อ.หนองมะโมง ลงวันที่ 13 ตุลาคม 2552
จ.ชัยนาท, ลูกรัง ต.หนองมะโมง อ.หนองมะโมง
จ.ชัยนาท, หินคลุก โรงโม่หินรุ่งเรืองผลศิลา อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.80	90.16	-
	3/8”	59.67	64.00	-
	No.4	41.67	44.92	-
	No.10	25.50	23.20	-
	No.40	16.67	16.12	-
	No.200	6.20	6.27	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.314	2.165	1.887
	Optimum Water Content (%)	5.40	9.67	15.66
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.56	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.00	38.00	7.00
% Abrasion		22.00	27.50	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 33 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายบ้านหนองบัว-บ้านซอย 16 สาย 3 ซ้าย ตำบลพัฒนานิคม อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิม ต.พัฒนานิคม อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี ลงวันที่ 27 ตุลาคม 2552
ดินถม ต.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี, ลูกรัง อ.พัฒนานิคม
จ.ลพบุรี, หินคลุก ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.63	59.04	-
	3/8”	59.97	62.88	-
	No.4	41.67	44.08	-
	No.10	25.20	23.20	-
	No.40	16.67	16.16	-
	No.200	6.07	5.96	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.305	2.159	1.743
	Optimum Water Content (%)	5.81	7.48	14.62
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.49	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	37.50	4.80
% Abrasion		19.20	26.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 34 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 2243-บ้านซับสนุ่น ตำบลซับสนุ่น อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิมบ่อดินหน้างาน, ดินถม บ่อดินหน้างาน ลงวันที่ 2 พฤศจิกายน 2552
ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค, หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.67	88.96	-
	3/8”	60.37	63.28	-
	No.4	41.37	55.48	-
	No.10	24.97	23.28	-
	No.40	16.47	16.40	-
	No.200	6.13	6.56	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.297	2.028	1.723
	Optimum Water Content (%)	5.77	9.73	16.84
Liguid Limit		NP	22.30	-
Plasticity Index		NP	6.03	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	31.00	5.00
% Abrasion		20.84	30.40	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 35 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 2256-บ้านวังอ่าง ตำบลบัวชุม อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิม หน้างาน, ดินถม สายทางบ่อเขาตะแคง ลงวันที่ 29 ตุลาคม 2552
จ.ลพบุรี, หินคลุก หจก.ศิลาแผ่นดินทองเขาตำบล
ต.นาโสม อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	87.80	-
	3/8”	59.67	60.48	-
	No.4	40.33	41.76	-
	No.10	25.17	23.96	-
	No.40	16.67	15.00	-
	No.200	6.33	6.40	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.296	2.041	1.723
	Optimum Water Content (%)	5.68	11.59	16.84
Liguid Limit		NP	24.20	-
Plasticity Index		NP	7.04	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	33.00	5.20
% Abrasion		21.50	32.64	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 36 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 3196-บ้านหนองระแหง ตำบลหนองเต่า อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดิน อ.บ้านหมี่ จ.ลพบุรี, ลูกรัง บ่อพุคำจาน จ.สระบุรี ลงวันที่ 16 ตุลาคม 2552
หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.13	88.88	-
	3/8”	60.00	63.20	-
	No.4	42.00	44.92	-
	No.10	25.50	23.20	-
	No.40	17.00	16.52	-
	No.200	6.20	6.64	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.313	1.987	1.726
	Optimum Water Content (%)	5.69	9.33	15.59
Liguid Limit		NP	22.20	-
Plasticity Index		NP	6.04	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.00	29.00	6.50
% Abrasion		19.20	31.10	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 37 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 2340-บ้านด่านไทร ตำบลยางราก อำเภอโคกเจริญ จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดิน ตำบลยางราก อำเภอโคกเจริญ จังหวัดลพบุรี ลงวันที่ 27 ตุลาคม 2552
ลูกรัง อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี
หินคลุก เขาตำบล อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	22.92	-
	No.40	16.67	15.88	-
	No.200	6.17	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.296	2.185	1.772
	Optimum Water Content (%)	5.71	10.64	16.37
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	38.00	6.20
% Abrasion		20.42	28.70	-

หมายเหตุ *Mod. หมายถึง Modified Proctor Test*
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 38 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยก ทช.สบ. 4005-บ้านสวนมะเดื่อ ตำบลซับสนุ่น อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินเดิม จากหน้างาน กม.1+500 เก็บจาก CL ลงวันที่ 28 ตุลาคม 2552

ดินถม จากหน้างาน กม.3+000 Offset จาก CL

ไปทางซ้าย 8 m, ลูกรัง จากหน้างาน กม.2+875 Offset จาก CL ไปทางขวา 300 m

หินคลุก จาก โรงโม่หินศิลาเลิศจิตร อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.10	89.04	-
	3/8”	60.00	63.24	-
	No.4	42.17	44.44	-
	No.10	25.83	22.68	-
	No.40	17.17	15.92	-
	No.200	6.37	6.12	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.303	2.002	1.824
	Optimum Water Content (%)	5.54	10.38	14.10
Liguid Limit		NP	22.50	-
Plasticity Index		NP	5.24	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	30.00	6.20
% Abrasion		19.94	31.16	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 39 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายบ้านใหญ่-สะพาน วัดพระแก้ว ตำบลบางขุด อำเภอสรรคบุรี จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินเดิม ต.บางขุด อ.สรรคบุรี จ.ชัยนาท ลงวันที่ 16 ตุลาคม 2552
ดินถม บ้านดอนอรัญญิก อ.สรรคบุรี จ.ชัยนาท
ลูกรัง บ้านหนองหอย ต.ไพรนกยูง อ.หันคา จ.ชัยนาท
หินคลุก โรงโม่หินศิลาลานทอง อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	22.92	-
	No.40	16.67	15.88	-
	No.200	6.17	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.291	2.186	1.744
	Optimum Water Content (%)	5.69	7.40	17.01
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	38.00	5.10
% Abrasion		19.80	28.70	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 40 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนน สาย ลบ.4062 แยกทางหลวงหมายเลข 2340-บ้านยางราก อำเภอโคกเจริญ จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 10 มิถุนายน 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	100.00	-
	3/8”	-	-	-
	No.4	-	61.44	-
	No.10	-	44.44	-
	No.40	-	28.12	-
	No.200	-	8.28	-
	ชนิด	-	ค.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.231	-
	Optimum Water Content (%)	-	8.67	-
Liguid Limit		-	22.00	-
Plasticity Index		-	5.56	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	43.50	-
% Abrasion		-	26.90	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ภ 41 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวลาดยางแอสฟัลติกคอนกรีต สาย ชน.4009 แยกทางหลวงหมายเลข 3213-บ้านพุน้อย อำเภอหนองมะโมง จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ โรงโม่เขาปูน จังหวัดอุทัยธานี ลงวันที่ 10 พฤษภาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.13	-	-
	3/8”	60.00	-	-
	No.4	41.67	-	-
	No.10	25.67	-	-
	No.40	16.67	-	-
	No.200	6.53	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.283	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.42	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		85.50	-	-
% Abrasion		22.66	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ภ 42 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยกทางหลวงหมายเลข 3028-บ้านเขาสาลิกา อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินหน้างานใกล้สถานที่ก่อสร้าง ลงวันที่ 5 พฤศจิกายน 2552

