



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
ปริญญา

วิศวกรรมโยธา	วิศวกรรมโยธา
สาขา	ภาควิชา

เรื่อง ผลของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน และรูปร่าง ความแข็งแรงทนทานของเม็ดดิน
ที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

Effect of Grain Size Distribution and Shape Durable on Engineering Properties of
Laterite Soil

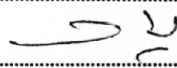
نامผู้วิจัย นายสุรัช สึงห์สาร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

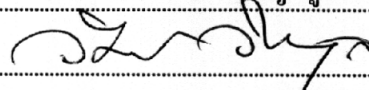
ประธานกรรมการ


(รองศาสตราจารย์ประทีป ควงเคื่อน, M.Eng.)

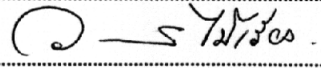
กรรมการ


(รองศาสตราจารย์วิหาญ ภูพัฒน์, Ph.D.)

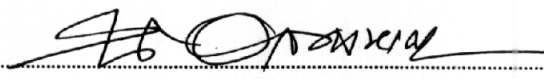
กรรมการ


(รองศาสตราจารย์วัชรินทร์ วิทย์กุล, M.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา


(รองศาสตราจารย์วรกร ไม้เรียง, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉรหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 2 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2548

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน และรูปร่าง ความแข็งแรงทนทาน
ของเม็ดดินที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

Effect of Grain Size Distribution and Shape Durable on Engineering Properties
of Laterite Soil

โดย

นายสุรัชย์ สิงห์สาธร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2548

ISBN 974-9846-78-8

ศุรัชย์ สิงห์สาธ 2548: ผลของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน และรูปร่าง ความแข็งแรงทนทาน
ของเม็ดดินที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมโยธา) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ประชานกรรมการที่ปรึกษา:
รองศาสตราจารย์ประทีป คงเคื่อน, M.Eng. 135 หน้า
ISBN 974-9846-78-8

งานวิจัยนี้ศึกษาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน รูปร่าง และความแข็งแรงทนทานของดินลูกรังที่มีต่อ
คุณสมบัติทางวิศวกรรม โดยเน้นการศึกษาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเกรด B ของกรมทางหลวง เพื่อศึกษา
ความเหมาะสมของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเกรด B ของกรมทางหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และเป็น
แนวทางในการกำหนดมาตรฐานของการกระจายของขนาดเม็ดดินที่นำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทาง โดยเฉพาะใน
ชั้นรองพื้นทาง เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างดินลูกรัง 2 แหล่งคือ จากแหล่งพิษณุโลกซึ่งมีรูปร่างเหลี่ยมมน และมีความ
ทนทานปานกลาง และจากแหล่งสระบุรีซึ่งมีรูปร่างเหลี่ยมคมและมีความทนทานต่ำ ใช้ตัวอย่างดินกรวดแม่น้ำ 1
แหล่งจากราชบุรีซึ่งมีรูปร่างกลมมน และมีความทนทานสูง โดยนำมาทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมดังนี้
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด, ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม, ความชื้นน้ำ และกำลังรับแรงเฉือนของดิน

ผลการวิจัยพบว่า การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเมื่อมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินมี
แนวโน้มที่ทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และกำลังรับแรงเฉือนมีค่าสูงขึ้น ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมี
แนวโน้มลดลง ส่วนความชื้นน้ำไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมนและเหลี่ยมคมจะให้ผลการ
ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีกว่าตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมมน ตัวอย่างดินที่มีความแข็งแรงทนทานสูง
ก็ให้ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีกว่าตัวอย่างดินที่มีความทนทานต่ำกว่า

เมื่อทำการพิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเกรด B ของกรมทางหลวงพบว่า ดินที่มีการ
กระจายตัวแบบ Well และ Gap Graded ให้ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีกว่าตัวอย่างดินที่มีการ
กระจายตัวแบบ Poorly Graded แต่การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินทั้ง 3 แบบ ก็มีความเหมาะสมผ่านข้อกำหนด
ในการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทางได้ ดังนั้นการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเกรด B ของกรมทางหลวง ที่ใช้
อยู่ในปัจจุบันมีความเหมาะสม ในการใช้เป็นข้อกำหนดการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน

สิงห์ สิงห์สาธ
ลายมือชื่อนิติ


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

26 / 10 / 25

Surachai Singasatorn 2005: Effect of Grain Size Distribution and Shape Durable on Engineering Properties of Laterite Soil. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering.
Thesis Advisor: Associate Professor Prateep Duangduen, M.Eng. 135 pages.
ISBN 974-9846-78-8

The research has studied Grain Size Distribution, Shape and Durability of Lateritic Soil Effecting on the Engineering Property. The research emphasizing on the distribution of B-graded soil of the Department of Highways has the objectives to study the appropriateness of the distribution of B-graded soil of the Department of Highways, which have been currently exploited. The research should also determine the standard of soil distribution exploited as the construction material, especially for subbase layer.

The research exploited the soil samples collected from two sources, that is, Pitsanulok soil, which was round-edged and had medium strength, and Saraburi soil, which was sharp-edged and had low strength. In addition, the river gravel soil from Ratchaburi, which was round and had high strength, was also collected. The samples were tested to obtain the engineering property in terms of highest dry density, Optimum moisture content, permeability and shear strength of soil.

Concerning Grain Size Distribution, the research found that when the coarse part increased, the samples tends to achieve the increasing highest dry density and shear strength; Optimum moisture content decreased whereas permeability showed no tendency. In addition, the soil samples, which were round and sharp-edged, gave the better engineering property when compared with the round-edged samples. The samples having high strength gave also the better engineering property when compared with the low-strength samples.

When considering grain size distribution B-graded soil of the Department of Highways, the soil with well and gap graded distribution gave also the better engineering property when compared with soil with poorly graded distribution. However, the distribution of these three soil grain met the standard requirements to be exploited as construction material. Thus, it could be concluded that the distribution of B-graded soil of the Department of Highways, which have been currently exploited, was proper and could determine the soil grain

Surachai Singasatorn
Student's signature

Prateep Duangduen 26 / 10 / 2005
Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ประทีป ดวงเดือน ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่คอยให้ความอนุเคราะห์ในการประสิทธิประสาทวิชาความรู้เพื่อให้เกิดวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขึ้นมา อีกทั้งยังช่วยอบรมสั่งสอนระเบียบวิธีชีวิตให้แก่ผู้วิจัยสามารถดำรงชีวิตในสภาวะปัจจุบัน พร้อมทั้งคณะกรรมการที่ปรึกษาประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. วิชาญ ภูพัฒน์ กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์ วัชรินทร์ วิทยกุล กรรมการวิชารอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรัชย์ ลิปิวัฒนากุล ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำชี้แนะ ข้อมูล แนวทาง การทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา ขอขอบคุณข้าราชการกรมทางหลวงทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา และระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเพื่อนๆ และน้องๆ ซึ่งมีจากกล่าวนามลงในกิตติกรรมประกาศได้ครบที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นแรงใจในการทำวิจัยครั้งนี้เสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และความปรารถนาดีของทุกท่าน จึงขอขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ท้ายสุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้ความอุปถัมภ์ช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจในทุกๆ เรื่องด้วยความรักอย่างดียิ่งตลอดมา

สุรัชย์ สิงห์สาธ

ตุลาคม 2548

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการวิจัย	4
การตรวจเอกสาร	6
คำจำกัดความของดินลูกรัง	6
ดินลูกรังในประเทศไทย	4
ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับดินลูกรังที่ใช้ในงานทาง	14
การบดอัดดิน	18
ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบดอัด	20
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
ความแข็งแรงทนทานของเม็ดดิน	29
การเตรียมตัวอย่างดินที่จะทำการทดสอบ และ การเรียกชื่อตัวอย่างดิน	31
กลุ่มดินตัวอย่าง	32
อุปกรณ์ และวิธีการ	43
อุปกรณ์	43
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	47
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างดินธรรมชาติ	47
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดิน	54
การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม	89
ผลการทดสอบความแน่นแห้ง	89
ผลการทดสอบความชื้นน้ำ	107
ผลการทดสอบ CBR	121

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สรุป	127
ข้อเสนอแนะ	131
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	132

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณซิลิกาและเชสควอออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย	13
2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	14
3 ขนาดกะสำหรับวัสดุสำหรับพื้นทางและรองพื้นทาง	15
4 การแจกแจงขนาดอนุภาคสำหรับวัสดุรองพื้นทาง	16
5 การแจกแจงขนาดอนุภาคสำหรับวัสดุพื้นทางในประเทศไทย	17
6 แสดงค่า Aggregate Impact Value และค่า Slake – Durability Index ของมวลวัสดุตามระดับคุณภาพ	31
7 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน B-75	35
8 แสดงการหาขนาดกะของตัวอย่าง B-75	35
9 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน B-65	37
10 แสดงการหาขนาดกะของตัวอย่าง B-65	37
11 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน B-55	39
12 แสดงการหาขนาดกะของตัวอย่าง B-55	39
13 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน B-45	41
14 แสดงการหาขนาดกะของตัวอย่าง B-45	41
15 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินเบื้องต้น	47
16 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี	52
17 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก	52
18 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี	53
19 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี	54
20 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก	56
21 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี	58
22 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี หลังการบดอัด	60
23 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด	61
24 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี หลังการบดอัด	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	การหาขนาดคละของตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี หลังการบดอัด	63
26	การหาขนาดคละของตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด	64
27	การหาขนาดคละของตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี หลังการบดอัด	65
28	แสดงแนวโน้มผลการทดสอบ	127

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย	12
2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและปริมาณความชื้นของดินบดอัด	19
3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และปริมาณความชื้นของดินบดอัด	20
4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสปส.ความชื้นน้ำ และปริมาณความชื้นของดินบดอัด	21
5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งสูงสุด และจำนวนเที่ยวของการบดอัด	22
6 กราฟการบดอัดของดินแต่ละชนิดตามการจำแนกประเภทดินระบบ Unified Soil Classification	22
7 ผลการทดสอบบดอัดในห้องปฏิบัติการแบบใช้ตัวอย่างช้าและไม่ใช้ช้า	23
8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความแน่นแห้งสูงสุด และ ปริมาณมวลละเอียดที่ผสมอยู่ในมวลรวมหยาบ	25
9 โครงสร้างของมวลดิน	25
10 ผลของปริมาณมวลละเอียดที่ผสมในหินต่อความแน่นแห้ง (γ_d) และ C.B.R.	27
11 เปรียบเทียบ C.B.R. กับ ความแน่นแห้งของวัสดุที่มีมวลละเอียดในจำนวนไม่เท่ากัน	27
12 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดดินของดินตัวอย่างแหล่งราชบุรี	33
13 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดดินของดินตัวอย่างแหล่งพิษณุโลก	33
14 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดดินของดินตัวอย่างแหล่งสระบุรี	34
15 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของกลุ่มดินตัวอย่าง B-75	36
16 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของกลุ่มดินตัวอย่าง B-65	38
17 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของกลุ่มดินตัวอย่าง B-55	40
18 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของกลุ่มดินตัวอย่าง B-45	42
19 ขั้นตอนการวิจัย	46
20 Grain Size Distribution ของตัวอย่างดินเบื้องต้น	48
21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ % Abrasion (AIV, ACV, Id)	48
22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ % Abrasion (AIV, ACV, Id)	49
23 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ % Abrasion (AIV, ACV, Id)	49
24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ % Abrasion (AIV, ACV, Id)	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ % PI	50
26 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-45 แหล่งราชบุรี หลังการบดอัด	66
27 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-55 แหล่งราชบุรี หลังการบดอัด	66
28 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-65 แหล่งราชบุรี หลังการบดอัด	67
29 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-75 แหล่งราชบุรี หลังการบดอัด	67
30 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-45 แหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด	68
31 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-55 แหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด	68
32 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-65 แหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด	69
33 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-75 แหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด	69
34 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-45 แหล่งสระบุรี หลังการบดอัด	70
35 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-55 แหล่งสระบุรี หลังการบดอัด	70
36 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-65 แหล่งสระบุรี หลังการบดอัด	71
37 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-75 แหล่งสระบุรี หลังการบดอัด	71
38 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Water Content ของแหล่งราชบุรี	72
39 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของแหล่งราชบุรี	73
40 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของแหล่งราชบุรี	73
41 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Water Content ของแหล่งพิษณุโลก	74
42 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของแหล่งพิษณุโลก	75
43 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของแหล่งพิษณุโลก	75
44 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Water Content ของแหล่งสระบุรี	76
45 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของแหล่งสระบุรี	77
46 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของแหล่งสระบุรี	77
47 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ B-45	78
48 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ B-45	78
49 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ B-55	79
50 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ B-55	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
51 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ B-65	80
52 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ B-65	80
53 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ B-75	81
54 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ B-75	81
55 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ Poorly Graded	82
56 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ Poorly Graded	82
57 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ Gap Graded	83
58 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ Gap Graded	83
59 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ Well Graded	84
60 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ Well Graded	84
61 อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8" ที่มีต่อ ค่าความแน่นแห้งสูงสุด	85
62 อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8" ที่มีต่อ ปริมาณความชื้นเหมาะสม	87
63 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของแหล่งราชบุรี	98
64 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของแหล่งพิษณุโลก	99
65 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของแหล่งสระบุรี	100
66 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ B-45	101
67 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ B-55	101
68 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ B-65	102
69 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ B-75	102
70 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ Poorly Graded	103
71 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ Gap Graded	103
72 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ Well Graded	104
73 อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8" ที่มีต่อ ความชื้นน้ำ	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
74 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของแหล่งราชบุรี	109
75 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของแหล่งพิษณุโลก	109
76 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของแหล่งสระบุรี	110
77 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ B-45	110
78 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ B-55	111
79 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ B-65	111
80 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ B-75	112
81 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ Poorly Graded	112
82 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ Gap Graded	113
83 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ Well Graded	113
84 อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8" ที่มีต่อ CBR	114
85 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Poorly Graded แหล่งราชบุรี	116
86 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัดของ Poorly Graded แหล่งพิษณุโลก	116
87 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Poorly Graded แหล่งสระบุรี	117
88 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Gap Graded แหล่งราชบุรี	117
89 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Gap Graded แหล่งพิษณุโลก	118
90 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Gap Graded แหล่งสระบุรี	118
91 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Well Graded แหล่งราชบุรี	119
92 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Well Graded แหล่งพิษณุโลก	119
93 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Well Graded แหล่งสระบุรี	120

ผลของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน และรูปร่าง ความแข็งแรงทนทาน ของเม็ดดินที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

Effect of Grain Size Distribution and Shape Durable on Engineering Properties of Laterite Soil

คำนำ

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่อการจัดเรียงโครงสร้างของเม็ดดิน ซึ่งดินที่มีโครงสร้างของเม็ดดินที่แตกต่างกันก็จะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่แตกต่างกันไป ได้มีการศึกษาวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น ดินที่มีขนาดคละกันดี (Well Grade Soil) และดินที่มีขนาดคละกันไม่ดี (Poorly Grade Soil) ซึ่งดินที่มีขนาดคละกันดีจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีกว่าดินที่มีขนาดคละกันไม่ดี เนื่องจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินนั้นมีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ดังนั้น จึงมีการกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้ควบคุมการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานถนน กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย ได้แบ่งการกระจายตัวของเม็ดดินที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง ชั้นรองพื้นทางไว้ 5 กลุ่ม คือ Grade A, B, C, D และ E โดย Grade A จะเป็นดินที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด และ Grade E จะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ต่ำที่สุด แต่ในช่วงของแต่ละ Grade อาจจะมีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแตกต่างกันได้คือ เป็นได้ทั้งดินที่มีขนาดคละกันดี และดินที่มีขนาดคละกันไม่ดี ซึ่งดินที่มีขนาดคละกันไม่ดีไม่น่าจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดี

ขนาดและรูปร่างของเม็ดดินมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน โดยเฉพาะดินมวลหยาบ เม็ดดินมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ขนาดใหญ่ จนถึงขนาดเล็ก ลักษณะรูปร่างของเม็ดดินมีตั้งแต่ค่อนข้างกลมจนถึงทรงยาวเรียว หรือเป็นแผ่นบางๆ สำหรับดินมวลหยาบ รูปร่างของเม็ดดินมีความสำคัญต่อการรวมตัวของเม็ดดิน เม็ดดินที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม จะเป็นมวลดินที่มีเสถียรภาพสูง

นอกจากนี้ ความคงทน ความสีกร่อนของเม็ดดิน ยังมีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ซึ่งเมื่อถูกบดอัด การแตกหักของเม็ดดินจะแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้คุณสมบัติของดินแตกต่างกันออกไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินที่มีต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ความซึมน้ำ (Permeability) และ กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินลูกรังบดอัด
2. ศึกษาผลของรูปร่างเม็ดดิน ความสึกกร่อน และทนทาน ของเม็ดดินที่มีผลต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ความซึมน้ำ (Permeability) และ กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินลูกรังบดอัด
3. ศึกษาความเหมาะสมของเกณฑ์กำหนด สำหรับการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินในมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวิศวกรรม (Grade B) ของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ขอบเขตของการศึกษา

1. ตัวอย่างดินที่ใช้ เลือกใช้ดินจาก 3 แหล่ง โดยเลือกใช้ลูกรัง 2 แหล่งจาก จังหวัด พิษณุโลก และ สระบุรี เลือกใช้กรวดแม่น้ำจาก จังหวัดราชบุรี
2. พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ที่มีช่วงของขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 3/4 นิ้ว และ อยู่ในกลุ่ม “ Grade B “ ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวมของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย
3. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างดิน
 - 3.1 ทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution) โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)
 - 3.2 ทดสอบคุณสมบัติความเป็นพลาสติก (Plasticity) ซึ่งประกอบด้วย การหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) และ การหาขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit)
 - 3.3 ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวม (Specific Gravity)
 - 3.4 ทดสอบหาความสึกกร่อน ของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion
 - 3.5 ทดสอบหาค่าการแตกหักของมวลรวม (Aggregate Impact Value, AIV)
 - 3.6 ทดสอบหาค่าการแตกหักของมวลรวมเมื่อถูกแรงบดขยี้ (Aggregate Crushing Value, ACV)
 - 3.7 ทดสอบหาค่าความต้านทานของมวลรวมต่อการแตกสลายตัว (Slake Durability Index, Id)

4. ทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี Modified Proctor Compaction Test

5. ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดิน

5.1 ทดสอบกำลังรับน้ำหนัก California Bearing Ratio (CBR) แบบ Soaked

5.2 ทดสอบหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Coefficient of Permeability Test) ด้วยวิธีความดันคงที่ภายใต้ความดัน (Constant Head under Pressure)

การตรวจเอกสาร

ดินลูกรัง เกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือร้อนชื้น ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง จากการศึกษาการผุพังและการเกิดสีแดงของหินในประเทศสหรัฐอเมริกาของ Russel (1989) พบว่าอุณหภูมิที่ร้อนและความชื้นสูงมีอิทธิพลต่อการผุพังของหินมากกว่าอุณหภูมิที่เย็นและความชื้นต่ำ Holland (1930) ได้สนับสนุนว่าที่อุณหภูมิและความชื้นสูง หรือในสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนจะเกิดกระบวนการกัดเซาะทางเคมีขึ้น โดยสารพวกซิลิกา Alkaline และ Alkaline Earth สลายตัว แต่เกิดการสะสมของสารพวกอลูมินาและออกไซด์ของเหล็ก

คำจำกัดความของดินลูกรัง

คำจำกัดความตามคุณสมบัติการแข็งตัว Buchanan (1807) เป็นผู้ริเริ่มใช้คำว่า “laterite” เรียกดินที่พบในมาลาบาร์ ประเทศอินเดียซึ่งหมายถึงดินที่มีสีเหลืองเนื่องจากมีเหล็กผสมอยู่ในปริมาณสูง มีความพรุน ไม่แบ่งชั้น มีความอ่อนพอสื่อจะตัดเป็นแผ่นขนาดเท่าอิฐได้ และเมื่อขุดพบจะแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อดึงทิ้งไว้ในอากาศ ดังนั้นจึงนิยมนำมาทำเป็นอิฐเพื่อใช้ในการงานก่อสร้าง

คำจำกัดความทางเคมี Mallet (1883) เป็นผู้เริ่มให้ความหมายดินลูกรัง (Laterite Soils) ว่าหมายถึงดินที่ตามธรรมชาติจะมีสีแดงเนื่องจากมีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม จากนั้น Bauer (1898) ได้ให้ความหมายของดินลูกรังว่าหมายถึงวัสดุที่มีสารประกอบของซิลิกาและปริมาณของอลูมิเนียมในรูปของไฮดรอกไซด์สูงเมื่อเทียบกับปริมาณของ bauxite จากนั้น Fermor (1911) ได้พัฒนาการเรียกชื่อลูกรังตามแร่พื้นฐานที่ประกอบในลูกรังซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของซิลิกาแร่พื้นฐานที่ประกอบในลูกรังได้แก่ เหล็ก , อลูมิเนียม , โพแทสเซียม และแมกนีเซีย ในเวลาต่อมา Lacroix (1913) ได้จำแนกชนิดของลูกรังตามปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบได้แก่

1. True Laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 90
2. Silicate Laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบร้อยละ 50 - 90
3. Laterite Clay มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบร้อยละ 10 - 50

ซึ่งต่อมา Martin and Doyne (1927) ได้แบ่งชนิดของดินลูกรังตามอัตราส่วนของซิลิกาตาม อลูมินา ดังนี้

1. True Laterite มีส่วนของ $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ น้อยกว่า 1.33
2. Lateritic Soil หรือดินลูกรัง มีอัตราส่วน $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ ระหว่าง 1.33 — 2.00
3. Non — Lateritic Tropically Weathered — Soil มีอัตราส่วนของ $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ มากกว่า 2.00

คำจำกัดความทาง Morphology_ Alexander and Cady (1962) ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้าน Morphology ฟิสิกส์และเคมีที่เกี่ยวข้องกับ ลูกรัง โดยให้ความหมายไว้ดังนี้

Laterite หรือลูกรัง หมายถึงดินที่เกิดจากกระบวนการทำลายในอัตราค่อนข้างสูงมี Secondary Oxide ของเหล็ก และ / หรืออลูมิเนียมในปริมาณสูง โดยปราศจากความเป็นกรดค้าง และ Primary Silicate ในบางครั้งอาจมีแร่ควอตซ์ (Quartz) และคาโอลิไนท์ (Kaolinite) ในปริมาณสูงและมีคุณสมบัติที่แข็งตัวเมื่อสัมผัสอากาศ

Laterite Soil หรือดินลูกรัง หมายถึงดินสีแดงที่มีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมผสมอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ Laterization มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เองและมี Laterite Rock หรือ Laterite Gravel ผสมอยู่