ลูกรัง พุคำจาน จ.สระบุรี, หินคลุก สหศิลาเพิ่มพูน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.33	89.76	-
	3/8”	60.03	64.08	-
	No.4	40.83	44.48	-
	No.10	24.77	23.48	-
	No.40	16.60	16.52	-
	No.200	6.47	6.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	1.818
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.301	2.001	15.84
	Optimum Water Content (%)	5.73	10.70	-
Liguid Limit		NP	22.10	-
Plasticity Index		NP	6.25	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	31.00	6.20
% Abrasion		19.00	32.20	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 43 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง ผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีต สายแยกทางหลวงหมายเลข 3016 (กม.2+400)-บ้านป่าหวาย ตำบลป่าตาด อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม หน้างานใกล้ที่ก่อสร้าง ลูกรัง พุแค จ.สระบุรี ลงวันที่ 15 กันยายน 2552
หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.67	89.60	-
	3/8”	59.67	63.04	-
	No.4	40.17	44.24	-
	No.10	25.00	22.36	-
	No.40	16.70	15.24	-
	No.200	6.20	5.32	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.303	2.056	1.948
	Optimum Water Content (%)	5.44	8.94	12.49
Liguid Limit		NP	22.60	-
Plasticity Index		NP	6.18	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	30.00	6.80
% Abrasion		19.30	29.60	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 44 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง ผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีต สายบ้านโคกกระเทียม หมู่ที่ 5-บ้านหนองกอไผ่ ตำบลโคกกระเทียม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม หน้างานใกล้ที่ก่อสร้าง, ลูกรัง พุแค จ.สระบุรี ลงวันที่ 15 กันยายน 2552
หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.83	90.00	-
	3/8”	59.67	62.68	-
	No.4	40.33	44.44	-
	No.10	25.17	22.36	-
	No.40	16.67	15.24	-
	No.200	6.13	5.80	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.302	2.083	
	Optimum Water Content (%)	5.30	8.41	
Liguid Limit		NP	22.90	-
Plasticity Index		NP	5.64	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	30.00	
% Abrasion		19.20	32.61	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 45 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยางผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีต สาย ลบ 5072 สายบ้านไผ่หน้ากระดาน – บ้านข่อยใต้ ตำบลโพธิ์ตรุ อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถมหน้างานใกล้ที่ก่อสร้าง, ลูกรัง พุแค จ.สระบุรี, ลงวันที่ 15 กันยายน 2552
หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.20	88.80	-
	3/8”	59.87	61.48	-
	No.4	40.53	43.44	-
	No.10	25.37	22.96	-
	No.40	16.87	15.84	-
	No.200	6.20	6.00	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.304	2.095	1.696
	Optimum Water Content (%)	5.34	8.54	18.86
Liguid Limit		NP	22.20	-
Plasticity Index		NP	6.04	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	30.00	4.70
% Abrasion		19.70	30.90	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 46 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างทางลาดยางผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีต สาย ลบ.5047 บ้านช่องสาลิกา-บ้านชอนน้อย ตำบลช่องสาลิกา อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ตำบลช่องสาลิกา จ.ลพบุรี, ลูกรัง อ.พัฒนานิคม ลงวันที่ 15 กันยายน 2552 จ.ลพบุรี, หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.57	88.12	-
	3/8”	59.47	62.40	-
	No.4	40.57	44.76	-
	No.10	25.23	27.84	-
	No.40	16.73	16.72	-
	No.200	6.23	6.08	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.306	2.078	1.866
	Optimum Water Content (%)	5.66	9.09	15.56
Liguid Limit		NP	23.00	-
Plasticity Index		NP	7.56	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.00	32.00	7.10
% Abrasion		19.38	31.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 47 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยกทางหลวงหมายเลข 3028-บ้านเขาสาลิกา อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินหน้างานใกล้สถานที่ก่อสร้าง ลงวันที่ 12 ตุลาคม 2552

ลูกรัง พุคำจาน จ.สระบุรี, หินคลุก สหศิลาเพิ่มพูน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.83	89.00	-
	3/8”	60.17	63.72	-
	No.4	41.50	44.92	-
	No.10	25.17	22.88	-
	No.40	16.67	15.60	-
	No.200	6.60	5.88	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.297	1.988	1.688
	Optimum Water Content (%)	5.50	10.48	17.71
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.73	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	30.00	4.60
% Abrasion		19.40	33.02	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 48 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างผิวแอสฟัลติกคอนกรีต สายบ้านท่าควาย – บ้านไผ่แหลม อำเภอเมือง จังหวัด ลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม อ.เมือง จ.ลพบุรี, ลูกรัง พุคำจาน จ.สระบุรี, ลงวันที่ 12 ตุลาคม 2552
หินคลุก โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.53	88.48	-
	3/8”	59.87	61.24	-
	No.4	40.53	43.20	-
	No.10	25.37	23.44	-
	No.40	17.07	16.24	-
	No.200	6.40	6.40	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.301	1.992	1.685
	Optimum Water Content (%)	5.45	9.86	19.00
Liguid Limit		NP	22.80	-
Plasticity Index		NP	5.54	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	29.00	4.50
% Abrasion		20.70	32.64	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 49 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยางผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีต สาย ลบ. 5050 บ้านช่องสาลิกา – บ้านใหม่โพธิ์ทอง ตำบลช่องสาลิกา อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ตำบลช่องสาลิกา จ.ลพบุรี, ลูกรัง อ.พัฒนานิคม ลงวันที่ 28 กันยายน 2552 จ.ลพบุรี, หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	88.20	-
	3/8”	59.67	60.88	-
	No.4	40.33	42.08	-
	No.10	25.17	23.88	-
	No.40	16.67	15.00	-
	No.200	6.33	6.20	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.308	2.130	1.917
	Optimum Water Content (%)	5.68	8.48	14.00
Liguid Limit		NP	23.50	-
Plasticity Index		NP	6.06	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	34.00	8.00
% Abrasion		19.64	29.70	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 50 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยางผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีต สาย เข้าแหล่งท่องเที่ยวและวิถีชีวิตพิพิธภัณฑ์ไทยเบิ้ง ตำบลโคกสลุง อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ หน้าพระลาน จ.สระบุรี ลงวันที่ 20 เมษายน 2552

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.83	-	-
	3/8”	59.67	-	-
	No.4	40.27	-	-
	No.10	25.10	-	-
	No.40	16.83	-	-
	No.200	6.30	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.302	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.48	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	-	-
% Abrasion		19.56	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 51 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยางผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีต สาย ลบ. 4037 แยกทางหลวงหมายเลข 3196-บ้านยางอิฐ ตำบลบ้านชี อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ดิน ต.บ้านชี อ.บ้านหมี่ จ.ลพบุรี, ลูกรัง เขากระทิง ลงวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2553
อ.หนองม่วง จ.ลพบุรี, หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.53	88.84	-
	3/8”	59.63	62.88	-
	No.4	41.33	44.28	-
	No.10	25.13	23.40	-
	No.40	16.67	16.48	-
	No.200	6.20	6.16	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.294	2.117	1.756
	Optimum Water Content (%)	5.82	9.14	15.36
Liguid Limit		NP	22.10	-
Plasticity Index		NP	5.57	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	35.00	4.80
% Abrasion		20.20	27.00	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 52 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สามแยกทางหลวงหมายเลข 3028-บ้านเขาสาลิกา อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	91.13	-	-
	3/8”	61.77	-	-
	No.4	42.43	-	-
	No.10	25.33	-	-
	No.40	14.17	-	-
	No.200	6.20	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.300	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.50	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	-	-
% Abrasion		20.40	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ภ 53 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างถนนลาดยางผิวจราจรแอสฟัลท์ติก สายหมู่ที่ 3 ตำบลท่าศาลา อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี ลงวันที่ 12 มกราคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.07	-	-
	3/8”	59.67	-	-
	No.4	40.33	-	-
	No.10	25.00	-	-
	No.40	16.67	-	-
	No.200	6.47	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.311	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.66	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	-	-
% Abrasion		18.80	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 54 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมถนนลาดยางแอสฟัลท์ติกคอนกรีต สาย ลบ.5006 บ้านท่าวุ้ง-บ้านหนองปลาดุก อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ลงวันที่ 17 มีนาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.17	-	-
	3/8”	60.50	-	-
	No.4	41.50	-	-
	No.10	25.17	-	-
	No.40	16.67	-	-
	No.200	6.40	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.306	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.45	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	
% Abrasion		19.78	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 55 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการปรับปรุงภูมิทัศน์ สาย ลบ. 2034 แยกทางหลวงหมายเลข 21-บ้านน้ำชับ ตำบลช่องสาลิกา อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

แหล่งวัสดุ ลูกรัง ต.พุแค อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ลงวันที่ 17 มีนาคม 2553
หินคลุก โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.93	87.80	-
	3/8”	60.07	60.48	-
	No.4	41.73	41.76	-
	No.10	25.07	23.96	-
	No.40	16.60	15.00	-
	No.200	6.27	6.40	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.294	2.030	-
	Optimum Water Content (%)	5.84	9.14	-
Liguid Limit		NP	23.70	-
Plasticity Index		NP	6.77	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	32.00	-
% Abrasion		21.60	23.00	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 56 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยก ทช.4050-บ้านคูเมือง ตำบลห้วยชัน อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 21 ตุลาคม 2552

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	22.92	-
	No.40	16.67	15.88	-
	No.200	6.17	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.291	2.099	1.685
	Optimum Water Content (%)	5.69	9.60	17.90
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	30.00	4.30
% Abrasion		19.80	28.70	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 57 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยกทางหลวงหมายเลข 311-บ้านดอนกระต่าย อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ตำบลบางกระบือ, ลูกรัง พุแค, หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน จังหวัดสระบุรี ลงวันที่ 21 ตุลาคม 2552

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	22.92	-
	No.40	16.67	15.88	-
	No.200	6.17	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.293	2.091	1.730
	Optimum Water Content (%)	5.69	7.70	17.30
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		87.00	29.00	4.80
% Abrasion		19.80	28.70	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 58 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายบ้านโพธิ์หอม-บ้านห้วยชุมแสง ตำบลโพธิ์ชนไก่ อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม จากตำบลต้นโพธิ์ อำเภอเมือง จ.สิงห์บุรี ลงวันที่ 8 ธันวาคม 2552
หินคลุก จากตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.73	-	-
	3/8”	60.13	-	-
	No.4	42.13	-	-
	No.10	25.60	-	-
	No.40	16.67	-	-
	No.200	6.13	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.300	-	1.603
	Optimum Water Content (%)	5.71	-	21.80
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	4.10
% Abrasion		19.22	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 59 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 311- บ้านระนาม ตำบลน้ำตาล อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ต.น้ำตาล อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ลงวันที่ 30 ตุลาคม 2552