Laterite Rock หรือหินลูกรัง หมายถึงดินลูกรังที่เกิดการแข็งตัวเองอย่างสมบูรณ์ มีความเหนียวและความแข็งแรง จะแสดงคุณสมบัติของหินมากกว่าดิน เช่น หินศิลาแลง เป็นต้น

Phinthisite เป็นรูปแบบหนึ่งของหินลูกรังที่สามารถตัดด้วยเครื่องตัดโลหะได้ ในขณะที่อยู่ใต้ดินเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดการแข็งที่ไม่กลับคืนสู่สภาพเดิม

Laterite Gravel หรือกรวดลูกรัง ประกอบด้วยวัสดุเม็ดหยาบซึ่งเป็นเม็ดเล็กๆ มีความแข็งแตกต่างกัน บางทีอาจจะยึดเกาะกันเป็นมวลก้อนใหญ่ หรืออาจผุกร่อนจนกลายเป็น Silty และ / หรือ Clayey Lateritic Soil

Self-hardening-property หมายถึง คุณสมบัติในการแข็งตัวได้เองเมื่อสูญเสียความชื้นในตัว และคุณสมบัตินี้จะไม่กลับสู่สภาพเดิม ถึงแม้ได้รับความชื้นอีก

Sesquioxide หมายถึง Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ TiO_2 ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของลูกรัง

กระบวนการเกิดดินลูกรัง Primary Minerals และ Secondary Minerals ในดินลูกรัง

กระบวนการทำลายในเขตร้อนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ฟิสิกส์และ/หรือเกิดการเปลี่ยนรูปของ Primary Rock-Forming Minerals เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบ 1 : 1 และสารประกอบลูกรัง ซึ่งได้แก่ เหล็ก , อลูมิเนียม , ไทเทเนียม และแมงกานีส สะสมอยู่เป็นจำนวนมากโดยแบ่งขั้นตอนในการเกิดลูกรังออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1. Decomposition เป็นขบวนการทางเคมีฟิสิกส์ในการทำลาย Primary Minerals ในหินออกไซด์ต่างๆ ได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O และอื่นๆ ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร

2. Laterization จะเกิดการชะล้างภายใต้สภาวะการระบายที่เหมาะสม เกิดการรวมตัวของซิลิกา , ด่าง และสารพวกออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของเซสควิออกไซด์ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Ti_2O_3) ส่วนสารอื่นๆ จะถูกระบายหรือรวมตัวกันขึ้นกับความเป็นกรด ด่าง ของน้ำในดินและสภาวะการระบาย

Mohr and Van Baren (1954) ได้กล่าวว่า กระบวนการ Laterization เกิดขึ้น เนื่องจากสภาวะทางธรรมชาติ และการเกิดกระบวนการทำลายทางเคมีของหินเดิมภายใต้สภาวะทางเคมีและการเปลี่ยนรูปที่ต่ำ กระบวนการทำลายทางเคมี-ฟิสิกส์ จะไม่ดำเนินต่อไปในช่วงของการเปลี่ยนรูปแร่ดินเหนียวและมีแนวโน้มที่จะเกิดแร่ดินเหนียวพวกคาโอลิไนท์หรือไฮเดรท หรือแอนไฮดรัส

ออกไซด์ของเหล็ก และอลูมิเนียม ต่อมา Remillion (1967) ได้กล่าวว่าภายใต้สภาวะการเกิดกระบวนการทำลายทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนานนี้แร่ดินเหนียวจะถูกชะล้างเหลือสารเคมีที่มีออกไซด์ของอลูมิเนียม เช่น Gibbsite หรือ ไฮดรอกไซด์ของเหล็ก เช่น ไลโมไนต์ (Limonite) หรือเกอร์ไทท์ (Gertite)

3. Dehydration หรือ Dessiccation จะเกิดไฮเดรชันในบางส่วนหรือทั้งหมดของเซสควิออกไซด์ และ Secondary Mineral ซึ่งบางครั้งทำให้เกิดการแข็งตัว เกิดความเข้มข้น เกิดการตกผลึกของ Amorphous Iron Colloids ไปเป็น Dense Crystalline Iron Mineral ได้แก่ ไลโมไนต์ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) เกอร์ไทท์ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) และเฮมาไทต์ (Fe_2O_3)

สรุปได้ว่า การแข็งตัวในดินลูกรังเกิดขึ้น เนื่องจากออกไซด์อิสระของเหล็ก 3 ชนิด ได้แก่ เฮมาไทต์, ไลโมไนต์ และเกอร์ไทท์ เคลือบบนอนุภาคดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเฮมาไทต์ กระบวนการ Laterization จะทำให้ออกไซด์อิสระของเหล็กในรูปของเฮมาไทต์ที่เคลือบอยู่บนอนุภาคดินมีความหนาเพิ่มขึ้น

Secondary Mineral ในดินลูกรัง

Secondary Minerals ในดินลูกรัง ได้แก่ แร่ดินเหนียว คาโอลิไนต์, ฮาลลอยไซด์ (Halloysite), อิลไลต์ (Illite), มอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) และอื่นๆ การเกิด Secondary Mineral ในดินลูกรังขึ้นกับอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ พืชที่ปกคลุมและสภาพการระบายน้ำ ชนิดของ Secondary Minerals ในดินลูกรังมีประโยชน์มากในทางวิศวกรรมปฐพี เพราะสามารถคาดการณ์ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังได้ เช่น ดินลูกรังที่มีมอนต์โมริลโลไนต์ และ อิลไลต์สูงจะมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ความดันน้ำในโพรงสูง และบวมตัวได้ง่ายกว่าดินลูกรังที่มีคาโอลิไนต์และคลอไรต์เป็นส่วนประกอบเป็นต้น

วิธีการหา Secondary Minerals ในดินลูกรัง สามารถหาได้โดย การวิเคราะห์ X-ray Diffraction การวิเคราะห์ Differential Thermal Analysis (DTA) และการวิเคราะห์ Scanning Electron Microscope

คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินลูกรัง

ความเป็นกรด-ด่าง จากการศึกษาพบว่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินลูกรังเปลี่ยนแปลงตามความลึก แต่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4—8 แสดงว่าดินลูกรังจะเกิดในบริเวณที่มีสภาวะเป็นกรด

สารอินทรีย์ Newill (1959) กล่าวว่าดินลูกรังที่มีเม็ดละเอียดจะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าดินลูกรังที่มีเม็ดหยาบโดยทั่วไปแล้วดินลูกรังจะมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำโดยจะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.0 ที่ชั้นผิวดิน

ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ในดินลูกรังจะมีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและพืชพันธุ์ ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตจะลดลงเมื่อเกิดการชะล้างและขบวนการ Laterization มากขึ้น

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ดินลูกรังส่วนใหญ่มีการกระจายขนาดของขนาดเม็ดดินดี กล่าวคือมีขนาดใกล้เคียงกันดี

ความถ่วงจำเพาะ ค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรังอยู่ระหว่าง 2.67-3.46 จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณของเหล็กออกไซด์ในดินลูกรัง กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณของเหล็กออกไซด์มากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง

ดัชนีพลาสติก ค่าพลาสติกชี้ตัวของดินลูกรัง ขึ้นอยู่กับปริมาณของดินเหนียว ดังนั้น จึงมีค่าไม่แน่นอนขึ้นกับกระบวนการชะล้างและกระบวนการ Laterization กล่าวคือถ้ามีการชะล้างและเกิดกระบวนการ Laterization สูง ปริมาณของดินเหนียวจะยังผลให้ค่าพลาสติกชี้ตัวลดลง เนื่องจากแร่ดินเหนียวถูกเคลือบด้วยเชสควิออกไซด์ ทำให้ Surface Activity ของแร่ดินเหนียวถูกขจัด

กำลังรับแรงเฉือน ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังขึ้นกับอิทธิพลขององค์ประกอบทาง Genetic ชนิดของหินเดิมและองค์ประกอบที่เกิดกระบวนการผุพัง ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบทาง Decomposition , Laterization และ Dessiccation นอกจากนั้นแล้วการทดลองต่างชนิดกันทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนต่างกัน โดย Lambe (1958) ได้ศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบที่เกิดกระบวนการผุพัง (Decomposition) ที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน พบว่าดินลูกรังที่มีความลึกต่างๆ ให้ค่ากำลังรับ

แรงเคียนที่ต่างกันและจากการศึกษาของ Baldovin (1969) พบว่า ดินลูกรังที่มีองค์ประกอบที่เกิดขบวนการ Laterization สูงจะให้ค่ากำลังรับแรงเคียนสูง

สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน การซึมผ่านของดินลูกรังขึ้นกับชนิดของหินเดิม ลักษณะตามธรรมชาติของดิน, ขนาดของเม็ดดิน, อัตราส่วนโพรงและวิธีการเตรียมตัวอย่าง ความชื้นและความหนาแน่นแห้งมีผลอย่างมากต่อการซึมผ่านของดินลูกรัง

ดินลูกรังในประเทศไทย

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น กล่าวคือมีฤดูร้อนและฤดูฝนสลับกันเป็นระยะเวลาดำเนินช้านาน สภาพภูมิอากาศดังกล่าวเหมาะแก่การเกิดดินลูกรัง จะพบดินลูกรังมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคเหนือ หินเดิมส่วนใหญ่เป็นหินทราย หินบะซอลท์ และหินดินดาน

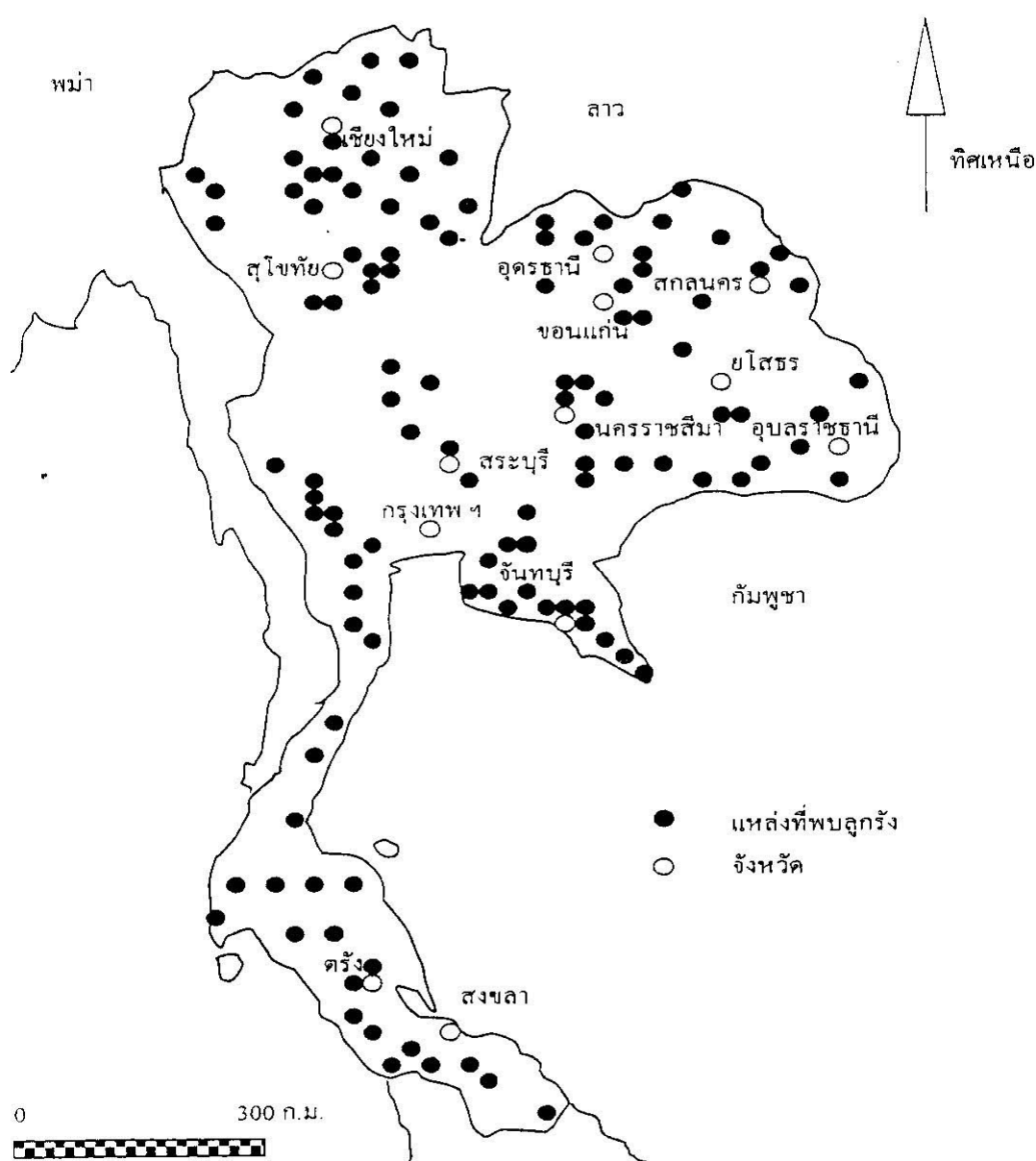
Hongsnoi (1969) กล่าวว่า ในประเทศไทยพบดินลูกรัง ซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามวิธีการเกิดดังนี้

Primary Lateritic Soils หมายถึง ดินลูกรังซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ และเกิดอยู่กับที่เหนือหินเดิม เหล็กที่เป็นส่วนประกอบได้จากแร่พวกเฟอร์โรแมกนีเซียมที่มีอยู่ในหินชั้นล่างๆ ลึกลงไป และเคลื่อนขึ้นมาสะสมมากขึ้นในชั้นดิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในแต่ละฤดู น้ำฝนซึ่งมีออกซิเจนและกรดอินทรีย์ต่างๆ ละลายอยู่จะออกซิไดซ์ธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียมในดินเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งมีสีแดง การเกิดดินลูกรังประเภทนี้ในประเทศไทยมักเกิดเป็นชั้นๆ จากผิวดินจนถึงชั้นของหินเดิม

ชนิดจำกัดเตอร์เบอร์ก จะมีค่าต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรังและเพิ่มมากขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นหินเดิมที่ผุพัง โดยปกติส่วนในสุดของเม็ดดินลูกรังเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่อ่อน ผิวนอกเป็นเหล็กออกไซด์ที่แข็งแกร่งกว่าความหนาของเหล็กออกไซด์จะมากหรือน้อยขึ้นกับสภาพแวดล้อม

Secondary Lateritic Soils หมายถึง ดินลูกรังที่เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนย้ายมาจากหินเดิม น้ำใต้ดินที่ไหลผ่านจะทำให้เหล็กออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวขึ้นและออกไซด์เหล็กในบริเวณนั้นด้วย ดินลูกรัง

ประเภทนี้โดยทั่วไปจะไม่แบ่งเป็นชั้น เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่าง ๆ กัน ขึ้นกับสภาพแวดล้อมต่างๆ และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดินที่ทับถม เหล็กออกไซด์ในดินลูกรังประเภทนี้อยู่กระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรก มักเกิดล้อมรอบกรดหรือชิ้นส่วนของหินที่แตกหัก ทำให้ดินลูกรังประเภทนี้มีขนาดเม็ดใหญ่ มีความแข็งที่แตกต่างกันปรากฏชั้นของเฮมาไทต์, โลโมไนต์ และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรก นอกจากนี้จะเกิดขึ้นระหว่างดินลูกรังกับหินเดิมค่อนข้างชัดเจน ขีดจำกัดอัตราเตอร์เบอร์ของดินลูกรังประเภทนี้มีค่าต่ำกว่าประเภทแรก



ภาพที่ 1 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย

Pendleton and Sharasuvana (1946) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทย โดยสรุปไว้ในตารางที่ 1 และ Morrison (1965) ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย โดยสรุปไว้ในตารางที่ 2 จากนั้น Vallergera and Rananand (1969) ได้ศึกษาดินลูกรังในประเทศไทย พบว่า ดินลูกรังในประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรวด, ทราย, ดินตะกอน, และ ดินเหนียว โดยมีแร่หลักในปริมาณสูง

ตารางที่ 1 ปริมาณซิลิกาและเซสควิออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย

เขตพื้นที่	SiO %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	อัตราส่วนของ SiO ₂ /R ₂ O ₃
Sandy soil	47.0	30.1	12.7	3.2
Basaltic country rock	23.6	39.9	21.8	0.9
Parent material of mix original	31.3	40.0	17.7	1.4
Unknown parent material	37.9	40.1	11.9	2.1

ที่มา : Pendleton and Sharasuvana (1946)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย

คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	0.00	66.0
Liquid limit, %	18	97
พิกัดพลาสติก, %	NP	51
การจำแนกดินตามระบบ AASHTO	A-1-a	A-7-6
Group Index	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	118.00	144.50
ความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด, %	7.00	13.40
California Bearing Ratio, %	7.00	60.00
การบวมตัว, %	0.10	55.00

ที่มา : Morrison (1965)

ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับดินลูกรังที่ใช้ในงานทาง

ข้อกำหนดของ AASHTO มีข้อกำหนดดังนี้

พื้นทางและรองพื้นทาง ตามข้อกำหนดของ AASHTO (1971) คุณสมบัติวัสดุสำหรับพื้นทางและรองพื้นทางมีดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์การซัดสีน้อยกว่าร้อยละ 50
2. ร้อยละของมวลที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกิน 2/3 ของร้อยละของมวลที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40
3. Liquid Limit ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์
4. ดัชนีพลาสติก ไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์

วัสดุสำหรับพื้นทางและรองพื้นทาง ตามข้อกำหนดของ AASHTO แบ่งออกเป็น 5 เกรด
ตามการแจกแจงขนาดอนุภาค ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดคละสำหรับวัสดุสำหรับพื้นทางและรองพื้นทาง

ขนาดช่องตะแกรง	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรง				
	GradeA	GradeB	GradeC	GradeD	GradeE
2" (50.0 มม.)	100	100	-	-	-
1" (25.0 มม.)	-	-	100	100	100
3/8" (9.5 มม.)	30-65	40-75	50-85	60-100	-
No. 4 (4.75 มม.)					
No.10 (2.00 มม.)	15-40	20-45	20-50	40-70	10-100
No.40 (0.425 มม.)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
No.200 (0.075 มม.)	2-8	5-20	5-12	5-20	6-20

ที่มา : AASHTO (1971)

กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย (2532) ได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุสำหรับรองพื้นทาง
ดังนี้

1. Liquid Limit ไม่เกิน 35 เปอร์เซนต์หรือตามที่ระบุในแบบ
2. ดัชนีพลาสติกไม่เกิน 11 เปอร์เซนต์หรือตามที่ระบุในแบบ
3. เปอร์เซนต์การขัดสี ไม่เกินร้อยละ 60
4. Lab C.R.B. ไม่น้อยกว่า 25 – 30 เปอร์เซนต์หรือตามที่กำหนดในแบบ

ข้อกำหนดการแจกแจงขนาดอนุภาค สำหรับวัสดุรองพื้นทาง แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การแจกแจงขนาดอนุภาคสำหรับวัสดุรองพื้นทาง

ขนาดช่องตะแกรง	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรง				
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade D	Grade E
2''	100	100	-	-	-
1''	-	-	100	100	100
3/8''	30-65	40-75	50-85	60-100	-
No.10	15-40	20-45	20-50	40-70	10-100
No.40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
No.200	2-8	5-20	5-12	5-20	5-20

ที่มา : กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย (2532)

Vallerga and Rananand (1969) ได้ศึกษาดินลูกรังในประเทศ และได้ทำการปรับปรุงข้อกำหนดของวัสดุสำหรับพื้นทางและรองพื้นทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย (2509) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับวัสดุที่มีคุณภาพสูงไม่มาก เช่น ดินลูกรัง ไว้ดังนี้คือ

พื้นทาง มีข้อกำหนดขนาดและคุณสมบัติของวัสดุพื้นทาง สำหรับวัสดุพื้นทางในประเทศไทยซึ่งปรับปรุงโดย Vallerga and Rananand (1969) แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การแจกแจงขนาดอนุภาคสำหรับวัสดุพื้นทางในประเทศไทย

ขนาดช่องตะแกรง	พื้นทางชั้นที่ 1		พื้นทางชั้นที่ 2	
	น้ำหนักรที่ผ่านตะแกรง (%)		น้ำหนักรที่ผ่านตะแกรง (%)	
2 ”	100	-	100	-
1 ”	90-100	-	90-100	-
1 ”	-	100	-	100
3 / 4 ”	50-85	90-100	50-100	90-100
No.4	30-55	35-55	25-45	35-55
No.30	10-25	10-30	10-25	10-30
No.200	2-9	2-9	2-12	2-12

ที่มา : Vallergera and Rananand (1969)

การบดอัดดิน

การบดอัดดินเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินวิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปในงานวิศวกรรมโยธาที่ใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น ถนนและเขื่อนดินถม หลักการของการบดอัดดิน คือ การทำให้มวลดินมีความแน่นเพิ่มขึ้นโดยใช้แรงภายนอกมากระทำ เช่น ใช้น้ำหนักกดทับ หรือใช้น้ำหนักกระแทกแรงภายนอกที่มากระทำนี้จะทำให้โครงสร้างของมวลดินแน่นขึ้น กล่าวคือ เมื่อดินเคลื่อนที่ชิดกันมากขึ้นและช่องว่างในมวลดินลดลง นอกจากนี้แล้วอาจทำให้เม็ดดินบางส่วนแตกและเข้าไปเติมในช่องว่างของมวลดินซึ่งจะทำให้มวลดินแน่นขึ้นอีกทางหนึ่งด้วยวัตถุประสงค์หลักของการบดอัดดิน มีดังนี้

1. เพิ่มกำลังรับแรงเฉือน
2. ลดการยุบตัวของมวลดิน
3. ลดความชื้นน้ำของมวลดิน
4. ลดโอกาสเกิด Liquefaction
5. ควบคุมการหดตัว และการบวมตัว
6. เพิ่มความคงทน

การบดอัดที่ดีจะช่วยลดข้อจำกัดในด้านความแปรปรวนของดิน ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบดอัด ทั้งในส่วนที่เป็นดินถมและชั้นดินอ่อนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เทคนิคการบดอัดเกิดขึ้นจากความต้องการก่อสร้างถนนที่สามารถรับปริมาณการจราจรขนาดใหญ่ได้ในยุคเริ่มต้นของศตวรรษที่ 20 นี้ และต่อมาได้มีการพัฒนาในหลักการ และนำไปประยุกต์ใช้กับการก่อสร้างสนามบิน การปรับปรุงคุณภาพชั้นดินอ่อน งานปรับปรุงฐานรากตลอดจนงานดินถมหลังกำแพงกันดิน หรือตอม่อสะพาน การบดอัดดินในลักษณะนี้สามารถใช้ได้ดีกับวัสดุหลายประเภท ทั้งที่เป็นดินธรรมชาติหรือดินผสมสารเคมี เช่น ปูนขาว หรือปูนซีเมนต์ หรือแม้แต่วัสดุที่คล้ายดิน เช่น การปูพื้นผิวด้วยยางแอสฟัลต์ หรือเทคนิคการทำ Roller Compacted Concrete (RCC)