ลูกรัง ต.พุแค อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

หินคลุก ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	22.92	-
	No.40	16.67	15.88	-
	No.200	6.17	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.291	2.186	1.744
	Optimum Water Content (%)	5.69	7.40	17.01
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	38.00	5.10
% Abrasion		19.80	28.70	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 60 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการสอบราคาจัดซื้อวัสดุก่อสร้าง สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดสิงห์บุรี อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 18 พฤษภาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.70	89.20	-
	3/8”	60.37	63.92	-
	No.4	41.70	45.12	-
	No.10	25.37	23.08	-
	No.40	16.87	15.80	-
	No.200	6.47	6.08	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.298	1.991	-
	Optimum Water Content (%)	5.52	10.46	-
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.36	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	30.00	-
% Abrasion		19.60	33.62	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 61 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สายไผ่ขาด หมู่ที่ 4 ตำบลงิ้วราย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ต.งิ้วราย อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ลงวันที่ 19 มกราคม 2553
ลูกรัง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	88.88	-
	3/8”	-	63.20	-
	No.4	-	44.92	-
	No.10	-	23.20	-
	No.40	-	16.52	-
	No.200	-	6.64	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	1.987	1.726
	Optimum Water Content (%)	-	9.33	15.59
Liguid Limit		-	NP	-
Plasticity Index		-	NP	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	29.00	6.50
% Abrasion		-	31.10	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 62 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการปรับปรุงภูมิทัศน์ สาย สห.3026 แยกทางหลวงหมายเลข 311-แยกทางหลวงหมายเลข 3030 อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดิน ต.ต้นโพธิ์ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี, ลงวันที่ 22 มีนาคม 2553
ลูกรัง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี, หินคลุก อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.13	88.72	-
	3/8”	59.83	63.04	-
	No.4	41.17	44.48	-
	No.10	24.97	23.36	-
	No.40	16.47	16.40	-
	No.200	6.23	6.80	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.307	2.003	1.777
	Optimum Water Content (%)	5.75	10.34	14.42
Liguid Limit		NP	22.30	-
Plasticity Index		NP	5.84	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	29.00	5.50
% Abrasion		18.60	29.80	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 63 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก สายบ้านดงทอง หมู่ที่ 11 ตำบลทับยา อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ต.ทับยา อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ลงวันที่ 19 มกราคม 2553
ลูกรัง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	89.16	-
	3/8”	-	63.00	-
	No.4	-	44.12	-
	No.10	-	22.92	-
	No.40	-	15.88	-
	No.200	-	5.76	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.006	1.772
	Optimum Water Content (%)	-	10.27	16.37
Liguid Limit		-	22.00	-
Plasticity Index		-	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	29.00	6.20
% Abrasion		-	28.70	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 64 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตราย บริเวณย่านชุมชน สาย สห.4014 แยกทางหลวงหมายเลข 3033-บ้านสวนมะม่วง อำเภอพรหมบุรี จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ต.โรงช้าง อ.พรหมบุรี จ.สิงห์บุรี ลงวันที่ 21 พฤษภาคม 2553
ลูกรัง ต.พุแค อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี
หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	22.92	-
	No.40	16.67	15.88	-
	No.200	6.17	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.296	2.048	1.772
	Optimum Water Content (%)	5.71	7.55	16.37
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	30.00	6.20
% Abrasion		20.42	28.70	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 65 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวลาดยางแอสฟัลติกคอนกรีต สาย สห.4036 แยกทางหลวงหมายเลข 3030-แยกทางหลวงหมายเลข 3032 อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่ อ.ศิริค่าวัสดุ 1997 ต.ขุนโขลน อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี ลงวันที่ 20 มีนาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.33	-	-
	3/8”	60.03	-	-
	No.4	40.83	-	-
	No.10	24.77	-	-
	No.40	16.60	-	-
	No.200	6.47	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.311	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.73	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		93.00	-	-
% Abrasion		19.00	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 66 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก สายบ้านทางาม หมู่ที่ 7 อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ต.ท่างาม อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ลงวันที่ 19 มกราคม 2553
ลูกรัง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	87.80	-
	3/8”	-	60.48	-
	No.4	-	41.76	-
	No.10	-	23.96	-
	No.40	-	15.00	-
	No.200	-	6.40	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	1.998	1.744
	Optimum Water Content (%)	-	10.67	16.10
Liguid Limit		-	24.20	-
Plasticity Index		-	7.04	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	28.00	5.20
% Abrasion		-	32.64	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 67 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก สายบ้านแหลมแค หมู่ที่ 4 ตำบลแม่ลา อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ต.แม่ลา อ.บางระจัน จ.สิงห์บุรี ลงวันที่ 19 มกราคม 2553
ลูกรัง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	89.24	-
	3/8”	-	63.00	-
	No.4	-	44.12	-
	No.10	-	23.12	-
	No.40	-	16.20	-
	No.200	-	5.96	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.025	1.709
	Optimum Water Content (%)	-	9.81	18.53
Liguid Limit		-	22.80	-
Plasticity Index		-	6.04	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	32.00	5.00
% Abrasion		-	31.06	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 68 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก สายบ้านบางตาโฉม หมู่ที่ 8 ตำบลท่างาม อำเภออินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม ต.งิ้วราย อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ลงวันที่ 20 มกราคม 2553
ลูกรัง อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	89.04	-
	3/8”	-	62.88	-
	No.4	-	44.08	-
	No.10	-	23.20	-
	No.40	-	16.16	-
	No.200	-	5.96	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.013	1.743
	Optimum Water Content (%)	-	11.89	14.62
Liguid Limit		-	22.00	-
Plasticity Index		-	5.49	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	30.00	4.80
% Abrasion		-	26.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 69 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยก ทช.นย.3012-คลอง14 ตำบลบางปลากด อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

แหล่งวัสดุ หน้าพระลาน จ.สระบุรี ลงวันที่ 26 มกราคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.27	-	-
	3/8”	60.00	-	-
	No.4	41.60	-	-
	No.10	25.13	-	-
	No.40	16.47	-	-
	No.200	6.33	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.294	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.80	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	-	-
% Abrasion		21.52	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 70 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวถนนลาดยางแอสฟัลท์คอนกรีต สายแยกทางหลวงหมายเลข 305-บ้านท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

แหล่งวัสดุ โรงโม่หินหน้าพระลาน ลงวันที่ 22 มกราคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.53	-	-
	3/8”	59.87	-	-
	No.4	40.53	-	-
	No.10	25.37	-	-
	No.40	17.07	-	-
	No.200	6.40	-	-
	ชนิด	ข	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.301	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.45	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	-	-
% Abrasion		20.70	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 71 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยางแบบ ASPHALTIC CONCRETE สายบ้านท่าหุบ-บางปรัง ตำบลดงละคร อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

แหล่งวัสดุ ลูกรัง โคกกรวด, หินคลุก หน้าพระลาน จ.สระบุรี ลงวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.33	89.16	-
	3/8”	59.67	62.96	-
	No.4	41.67	43.68	-
	No.10	25.20	22.68	-
	No.40	16.67	15.68	-
	No.200	6.17	5.96	-
	ชนิด	ข	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.297	2.132	-
	Optimum Water Content (%)	5.71	10.38	-
Liguid Limit		NP	22.10	-
Plasticity Index		NP	6.28	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	38.00	-
% Abrasion		33.94	33.94	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 72 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการบำรุงทางสายหลัก สาย นย..3001 แยก ทล.305-บ้านบางน้ำเปรี้ยว อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

แหล่งวัสดุ ทราย อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี, ดิน ต.องครักษ์ จ.นครนายก ลงวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2553
ลูกรัง ต.พุแค อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	90.16	-
	3/8”	-	64.88	-
	No.4	-	45.88	-
	No.10	-	24.88	-
	No.40	-	17.20	-
	No.200	-	7.76	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.139	1.714
	Optimum Water Content (%)	-	8.31	16.55
Liguid Limit		-	22.70	-
Plasticity Index		-	5.69	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	37.00	5.30
% Abrasion		-	27.50	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 73 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 3034-บ้านเขาดิน ตำบลเขาวง อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดินหน้างาม, ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค ลงวันที่ 29 กันยายน 2552
หินคลุก โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน อ.พระพุทธบาท
จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.83	88.96	-
	3/8”	60.00	63.20	-
	No.4	41.67	44.92	-
	No.10	25.17	23.16	-
	No.40	16.67	16.12	-
	No.200	6.17	6.16	-
	ชนิด	ข	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.312	1.970	1.711
	Optimum Water Content (%)	5.61	11.62	20.24
Liguid Limit		NP	22.30	-
Plasticity Index		NP	5.59	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	28.50	4.90
% Abrasion		19.50	32.30	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 74 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านตาลเสี้ยน (ตอนที่ 2) ตำบลหนองแก อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดินหน้างาน, ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค ลงวันที่ 29 กันยายน 2552
หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน อ.พระพุทธบาท
จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.73	88.88	-
	3/8”	59.67	63.12	-
	No.4	41.67	44.36	-
	No.10	25.20	22.76	-
	No.40	16.80	15.80	-
	No.200	6.03	5.80	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.315	2.064	
	Optimum Water Content (%)	5.56	9.16	
Liguid Limit		NP	22.50	-
Plasticity Index		NP	5.20	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.50	33.00	
% Abrasion		19.82	28.50	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 75 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สาย สบ.4039 แยกทางหลวงหมายเลข 2243-บ้านซับนิยม อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดิน ต.ซับสนุ่น อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี ลงวันที่ 21 ตุลาคม 2552
หินคลุก โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน ต.หน้าพระลาน
อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.40	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	23.04	-
	No.40	16.67	16.00	-
	No.200	6.10	5.88	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.307	1.969	1.698
	Optimum Water Content (%)	5.64	9.93	14.75
Liguid Limit		NP	22.70	-
Plasticity Index		NP	5.13	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.00	29.00	4.90
% Abrasion		19.30	30.44	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 76 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านตาลเสี้ยน (ตอนที่ 1) ตำบลหนองแก อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดินผู้ใหญ่บ้าน ม.10, ดินลูกรัง บ่อลูกรังพุแค ลงวันที่ 9 ธันวาคม 2552
หินคลุก บริษัทเหมืองหินศิริพัฒนาหน้าพระลาน จำกัด