สำหรับงานบดอัดดินในสนามนั้น โดยทั่วไปจะควบคุมคุณภาพของงานบดอัดโดยอาศัยการทดสอบบดอัดในห้องปฏิบัติการเป็นเกณฑ์ในการควบคุม ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของงานนั้น ๆ เช่น งานถนนโดยทั่วไปแล้ว ค่าความแน่นแห้งในสนาม (Field Dry Density, $\gamma_{d,Field}$) จะต้องไม่ต่ำกว่า 95% ของค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density,

$\gamma_{d,max}$) ที่ได้จากการทดสอบห้องปฏิบัติการ และค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content, %W) ในสนามจะต้องอยู่ในช่วง $\pm 2\%$ ของค่าปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC)

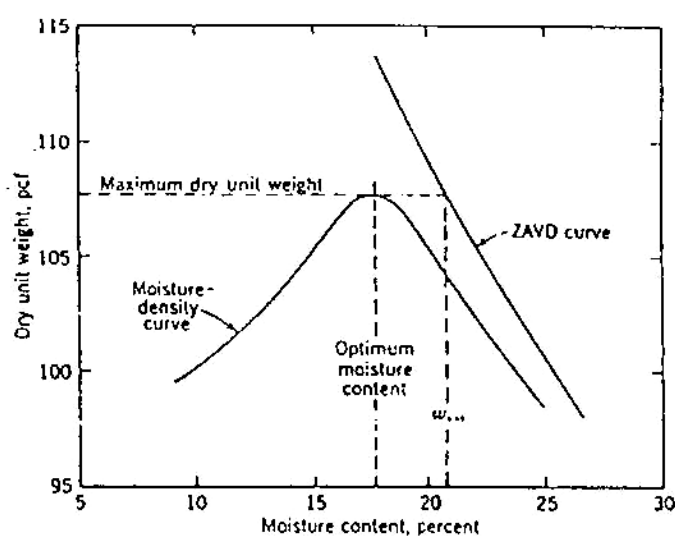
การทดสอบบดอัดดินในห้องปฏิบัติการที่เป็นมาตรฐานในปัจจุบันนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 มาตรฐาน คือ

- Standard Proctor Compaction Test (ASTM ใช้พลังงานในการบดอัด 12400 lb-ft/ft^3)

- Modified Proctor Compaction Test (ASTM ใช้พลังงานในการบดอัด 56000 lb-ft/ft^3)

ผลของการทดสอบบดอัดดินในห้องปฏิบัติการจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้ง (γ_d) แลปริมาณความชื้นในดิน (%w) เป็นรูปประฆังคว่ำ ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยทั่วไปในการแสดงผลการบดอัดดินนั้นควรจะวาดเส้น Zero Air-Void Curves ควบคู่ไปด้วยเสมอ เส้น ZAV Curves เป็นเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง γ_d และ %W เมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (S=100%) สมการของ ZAV Curves ได้แสดงไว้ในสมการที่ 1

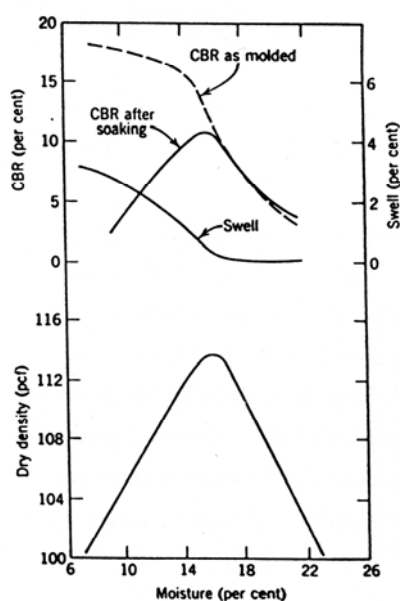
$$\gamma_{d,ZAV} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s / S} \quad \text{-----(1)}$$



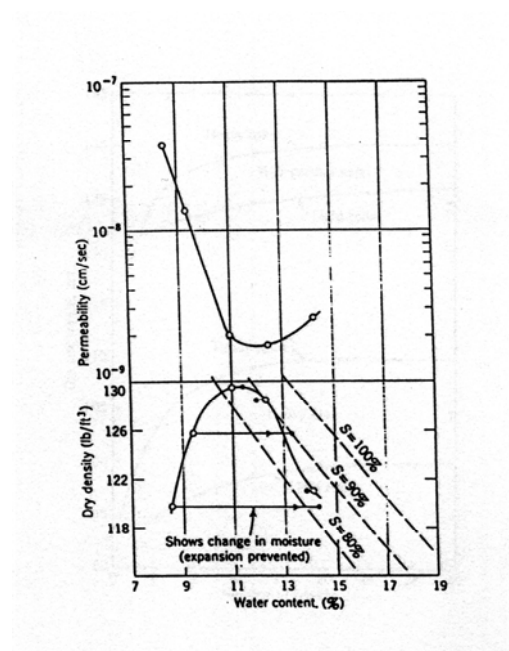
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและปริมาณความชื้นของดินบดอัด

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบดอัด

1. ปริมาณความชื้นในดิน น้ำในดินเป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางวิศวกรรมของดินบดอัด กล่าวคือ เมื่อทำการบดอัดดินที่มีปริมาณความชื้นในดินต่ำกว่าค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินชนิดนั้น (บดอัดในด้านแห้ง) ดินบดอัดจะมีกำลังรับแรงเฉือนและความซึมผ่านของน้ำในมวลดินสูง แต่ในทางกลับกันดินที่ถูกบดอัดโดยมีปริมาณความชื้นในดินสูงกว่าค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินชนิดนั้น (บดอัดในด้านเปียก) จะมีกำลังรับแรงเฉือนและความซึมผ่านของน้ำในมวลดินต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 ดังนั้น ในการก่อสร้างจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมปริมาณความชื้นของดินในการบดอัดเพื่อให้ได้คุณภาพของดินบดอัดที่เหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภท



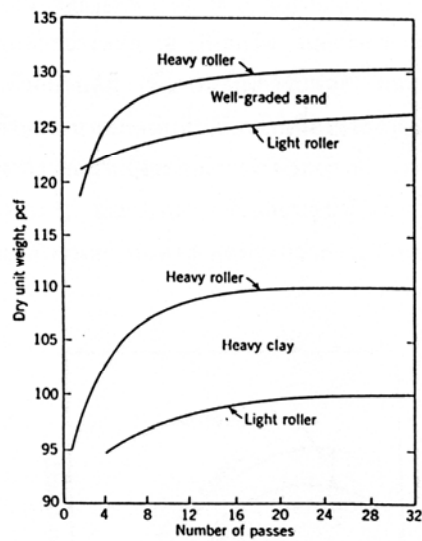
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และปริมาณความชื้นของดินบดอัด



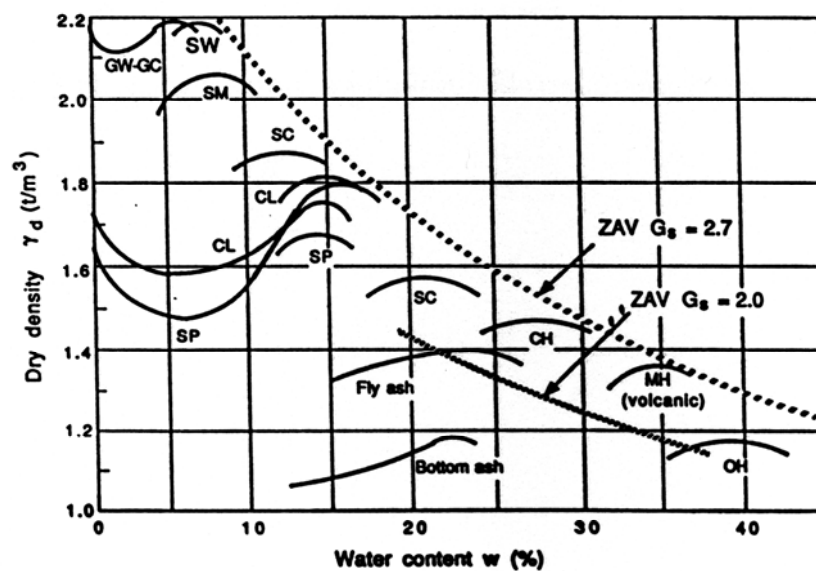
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสปส.ความชื้นน้ำ และปริมาณความชื้นของดินบดอัด

2. พลังงานที่ใช้บดอัด พลังงานที่ใช้ในการบดอัดจะแปรผันตรงกับความแน่นแห้งของดิน บดอัดแต่ละครั้งจะแปรผกผันกับค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการบดอัดในช่วงต้นนั้นจะทำให้ความแน่นแห้งของดินเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่เมื่อเพิ่มพลังงานบดอัดมากขึ้นความแน่นแห้งของดินจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถึงแม้ว่าการใช้พลังงานในการบดอัดที่สูงมากจะทำให้ดินมีความแน่นมากก็ตาม แต่ก็มิได้ผลทำให้เม็ดดินแตกในดินเม็ดหยาบและเกิดผิวหน้าหยาบในดินเหนียว ซึ่งทำให้ดินบดอัดไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ ดังนั้นก่อนเริ่มการก่อสร้างจริงจึงควรทำการทดสอบการบดอัดดินในสนาม (Trial Section) เอาหาจำนวนเที่ยวของการบดอัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณภาพของดินบดอัดตามที่ได้ออกแบบไว้

3. ชนิดของดิน ดินแต่ละชนิดนั้นจะมีสมบัติทางวิศวกรรมที่แตกต่างกันไป ดังนั้นเมื่อนำไปบดอัดก็จะให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบดอัดที่แตกต่างกันไปด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเป็นลักษณะเฉพาะของดินแต่ละชนิด ภาพที่ 6 ได้แสดงกราฟการบดอัดของดินแต่ละชนิดจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินเม็ดหยาบจะมีความแน่นแห้งและกำลังรับแรงเฉือนที่สูงกว่าดินเม็ดละเอียดแต่ก็มีค่าความชื้นเหมาะสมและความตึงน้ำที่ต่ำกว่าดินเม็ดละเอียด ดังนั้น การเลือกวัสดุที่จะนำมาก่อสร้างให้เหมาะสมกับงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

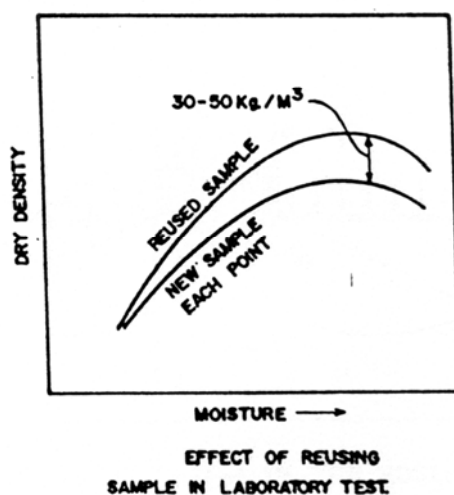


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งสูงสุด และจำนวนเที่ยวของการบดอัด



ภาพที่ 6 กราฟการบดอัดของดินแต่ละชนิดตามการจำแนกประเภทดินระบบ Unified Soil Classification

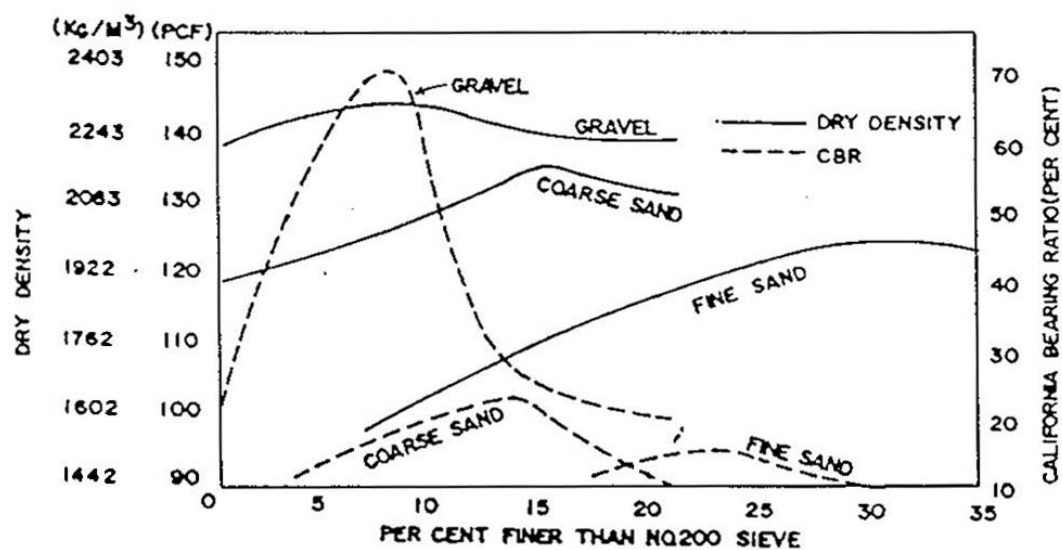
4. การใช้ดินตัวอย่างซ้ำ ตามมาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการนั้นจะใช้ดินตัวอย่างหนัก 6 กิโลกรัม และทำการบดอัดดินตัวอย่างที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ กันโดยใช้ดินตัวอย่างเดิม เพื่อหากราฟการบดอัด ผลของการใช้ตัวอย่างเดิมซ้ำนี้จะทำให้ดินมีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการแตกของเม็ดดินในระหว่างการบดอัด แต่จะแตกต่างจากงานสนามซึ่งจะไม่มีการใช้ตัวอย่างซ้ำ ภาพที่ 7 ได้เปรียบเทียบกราฟการบดอัดที่ใช้ดินตัวอย่างซ้ำ และการบดอัดที่เปลี่ยนดินตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง จะเห็นได้ว่าการใช้ดินตัวอย่างซ้ำนั้นจะให้ความแน่นแห้งสูงสุดที่สูงกว่าการเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ ประมาณ 30-50 กก./ลบ.ม.



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบบดอัดในห้องปฏิบัติการแบบใช้ตัวอย่างซ้ำและไม่ซ้ำ

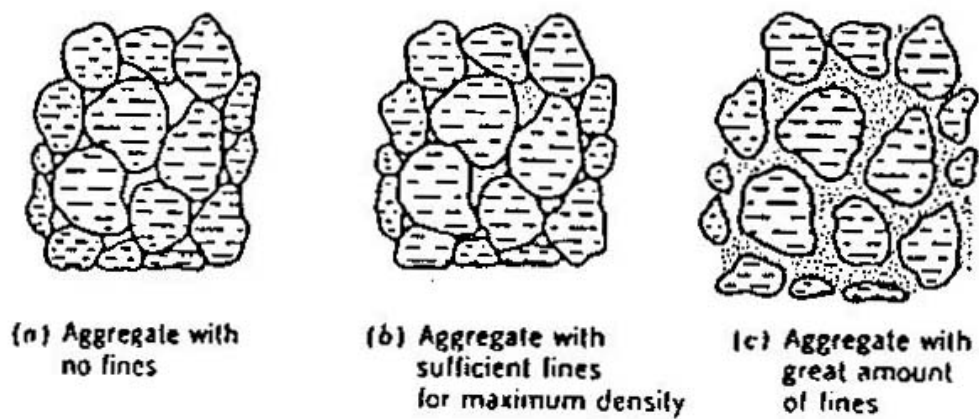
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yoder (1946) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาค่าความแน่นแห้งสูงสุด และค่า % CBR ของดินตัวอย่างที่ได้จากการผสมดินเม็ดหยาบชนิดต่างๆ กับดินที่ผ่านตะแกรง No. 200 ในอัตราส่วนต่างๆ กัน ซึ่งดินที่ผ่านตะแกรง No. 200 ที่ใช้ในการทดสอบนี้มีค่า Liquid Limit เท่ากับ 27 % และมีค่า Plasticity Index เท่ากับ 6 % และใช้พลังงานในการบดอัดที่คงที่ ผลจากการวิจัยได้แสดงไว้ในภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ของความแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณดินที่ผ่านตะแกรง No. 200 จะมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ เนื่องจากในช่วงต้นค่าความแน่นแห้งสูงสุดจะมีค่าต่ำ เนื่องจากไม่มีดินเม็ดละเอียดเข้าไปเติมในช่องว่างของดินเม็ดใหญ่ ต่อมาในช่วงกลางค่าความแน่นแห้งสูงสุดจะมีค่าสูงสุด เพราะมีปริมาณดินเม็ดละเอียดเข้าไปเติมในช่องว่างของดินเม็ดใหญ่ได้พอดีจึงมีช่องว่างในมวลดินน้อยมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้โครงสร้างของมวลดินเปลี่ยนไปโดยดินเม็ดใหญ่จะลอยอยู่ในดินเม็ดเล็ก ดังนั้นการบดอัดจึงเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ทำให้ค่าความแน่นแห้งสูงสุดลดลง จากความสัมพันธ์นี้ Yoder ได้แบ่งโครงสร้างของดินเป็น 3 ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 9 ในภาพที่ 9 (a) ดินกลุ่มนี้เป็นดินที่มีดินเม็ดละเอียดอยู่น้อยหรือไม่มีเลย โครงสร้างจะเป็นดินเม็ดใหญ่สัมผัสกันมีช่องว่างในดินมากจึงมีความแน่นแห้งที่ต่ำ มีความชื้นน้ำสูง มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำปานกลาง ไม่มีปัญหาเนื่องจากการแข็งตัวของน้ำในมวลดิน และบดอัดได้ยากเนื่องจากไม่มีความเชื่อมแน่นและมีแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินสูง ในภาพที่ 9 (b) ดินกลุ่มนี้จะมีปริมาณดินเม็ดละเอียดที่พอเหมาะโครงสร้างจะเป็นดินเม็ดใหญ่ที่สัมผัสกันและมีดินเม็ดละเอียดอุดอยู่ในช่องว่างจนเต็ม ทำให้มีความแน่นแห้งสูง มีความชื้นน้ำต่ำ มีกำลังรับแรงเฉือนสูง บดอัดง่าย แต่มีปัญหาเนื่องจากการแข็งตัวของน้ำในมวลดิน ในภาพที่ 9 (c) ดินกลุ่มนี้จะมีปริมาณดินเม็ดละเอียดมากเกินไปทำให้ดินเม็ดใหญ่ไม่สัมผัสกันและลอยอยู่ในดินเม็ดละเอียด จึงมีความแน่นแห้งที่ต่ำ มีความชื้นน้ำต่ำ กำลังรับแรงเฉือนขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงเฉือนของดินเม็ดละเอียด บดอัดได้ง่าย แต่มีปัญหาเนื่องจากการแข็งตัวของน้ำในมวลดิน



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความแน่นแห้งสูงสุด และ ปริมาณมวลละเอียดที่ผสมอยู่ในมวลรวมหยาบ

ที่มา : Yoder (1946)

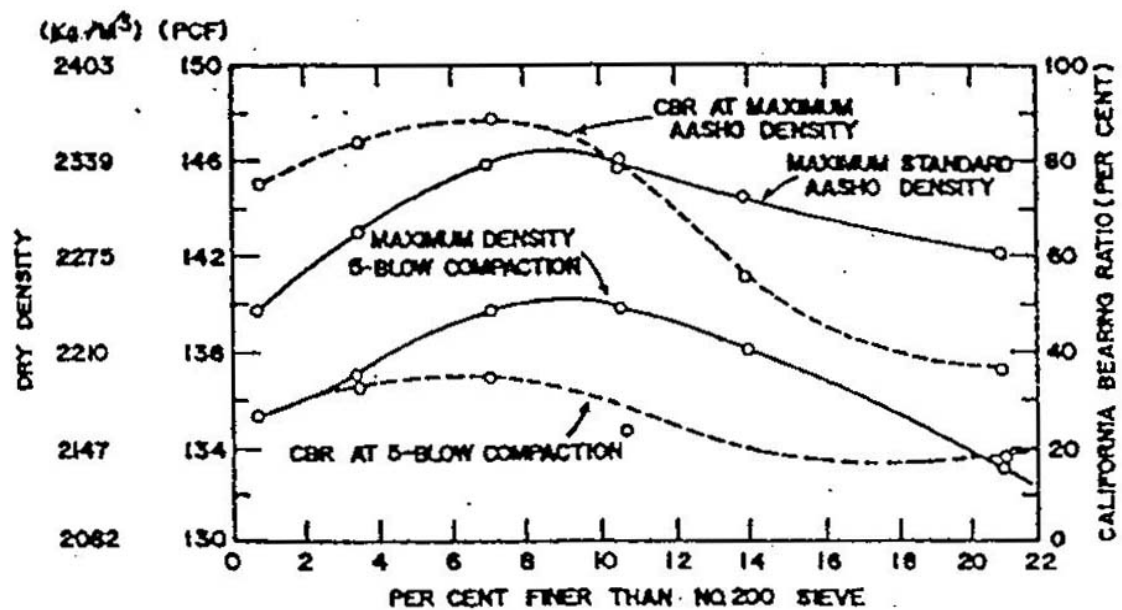


ภาพที่ 9 โครงสร้างของมวลดิน

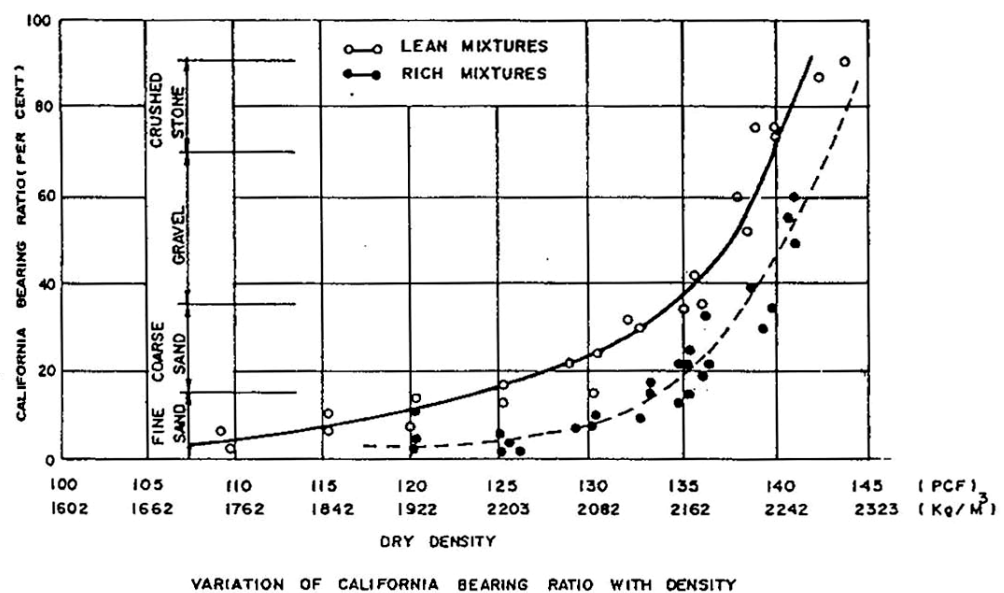
Vasilyeva and Tkachenko (1978) ได้ศึกษาค่ากำลังรับแรงเฉือนของกรวดซึ่งผสมดินเม็ดละเอียดในอัตราส่วนต่างๆกัน และพบว่ากำลังรับแรงเฉือนของกรวดซึ่งมีดินเม็ดละเอียดผสมอยู่มากกว่า 40 % จะมีค่าใกล้เคียงกับกำลังรับแรงเฉือนของดินเม็ดละเอียด