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.90	88.92	-
	3/8”	60.23	62.76	-
	No.4	41.90	44.12	-
	No.10	25.43	23.28	-
	No.40	16.90	16.24	-
	No.200	6.17	6.00	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.297	2.026	1.938
	Optimum Water Content (%)	5.74	8.73	12.28
Liguid Limit		NP	22.20	-
Plasticity Index		NP	4.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	30.00	7.50
% Abrasion		18.80	32.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 77 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายแยกทางหลวงหมายเลข 2243-บ้านซับสมบูรณ์ ตำบลซับสนุ่น อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม แหล่งในสายทาง, ลูกรัง ตำบลซับสนุ่น ลงวันที่ 22 ตุลาคม 2522

หินคลุก B โรงโม่หิน บริษัท สหศิลาเพิ่มพูน จำกัด

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.17	88.92	-
	3/8”	59.67	62.36	-
	No.4	41.67	43.88	-
	No.10	25.20	23.08	-
	No.40	16.77	16.28	-
	No.200	6.27	6.16	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.302	1.978	1.779
	Optimum Water Content (%)	5.50	9.98	14.14
Liguid Limit		NP	22.60	-
Plasticity Index		NP	6.13	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	31.00	5.80
% Abrasion		19.00	31.14	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 78 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างทาง สาย (บ้านไร่กลางนา-บ้านหนองจิกเหนือ) บ้านโนนแดง ตำบลหนองจิก อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณโครงการ, ลูกรัง บ่อลูกรังสอนโทน ลงวันที่ 28 ตุลาคม 2552
อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี, หินคลุก โรงโม่หิน
หจก.ธนชาติคอนสตรัคชั่น จำกัด อ.หน้พระลาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	92.67	89.24	-
	3/8”	60.00	63.00	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.20	23.12	-
	No.40	16.67	16.20	-
	No.200	6.33	5.96	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.317	2.025	1.709
	Optimum Water Content (%)	5.73	9.81	18.58
Liguid Limit		NP	22.80	-
Plasticity Index		NP	6.04	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	32.00	5.00
% Abrasion		20.46	31.06	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 79 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สายบ้านดงน้ำจ่า-บ้านตะพานหิน ตำบลคำพราน อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณดินหน้างาน, หินคลุก โรงโม่ สหศิลาเพิ่มพูน อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี ลงวันที่ 29 กันยายน 2552

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.63	-	-
	3/8”	59.47	-	-
	No.4	41.67	-	-
	No.10	25.23	-	-
	No.40	16.80	-	-
	No.200	5.97	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.309	-	
	Optimum Water Content (%)	5.63	-	
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	-	
% Abrasion		18.90	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 80 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยางผิว Asphaltic Concrete สายคันคลองส่งน้ำชลประทาน RMC-P1 หมู่ที่ 1-6 ตำบลศิลาดาน อำเภอมโนรมย์ จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินถมบริเวณใกล้สถานที่ก่อสร้าง, ลูกรัง เขาใบไม้ ลงวันที่ 26 มกราคม 2553
อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์, หินคลุก โรงโม่ศิลาลานทอง
อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-		-
	1”	90.33	89.16	-
	3/8”	59.67	63.00	-
	No.4	41.67	43.72	-
	No.10	25.20	22.72	-
	No.40	16.67	15.68	-
	No.200	6.17	5.96	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.287	2.132	1.763
	Optimum Water Content (%)	5.71	7.65	16.37
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.37	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	38.00	5.80
% Abrasion		21.32	29.80	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 81 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างถนนลาดยาง สาย ชน.4010 แยกทางหลวงหมายเลข 3213-บ้านน้ำพุ อำเภอหนองมะโมง จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ โรงโม่หินด่านช้าง อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี ลงวันที่ 18 มกราคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	-	-
	3/8”	59.67	-	-
	No.4	40.33	-	-
	No.10	25.17	-	-
	No.40	16.67	-	-
	No.200	6.33	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.296	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.68	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	-	-
% Abrasion		21.50	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 82 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซ่อมสร้างผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต ชน. 4010 แยกทางหลวงหมายเลข 3213-บ้านน้ำพุ อำเภอหนองมะโมง จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ โรงโม่ด่านช้าง อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี ลงวันที่ 11 สิงหาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.60	-	-
	3/8”	60.33	-	-
	No.4	41.60	-	-
	No.10	25.13	-	-
	No.40	16.47	-	-
	No.200	6.33	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.284	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.80	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		87.00	-	-
% Abrasion		23.12	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ภ 83 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยางผิว Asphaltic Concrete สายแยก ทช.ชน.-5016-บ้านวังหมัน ตำบลวังหมัน อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณใกล้สถานที่ก่อสร้าง, ลงวันที่ 26 มกราคม 2553

ลูกรัง หนองมะโมง อ.หนองมะโมง จ.ชัยนาท

หินคลุก โรงโม่นครสวรรค์อู่ทอง อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.60	88.60	-
	3/8”	60.33	63.32	-
	No.4	41.60	44.24	-
	No.10	25.13	23.28	-
	No.40	16.47	16.36	-
	No.200	6.33	6.92	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.284	2.118	1.734
	Optimum Water Content (%)	5.80	9.09	14.84
Liguid Limit		NP	22.20	-
Plasticity Index		NP	6.00	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		87.00	34.50	6.20
% Abrasion		23.12	29.50	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 84 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างก่อสร้างถนนลาดยางผิว Asphaltic Concrete สายทางเข้าศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจชุมชนและศูนย์พัฒนาเด็กเล็กอันเนื่องมาจากพระราชดำริ หมู่ที่ 6 ตำบลเนินขาม อำเภอเนินขาม จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณใกล้สถานที่ก่อสร้าง ลงวันที่ 26 มกราคม 2553