ต่อมาในยุคหลังจึงได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบดอัดที่ประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด และพิจารณาถึงรูปร่างของกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมากขึ้น แต่เนื่องจากกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินนั้นมีรูปร่างหลายลักษณะ และการจะศึกษาให้ได้ความสัมพันธ์ที่ชัดเจนนั้นต้องอาศัยข้อมูลเป็นจำนวนมาก จึงมีการตั้งสมมติฐานของรูปร่างของกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินที่จะทำการศึกษาที่แตกต่างกันไป

จิรพัฒน์ (2529) ได้ศึกษาผลของปริมาณมวลละเอียดที่ผสมในหินต่อความหนาแน่นแห้ง γ_d และ C.B.R. พบว่าค่าความหนาแน่นแห้ง γ_d สูงสุดเมื่อมีมวลละเอียดประมาณ 8 — 12 % ส่วนค่า C.B.R. สูงสุด เมื่อมีปริมาณมวลละเอียด 6 — 8 % ดังภาพที่ 10 และค่า γ_d และ C.B.R. จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดวัสดุใหญ่ขึ้น โดยค่า C.B.R. สูงสุดจะมีปริมาณมวลละเอียดต่ำกว่าที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเล็กน้อย ดังภาพที่ 10 นอกจากนี้ ยังพบว่าวัสดุที่มีมวลละเอียดน้อยกว่า (Lean Mix) จะให้ค่า C.B.R. สูงกว่าวัสดุที่มีมวลละเอียดผสมอยู่เป็นจำนวนมาก (Rich Mix) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ผลของปริมาณมวลละเอียดที่ผสมในหินต่อความแน่นแห้ง (γ_d) และ C.B.R.



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบ C.B.R. กับ ความแน่นแห้งของวัสดุที่มีมวลละเอียดในจำนวนไม่เท่ากัน

Aberg (1992) ได้ศึกษาวิจัยถึงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินและอัตราส่วนช่องว่างของมวลดินโดยใช้หลัก Grain Chord และ Void Chord ของ Tomlkeieff มาใช้ร่วมกับสมมติฐานที่ว่า ดินที่แน่นที่สุดคือ ดินที่มีโครงสร้างหลักเป็นดินเม็ดใหญ่ และมีดินเม็ดกลางอุดอยู่ในช่องว่างของดินเม็ดใหญ่จนเต็มและก็มีดินเม็ดเล็กอุดอยู่ในช่องว่างของดินเม็ดกลางจนเต็มออกมาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ และได้ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งผลที่ได้ ชัดแย้งกับความเข้าใจที่ว่า ดินที่มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินไม่ดีมีการขาดหายไปของดินบางขนาดจะมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำ Aberg (1996) ได้กล่าวว่าดินที่มีความแน่นแห้งสูง ไม่ใช่ดินที่มีการกระจายตัวของเม็ดดินเป็นแบบ Well Graded Soil เท่านั้น ดินที่มีลักษณะการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Gap Graded Soil ก็สามารถทำให้ดินมีความแน่นแห้งสูงและเม็ดดินแบบ Gap Graded Soil ยังให้อัตราส่วนของช่องว่างที่น้อยที่สุดด้วย โดยสามารถสรุปได้ว่า ดินที่มีอัตราส่วนช่องว่างของดินที่น้อยที่สุด ควรจะเป็นดังนี้

1. Gap grade grain size distribution
2. A high ratio of d_{100}/d_0 (ratio of the largest and smallest grain sizes)
3. Clay particle (having low activity) to fill in the smallest void space
4. A process such as compaction or the weight of glaciers to compress the soil particles into dense arrangements

แต่ได้มีนักวิจัยบางท่านได้ให้ข้อเสนอแนะ Well Graded Grain Size Distribution น่าจะมีอัตราส่วนช่องว่างของดินที่น้อยกว่า Gap Graded Grain Size Distribution ดังนั้นควรมีผู้ทำวิจัยในเรื่องนี้ต่อไป

Fres kifi Boadn (2000) ได้ศึกษาหาค่า Permeability จาก Grain Size Distribution Porosity และ Bulk Density โดยได้พัฒนาจากการศึกษาของ Kozeny ,Carmen และ Hazen ซึ่งศึกษาพบว่า Permeability จาก Grain Size โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากการศึกษา Boadn (2000) โดยใช้ Regression Model ซึ่งให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับการทดลองในห้องปฏิบัติการแบบเดิมๆ ซึ่งอาจจะใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการเลือกใช้หาค่า Permeability กับตัวอย่างที่ยากต่อการเตรียมและต้องใช้เวลาในการทดสอบนานๆ

ธนัช (2544) ได้ศึกษาผลของ Grain Size Distribution ของดินลูกรังที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรม โดยใช้ดินลูกรังจากอำเภอบุศบัก จังหวัดสระบุรี โดยนำมาร่อนแยกขนาดและนำเม็ดดินแต่ละขนาดมาผสมกันให้ได้การกระจายตัวของเม็ดดินลักษณะต่างๆกันตามที่กำหนดไว้ตัวอย่างเหล่านี้จะมีขนาดเม็ดดินเล็กกว่า $3/4''$ และมีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินอยู่ใน Grade A ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวิศวกรรมของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยจำนวนทั้งสิ้น 58 ตัวอย่าง จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม จะพบว่าดินบดอัดที่มีการกระจายตัวของเม็ดดินแบบ Gap กลับให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีเช่นเดียวกับดินบดอัดที่มีการกระจายตัวของเม็ดดินแบบ Well Grade คือ มีความหนาแน่นสูงสุดที่สูงอยู่ในช่วง $1.948 - 2.035 \text{ T/m}^3$ มีความชื้นน้ำต่ำ อยู่ในช่วง $2 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ และมีค่า CBR. แบบแช่น้ำที่สูงอยู่ในช่วง 38-88 %

ความแข็งแรงทนทานของเม็ดดิน

Markwick and Shergold (1946) ได้ศึกษาถึงการผันแปรของผลการทดลองตามมาตรฐานอังกฤษในการทดลองกลสมบัติของวัสดุหินสร้างทางและตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาในการทดลอง Los Angeles Abrasion ผลการศึกษา พบว่า การทดลองหาความแข็งแรง (Strength Test) ของหินย่อย โดยการทดลองหาค่าการแตกหักของหินเมื่อถูกแรงกระแทก (Impact) แรงบดขยี้ (Crushing) และแรงขัดสี (Abrasion) เทียบกับการทดลองโดยวิธี Wet and Dry Attrition (Deval Test) ซึ่งเป็นการทดลองวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะให้ผลทดลองที่เชื่อถือได้น้อย ตรงกันข้ามกับการทดลองโดยใช้หินย่อยเพียงครั้งเดียวโดยวิธีการทดลอง Aggregate Crushing, Aggregate Impact, Los Angeles Abrasion อย่างใดอย่างหนึ่งได้ผลเป็นที่เชื่อถือได้ดี และสามารถเป็นตัวแทนในการทดลองวัสดุทั้งหมดเหล่านั้นได้ จึงสรุปวิธีการทดลองวัสดุหินที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุสร้างทางจะต้องเป็นวัสดุที่ใช้ในงานนั้นจริง ๆ เป็นชนิดเดียวกัน และเป็นวัสดุทั้งหมดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ (Shergold, 1946) ได้หาความสัมพันธ์ของผลการทดลองกับพฤติกรรมบริการของขดยาน (Service Behavior) พบว่า ผลการทดลองของตัวอย่างหินกับพฤติกรรมบริการขดยานยากที่จะมีความสัมพันธ์กันจนทำให้ไม่ได้ข้อมูลที่จำเป็นในการคาดการณ์ถึงพฤติกรรมของวัสดุเหล่านั้นขณะที่ใช้งานวันเสียแต่จะมีช่วงที่จะยอมรับพฤติกรรมขณะที่ใช้งานได้กว้างมากเท่านั้น สรุปว่ามวลวัสดุที่ทดลองโดยวิธี Aggregate Crushing และ Los Angeles Abrasion จะมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดีสำหรับมวลวัสดุทุกชนิดที่ใช้เป็นวัสดุสร้างทาง

Shergold (1948), Shergold and Lewis (1949) ได้พบว่า Los Angeles Abrasion กับ Aggregate Crushing Value เมื่อค่าดังกล่าวไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าวาลขนาดของมวลลง จะมีผลทำให้ค่าของ Los Angeles Abrasion สูงกว่าค่า Aggregate Crushing Value นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Aggregate Crushing Value กับ Aggregate Impact Value เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ส่วนมวลวัสดุที่เหนียว เช่น หินปูน และ Porphyry จะมีค่า Aggregate Crushing Value จะสูงกว่าค่า Aggregate Impact Value เล็กน้อย

การทดลองโดยวิธี ACV ไม่สามารถแสดงความแตกต่าง ๆ ให้เห็นได้ชัดเจนสำหรับหินที่มีค่า ACV สูงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนละเอียดที่เกิดขึ้นจะไปอุดช่องว่างและจะช่วยต้านทานแรงอัดที่กระทำลงไป เพื่อแก้ปัญหานี้ Road Research Laboratory (1962) จึงได้ดัดแปลงวิธีการทดลองให้สามารถใช้กับหินชนิดอ่อนได้โดยใช้วิธี Ten Percent Fines Test ซึ่งพัฒนามาจากวิธี ACV นั่นเอง

Morin and Todor (1975) ได้ศึกษาถึงความทนทาน (Durability) ของ Ironstone และ Concretionary Gravel ในอเมริกาใต้ โดยทำการทดลองหลายวิธี เช่น Repetitive Load test, Slake – Durability, Los Angeles Abrasion, Hardness Index, Aggregate Impact Test จากการทดลองพบว่าค่า LAA มีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 35 – 80 เปอร์เซ็นต์ และค่า AIV มีค่าตั้งแต่ 30 -72 เปอร์เซ็นต์ และได้ระบุว่ากรมทางหลวงแห่งประเทศไทยได้กำหนดค่า LAA สูงสุดไม่เกินร้อยละ 40 สำหรับการก่อสร้างพื้นทางของถนนในประเทศบราซิล

นอกจากนี้ Morin and Todor (1975) ยังได้แสดงถึงคุณสมบัติค่า Aggregate Impact Value และค่า Slake – Durability Index ของมวลวัสดุตามระดับคุณภาพ ดังแสดงในตารางที่ 6 และกล่าวถึงข้อกำหนดค่า Los Angeles Abrasion ว่าโดยทั่วไปนิยมนำข้อกำหนดค่า Los Angeles Abrasion สูงสุดสำหรับวัสดุพื้นทางไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6 แสดงค่า Aggregate Impact Value และค่า Slake – Durability Index ของมวลวัสดุตามระดับคุณภาพ

AIV (ร้อยละ)	Slake – Durability Index, I_d (ร้อยละ)	ระดับคุณภาพ
< 35	> 97	ดีมาก
33 - 40	94 – 97	ดี – พอใช้
< 40	< 94	เลว

ที่มา : Morin and Todor (1975)