ลูกรัง เขาราวเทียนทอง อ.เนินขาม จ.ชัยนาท

หินคลุก โรงโม่ด่านช้าง อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.00	88.76	-
	3/8”	59.67	62.60	-
	No.4	41.67	43.72	-
	No.10	25.20	22.52	-
	No.40	16.60	15.48	-
	No.200	6.10	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.291	2.124	1.740
	Optimum Water Content (%)	5.69	9.79	14.81
Liguid Limit		NP	22.50	-
Plasticity Index		NP	5.47	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	33.00	5.00
% Abrasion		21.60	31.08	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 85 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการปรับปรุงแก้ไขบริเวณเสี่ยงอันตรายและจุดต่อเชื่อม : สามแยก ชน.1008 แยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านเขาขยาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินบริเวณก่อสร้าง, ลูกรังบ่อเขาใบไม้ อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์, หินคลุก โรงโม่ศิลาเทียนทอง อ.พยุหคีรี จ.นครสวรรค์ ลงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.10	89.04	-
	3/8”	60.00	63.24	-
	No.4	42.17	44.44	-
	No.10	25.83	22.68	-
	No.40	17.17	15.92	-
	No.200	6.37	6.12	-
	ชนิด	ข.	22.50	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.303	2.002	1.975
	Optimum Water Content (%)	5.54	10.38	8.61
Liguid Limit		NP	22.50	-
Plasticity Index		NP	5.24	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	30.00	7.00
% Abrasion		19.94	31.16	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 86 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยกทางหลวงหมายเลข 311-บ้านท่าไทร ตำบลโพนางคำ อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินบริเวณ ต.โพนางดำ จ.ชัยนาท ลงวันที่ 17 กันยายน 2552

ลูกรัง แหล่งเขาตอง อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์

หินคลุก โรงโม่ศิลาลานทอง อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.50	89.36	-
	3/8”	59.67	63.20	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.17	22.36	-
	No.40	16.67	15.32	-
	No.200	6.00	5.36	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.270	2.136	1.732
	Optimum Water Content (%)	5.59	8.46	18.29
Liguid Limit		NP	22.50	-
Plasticity Index		NP	5.56	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		84.00	36.00	6.30
% Abrasion		22.00	31.10	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 87 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยกทางหลวงหมายเลข 3183-บ้านหนองแค ตำบลนางลือ อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณก่อสร้าง, ลูกรัง บ้านหนองหอย ลงวันที่ 17 กันยายน 2552
ต.ไพรนกยูง อ.หันคา จ.ชัยนาท,
หินคลุก โรงโม่หินศิลาลานทอง อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.83	89.40	-
	3/8”	60.50	63.72	-
	No.4	41.50	44.52	-
	No.10	25.17	22.48	-
	No.40	16.67	15.60	-
	No.200	6.27	5.76	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.284	2.160	1.724
	Optimum Water Content (%)	5.34	8.54	17.71
Liguid Limit		NP	22.50	-
Plasticity Index		NP	5.53	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		87.00	38.00	6.10
% Abrasion		20.46	28.84	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 88 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยกทางหลวงหมายเลข 3009-บ้านรางจิก ตำบลไพรนกยูง อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณก่อสร้าง, ลูกรัง บ้านหนองหอย ลงวันที่ 17 กันยายน 2552
ต.ไพรนกยูง อ.ไพรนกยูง จ.ชัยนาท
หินคลุก บริษัท โรงโม่หินด่านช้าง อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.83	88.96	-
	3/8”	59.67	63.20	-
	No.4	41.67	44.12	-
	No.10	25.17	22.40	-
	No.40	16.67	15.32	-
	No.200	5.90	5.44	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.286	2.206	1.837
	Optimum Water Content (%)	5.61	7.96	12.32
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.84	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		86.50	39.00	6.20
% Abrasion		21.02	28.04	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 89 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนไร้ฝุ่น สาย ชน.4025 แยกทางหลวงหมายเลข 3211-แยกทางหลวงหมายเลข 3211-บ้านหนองหอย อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินถม บ้านหนองหอย อ.หันคา จ.ชัยนาท ลงวันที่ 11 ธันวาคม 2552

ลูกรัง บ้านหนองหอย อ.หันคา จ.ชัยนาท

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	89.04	-
	3/8”	-	62.88	-
	No.4	-	44.00	-
	No.10	-	22.80	-
	No.40	-	15.88	-
	No.200	-	5.76	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.154	1.837
	Optimum Water Content (%)	-	7.48	12.30
Liguid Limit		-	22.50	-
Plasticity Index		-	5.74	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	37.00	8.80
% Abrasion		-	28.30	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 90 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยกทางหลวงหมายเลข 3211-บ้านสุขเดือนห้า ตำบลสุขเดือนห้า อำเภอเนินขาม จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ บริษัท โรงโม่ด่านช้าง อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี ลงวันที่ 17 กันยายน 2552

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	88.32	-	-
	3/8”	57.60	-	-
	No.4	36.28	-	-
	No.10	24.48	-	-
	No.40	15.64	-	-
	No.200	7.40	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.288	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.84	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		86.00	-	-
% Abrasion		19.40	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 91 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายแยกทางหลวงหมายเลข 3211-บ้านหนองแก่นมะเกลือ ตำบลเนินขาม อำเภอเนินขาม จังหวัดชัยนาท

แหล่งวัสดุ ดินบริเวณบ้านหนองแก่นมะเกลือ ลงวันที่ 17 กันยายน 2552

ลูกรัง บ้านหนองหอย อ.หันคา จ.ชัยนาท

หินคลุก โรงโม่หินศิลาเทียนทอง อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.13	89.36	-
	3/8”	60.00	63.20	-
	No.4	42.00	44.12	-
	No.10	25.50	22.40	-
	No.40	17.00	15.72	-
	No.200	6.20	5.84	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.281	2.178	2.004
	Optimum Water Content (%)	5.69	7.62	8.38
Liguid Limit		NP	22.10	-
Plasticity Index		NP	5.66	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		86.00	22.10	8.7
% Abrasion		22.00	5.66	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 92 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซอย 3 สาม แยกถนนสายเอก เข้าหมู่ที่ 1 หมู่ที่ 3 อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ลงวันที่ 14 ตุลาคม 2552
หินคลุก โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน อ.พระพุทธบาท
จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.17	88.60	-
	3/8”	60.50	62.92	-
	No.4	41.50	44.52	-
	No.10	25.17	22.48	-
	No.40	16.67	15.60	-
	No.200	6.40	5.80	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.306	2.018	-
	Optimum Water Content (%)	5.45	9.68	-
Liguid Limit		NP	21.80	-
Plasticity Index		NP	5.53	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	32.00	-
% Abrasion		19.78	30.24	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 93 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการปรับปรุงบริเวณเสี่ยงอันตราย (ทางแยกแลจุดต่อเชื่อม :สี่แยก) สาย สบ.4025 แยกทางหลวงหมายเลข 3302-บ้านคลองม่วง อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดินข้างทาง กม.10 ลงวันที่ 19 เมษายน 2553

ลูกรัง บ่อพุแค

หินคลุก โรงโม่หินสินชัย 1992 จำกัด

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.23	88.80	-
	3/8”	60.57	61.88	-
	No.4	41.10	43.28	-
	No.10	25.57	25.48	-
	No.40	16.70	15.72	-
	No.200	6.43	7.00	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.309	2.013	1.843
	Optimum Water Content (%)	5.75	10.47	14.16
Liguid Limit		NP	23.50	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.50	29.00	6.70
% Abrasion		21.50	31.72	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 94 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวถนนลาดยางแบบ AC สายบ้านท่าวัว-บ้านหาดสองแคว ตำบลบ้านธาตุ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่ สหศิลาเพิ่มพูน จ.สระบุรี ลงวันที่ 26 เมษายน 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.70	-	-
	3/8”	60.37	-	-
	No.4	41.70	-	-
	No.10	25.37	-	-
	No.40	16.87	-	-
	No.200	6.47	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.298	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.51	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	-	-
% Abrasion		19.82	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ภ 95 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง สายบ้านหนองกระทิง หมู่ที่ 10 (ตอน 2) ตำบลลำสมพุง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 3 มีนาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.33	88.76	-
	3/8”	60.00	62.60	-
	No.4	42.00	43.80	-
	No.10	25.20	22.60	-
	No.40	16.60	15.56	-
	No.200	6.10	5.84	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.291	2.124	1.740
	Optimum Water Content (%)	5.69	9.79	14.81
Liguid Limit		NP	22.50	-
Plasticity Index		NP	6.15	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	33.00	5.00
% Abrasion		19.86	28.94	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 96 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนกิจกรรมยกระดับมาตรฐานทาง สายบ้านหนองมะค่า หมู่ที่ 10 (ตอนที่ 2) ตำบลหนองย่างเสือ อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดินหน้างาน, ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค ลงวันที่ 11 มกราคม 2553
หินคลุก โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูน

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.70	89.20	-
	3/8”	60.37	63.90	-
	No.4	41.70	45.12	-
	No.10	25.37	23.08	-
	No.40	16.87	15.80	-
	No.200	6.47	6.08	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.298	1.989	
	Optimum Water Content (%)	5.51	10.46	
Liguid Limit		NP	22.00	-
Plasticity Index		NP	5.36	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	30.00	
% Abrasion		19.60	33.62	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 97 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนกิจกรรมยกระดับมาตรฐานทางสายเลียบคลองหนองยาว ตำบลหนองยาว อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดินหน้างาน ลงวันที่ 27 มกราคม 2553

ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค,

หินคลุก โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูล

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.97	89.44	-
	3/8”	60.30	63.28	-
	No.4	42.00	44.08	-
	No.10	25.53	24.00	-
	No.40	17.00	16.56	-
	No.200	6.07	6.36	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.304	2.048	1.743
	Optimum Water Content (%)	5.84	7.55	14.62
Liguid Limit		NP	22.10	-
Plasticity Index		NP	5.59	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		91.00	30.00	4.80
% Abrasion		19.62	29.30	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 98 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ซอย 4 ถนนสายตรี (สายพระพุทธบาท-โคกตูม) ถึงหมู่ที่ 1 ตำบลธารเกษม อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ลงวันที่ 15 ตุลาคม 2552

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	88.60	-
	3/8”	-	61.28	-
	No.4	-	43.44	-
	No.10	-	22.96	-
	No.40	-	15.92	-
	No.200	-	6.08	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.019	-
	Optimum Water Content (%)	-	8.54	-
Liguid Limit		-	22.20	-
Plasticity Index		-	5.72	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	29.00	-
% Abrasion		-	31.08	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 99 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างถนนลาดยาง แบบ AC สายบ้านคลองม่วงเหนือ ตำบลลำพญากลาง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม พื้นที่รอบบริเวณก่อสร้าง ลงวันที่ 17 พฤษภาคม 2553

ลูกรัง บ่อลูกรังใน ต.ลำพญากลาง อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี

หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.90	88.88	-
	3/8”	59.83	63.16	-
	No.4	41.83	44.40	-
	No.10	25.37	22.80	-
	No.40	16.97	15.84	-
	No.200	6.20	5.84	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.309	2.064	1.918
	Optimum Water Content (%)	5.56	9.16	9.76
Liguid Limit		NP	22.50	-
Plasticity Index		NP	5.20	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	33.00	7.20
% Abrasion		19.78	30.24	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 100 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างกิจกรรมยกระดับมาตรฐานทางสายบ้านพระพุทธบาทน้อย ตำบลสองคอน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดินข้างทาง กม.10 ลงวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2553

ลูกรัง บ่อพุแค

หินคลุก โรงโม่หินสินชัย 1992 จำกัด

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.60	88.12	-
	3/8”	59.47	62.36	-
	No.4	40.57	44.72	-
	No.10	25.30	27.80	-
	No.40	16.80	16.68	-
	No.200	6.30	6.04	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.308	2.078	1.866
	Optimum Water Content (%)	5.66	9.09	15.56
Liguid Limit		NP	23.10	-
Plasticity Index		NP	6.84	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		92.50	32.00	7.10
% Abrasion		19.12	28.94	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 101 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างกิจกรรมยกระดับมาตรฐานทางสายบ้านหนองจักร (ตอนที่ 2) ตำบลหนองยาว อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม หน้างาน, ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค จ.สระบุรี, หินคลุก โรงโม่ศิริพัฒนา ลงวันที่ 20 มกราคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.53	89.04	-
	3/8”	60.13	61.72	-
	No.4	40.80	43.68	-
	No.10	25.63	23.20	-
	No.40	16.80	16.08	-
	No.200	6.13	6.24	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.307	2.075	1.698
	Optimum Water Content (%)	5.34	8.54	18.84
Liguid Limit		NP	22.30	-
Plasticity Index		NP	5.86	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	30.00	4.70
% Abrasion		20.24	32.46	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 102 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สายบ้านหนองยาวสูง อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค ลงวันที่ 7 มิถุนายน 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	88.96	-
	3/8”	-	63.16	-
	No.4	-	44.36	-
	No.10	-	22.60	-
	No.40	-	15.84	-
	No.200	-	6.04	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	2.002	-
	Optimum Water Content (%)	-	10.38	-
Liguid Limit		-	22.50	-
Plasticity Index		-	5.24	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	30.00	-
% Abrasion		-	30.76	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 103 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวลาดยาง สาย สบ.1014 แยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านพระพุทธบาทน้อย อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่หินสหศิลาเพิ่มพูล ลงวันที่ 10 พฤษภาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	92.00	-	-
	3/8”	60.00	-	-
	No.4	41.83	-	-
	No.10	25.37	-	-
	No.40	16.67	-	-
	No.200	6.33	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.309	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.73	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		20.32	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 104 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวลาดยาง สาย ซอย 6 ตำบลหินซ้อน อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่ สหศิลาเพิ่มพูล ลงวันที่ 11 พฤษภาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.33	-	-
	3/8”	60.03	-	-
	No.4	41.20	-	-
	No.10	24.63	-	-
	No.40	16.13	-	-
	No.200	5.80	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.306	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.71	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		19.96	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 105 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวลาดยาง สาย สบ.1026 แยกทางหลวงหมายเลข 1-บ้านโคกดินแดง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่หิน สหศิลาเพิ่มพูล ลงวันที่ 10 พฤษภาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	88.80	-	-
	3/8”	61.80	-	-
	No.4	43.28	-	-
	No.10	25.68	-	-
	No.40	15.92	-	-
	No.200	7.20	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.295	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.75	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	-	-
% Abrasion		20.16	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 106 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวลาดยาง สายบ้านยาง-บ้านโคกกะพี้ ตำบลห้วยบง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่ สหศิลาเพิ่มพูล ลงวันที่ 11 พฤษภาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.10	-	-
	3/8”	59.97	-	-
	No.4	42.30	-	-
	No.10	25.97	-	-
	No.40	17.33	-	-
	No.200	6.47	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.300	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.55	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		90.00	-	-
% Abrasion		20.88	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ภ 107 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างกิจกรรมยกระดับมาตรฐานทางสายบ้านหนองตอตะเคียน ตำบลลำพญากลาง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บริเวณโครงการ, ลูกรัง บ่อลูกรังใน ลงวันที่ 22 มกราคม 2553
ต.ลำพญากลาง อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี
หินคลุก B โรงโม่บริษัท รุ่งอรุณศิลา จำกัด ต.พุคำจาน จ.สระบุรี