การเตรียมตัวอย่างดินที่จะทำการทดสอบ และ การเรียกชื่อตัวอย่างดิน

ในงานวิจัยนี้จะสนใจการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินที่อยู่บริเวณกลุ่ม Grade B ของมาตรฐานชั้นรองพื้น ทางวัสดุมวลรวม ของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย

ตัวอย่างดิน ประกอบด้วยเม็ดดินที่มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินอยู่ในช่วง Grade B จำนวน 32 ตัวอย่าง ดังภาพที่ 15-18 และตารางที่ 7-14 จะใช้สัญลักษณ์ B-45-1-P –(1) โดยที่

B คือ Grade B

45 คือ เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8 "

1 คือ หมายเลขของตัวอย่าง

P คือ Poorly Grade

G คือ Poorly Grade ซึ่งเป็นแบบ Gap Grade

W คือ Well Grade

(1) คือ แหล่งที่ ราชบุรี

(2) คือ แหล่งที่ พิษณุโลก

(3) คือ แหล่งที่ สระบุรี

กลุ่มดินตัวอย่าง

1. ตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี

ชนิดของวัสดุ : กรวดแม่น้ำ เม็ดดินมีลักษณะกลมมน
 ดังแสดงในภาพที่ 12

ที่ตั้ง : อ.เมือง จ.สระบุรี

สภาพภูมิประเทศ : เป็นแม่น้ำ

2. ตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก

ชนิดของวัสดุ : ดินลูกรังสีน้ำตาลแดง เม็ดดินมีลักษณะเหลี่ยมมน
 ดังแสดงในภาพที่ 13

ที่ตั้ง : อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก

สภาพภูมิประเทศ : เป็นที่ราบทุ่งนา ลักษณะชั้นดินลูกรังมีความหนาประมาณ
 0.50-1.50 เมตร

3. ตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี

ชนิดของวัสดุ : ดินลูกรังสีน้ำตาล เม็ดดินมีลักษณะเหลี่ยมคม
 ดังแสดงในภาพที่ 14

ที่ตั้ง : อ.พุแค จ.สระบุรี

สภาพภูมิประเทศ : เป็นที่อกเขาสูง ความสูงของภูเขาที่ใช้ลูกรังมีความสูง
 มากกว่า 5 เมตร



ภาพที่ 12 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดดินของดินตัวอย่างแหล่งราชบุรี



ภาพที่ 13 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดดินของดินตัวอย่างแหล่งพิษณุโลก



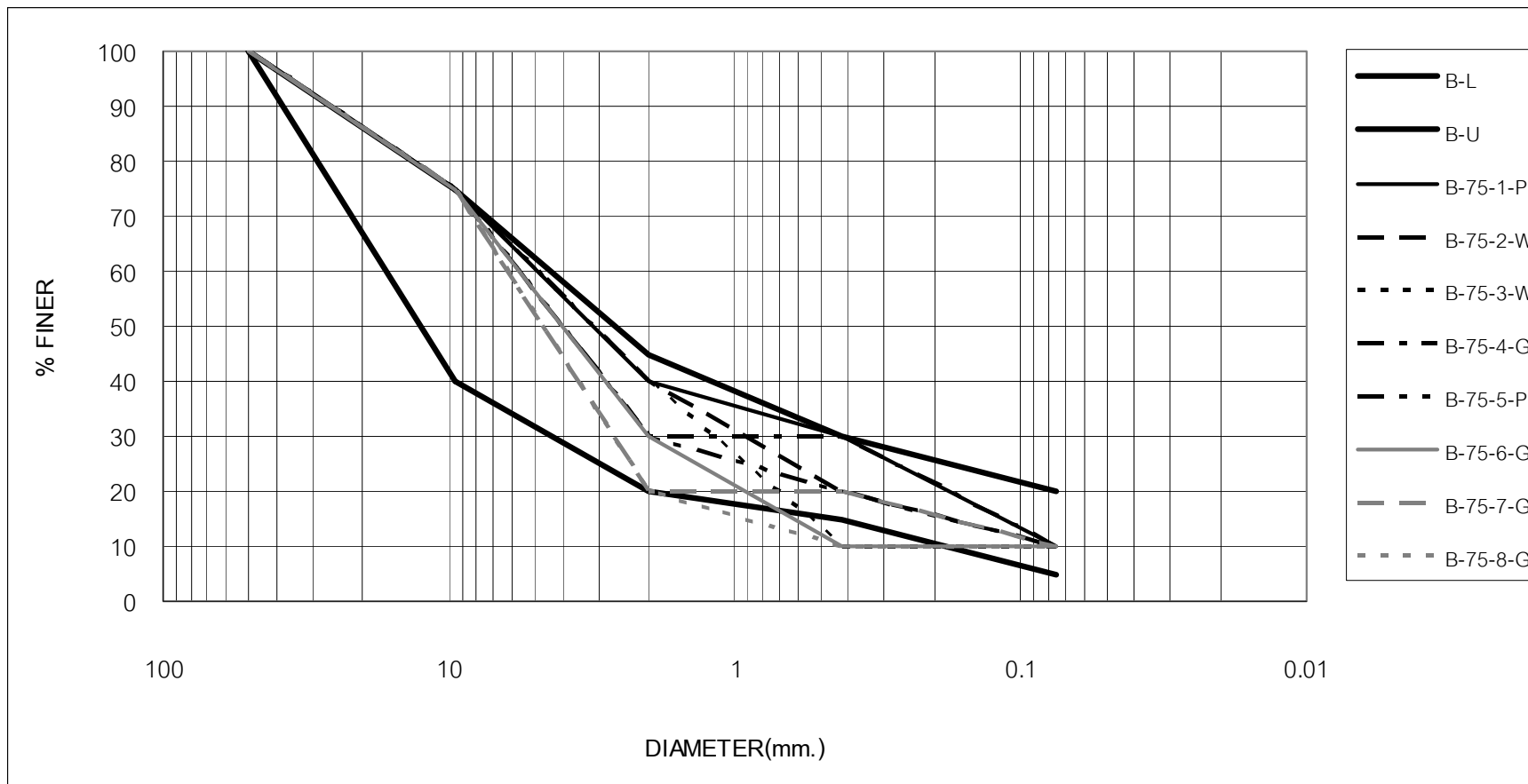
ภาพที่ 14 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดดินของดินตัวอย่างแหล่งสระบุรี

ตารางที่ 7 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน B-75

Sieve No.	Size (mm.)	B-75-1	B-75-2	B-75-3	B-75-4	B-75-5	B-75-6	B-75-7	B-75-8
2"	50.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	75	75	75	75	75	75	75	75
#10	2.000	40	40	40	30	30	30	20	20
#40	0.425	30	20	10	30	20	10	20	10
#200	0.075	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 8 แสดงการหาขนาดกละของตัวอย่าง B-75

Size	B-75-1	B-75-2	B-75-3	B-75-4	B-75-5	B-75-6	B-75-7	B-75-8
D ₁₀	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
D ₃₀	0.450	1.000	1.200	2.000	2.000	2.000	3.000	3.000
D ₆₀	5.000	5.000	5.000	5.500	5.500	5.500	6.000	6.000
C _U	66.667	66.667	66.667	73.333	73.333	73.333	80.000	80.000
C _C	0.540	2.667	3.840	9.697	9.697	9.697	20.000	20.000
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G



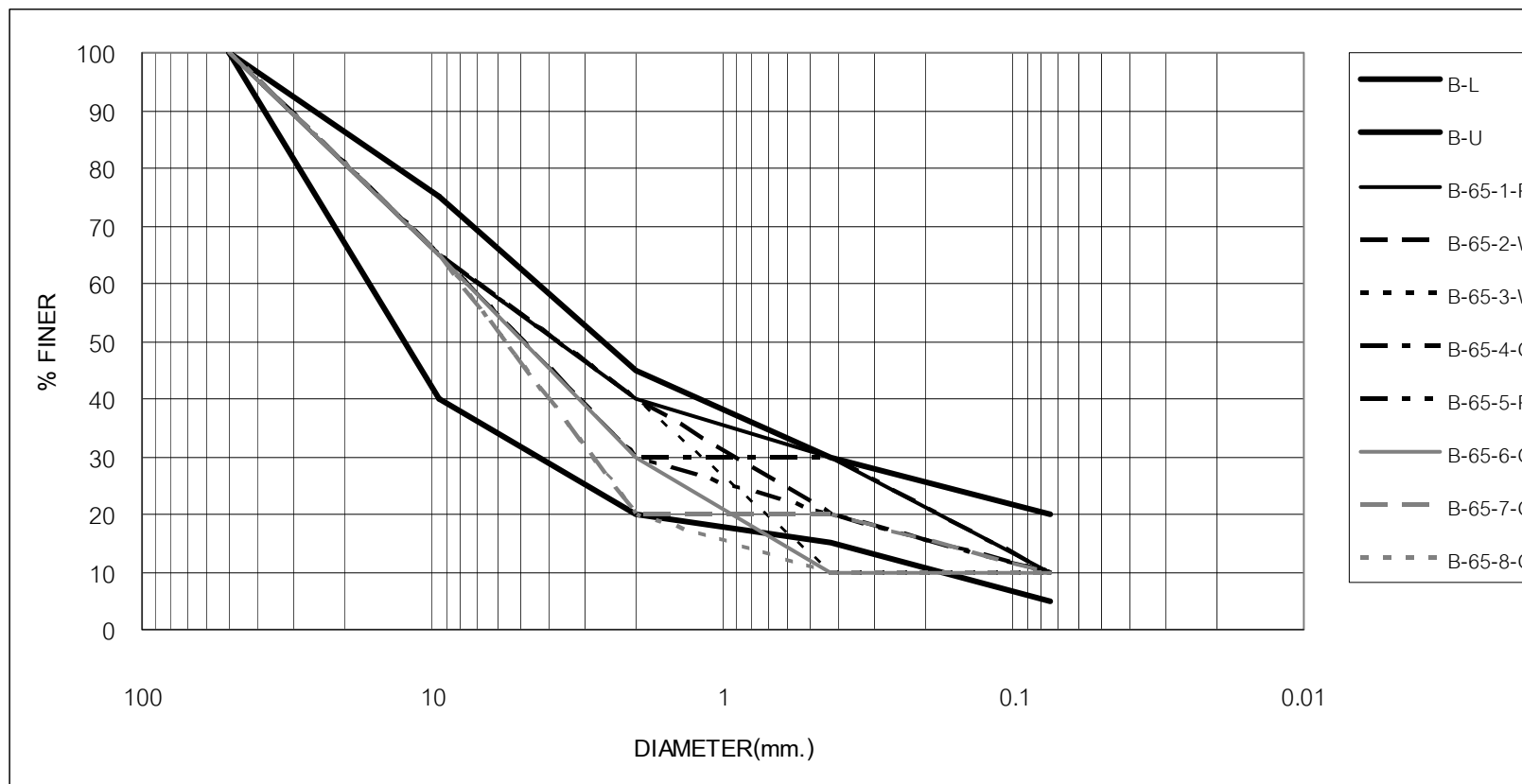
ภาพที่ 15 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของกลุ่มดินตัวอย่าง B-75

ตารางที่ 9 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน B-65

Sieve No.	Size (mm.)	B-65-1	B-65-2	B-65-3	B-65-4	B-65-5	B-65-6	B-65-7	B-65-8
2"	50.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	65	65	65	65	65	65	65	65
#10	2.000	40	40	40	30	30	30	20	20
#40	0.425	30	20	10	30	20	10	20	10
#200	0.075	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 10 แสดงการหาขนาดคละของตัวอย่าง B-65

Size	B-65-1	B-65-2	B-65-3	B-65-4	B-65-5	B-65-6	B-65-7	B-65-8
D ₁₀	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
D ₃₀	0.450