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.60	88.40	-
	3/8”	59.67	61.08	-
	No.4	40.33	42.48	-
	No.10	25.20	24.08	-
	No.40	16.70	15.20	-
	No.200	6.37	6.40	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.302	2.030	1.827
	Optimum Water Content (%)	5.74	8.48	13.28
Liguid Limit		NP	23.20	-
Plasticity Index		NP	6.00	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	30.00	6.30
% Abrasion		19.56	31.72	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 108 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างกิจกรรมยกระดับมาตรฐานทางสายบ้านหนองแหน (ตอนที่ 2) ตำบลชะอม อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ดินถม บ่อดินหน้างาน, ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค ลงวันที่ 22 มกราคม 2553
หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูล

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	89.57	88.80	-
	3/8”	59.90	61.88	-
	No.4	40.77	43.28	-
	No.10	25.57	25.48	-
	No.40	16.70	15.72	-
	No.200	6.43	7.00	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.296	2.033	1.843
	Optimum Water Content (%)	5.75	10.47	14.16
Liguid Limit		NP	23.50	-
Plasticity Index		NP	5.79	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	32.50	6.70
% Abrasion		19.92	32.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 109 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการซื้อขายวัสดุเพื่อใช้ในการซ่อมบำรุงทางกับหน่วยงานราชการ

แหล่งวัสดุ - ลงวันที่ 24 มิถุนายน 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	88.44	-
	3/8”	-	61.24	-
	No.4	-	43.20	-
	No.10	-	23.44	-
	No.40	-	16.24	-
	No.200	-	6.40	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	1.997	-
	Optimum Water Content (%)	-	9.86	-
Liguid Limit		-	22.70	-
Plasticity Index		-	5.54	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	29.00	-
% Abrasion		-	34.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 110 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก สายบ้านซับน้อยใต้ หมู่ที่ 9 ตำบลซับสนุ่น อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ บ่อลูกรังพุแค ลงวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		**หินคลุก (Mod.)**	**ลูกรัง (Mod.)**	**ดินถม (std.)**
Gradation	2”	-	-	-
	1”	-	88.80	-
	3/8”	-	63.12	-
	No.4	-	44.84	-
	No.10	-	23.20	-
	No.40	-	16.52	-
	No.200	-	6.64	-
	ชนิด	-	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	-	1.992	-
	Optimum Water Content (%)	-	9.37	-
Liguid Limit		-	22.10	-
Plasticity Index		-	5.66	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		-	29.00	-
% Abrasion		-	30.88	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 111 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการเสริมผิวลาดยาง สาย สบ.4005 แยกทางหลวงหมายเลข 2247-บ้านวังม่วง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ โรงโม่ สหศิลาเพิ่มพูล ลงวันที่ 10 พฤษภาคม 2553

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.50	-	-
	3/8”	60.20	-	-
	No.4	41.37	-	-
	No.10	24.97	-	-
	No.40	16.47	-	-
	No.200	6.10	-	-
	ชนิด	ข.	-	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.296	-	-
	Optimum Water Content (%)	5.77	-	-
Liguid Limit		NP	-	-
Plasticity Index		NP	-	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		88.00	-	-
% Abrasion		21.44	-	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test

Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ตารางที่ ภ 112 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ โครงการก่อสร้างกิจกรรมยกระดับมาตรฐานสายบ้านหนองบอน ตำบลวังม่วง จังหวัดสระบุรี

แหล่งวัสดุ ลูกรัง บ่อลูกรังพุแค, ลงวันที่ 7 มกราคม 2553
หินคลุก โรงโม่สหศิลาเพิ่มพูล

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ		หินคลุก (Mod.)	ลูกรัง (Mod.)	ดินถม (std.)
Gradation	2”	-	-	-
	1”	90.60	88.44	-
	3/8”	59.93	61.24	-
	No.4	40.60	43.20	-
	No.10	25.43	23.44	-
	No.40	17.07	16.24	-
	No.200	6.40	6.40	-
	ชนิด	ข.	ข.	-
Proctor Test	Maximum Dry Density (gm/ml)	2.302	1.997	-
	Optimum Water Content (%)	5.43	9.86	-
Liguid Limit		NP	22.70	-
Plasticity Index		NP	5.54	-
Soaked CBR ที่ความหนาแน่น 95%		89.00	29.00	-
% Abrasion		20.40	34.22	-

หมายเหตุ Mod. หมายถึง Modified Proctor Test
Std. หมายถึง Standard Proctor Test

ประวัติผู้เขียน

นายโภคินทร์ ช้ำเกตุ เกิดวันที่ 15 พฤษภาคม 2513 ที่หมู่บ้านตะขบ ตำบลตะขบ อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นที่ โรงเรียนปักธงชัยประชานิรมิต อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) แผนกช่างสำรวจ ที่โรงเรียนเซนต์จอห์นอาชีวศึกษากรุงเทพ และระดับประกาศนียบัตรชั้นสูง (ปวส.) แผนกช่างโยธา ที่วิทยาลัยเทคนิคดุสิต และสำเร็จการศึกระดับปริญญาตรี ปี พ.ศ. 2539 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และปัจจุบันรับราชการตำแหน่ง นายช่างโยธาชำนาญงาน กลุ่มวิชาการและถ่ายทอดเทคโนโลยี สังกัดสำนักทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) กรมทางหลวงชนบท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี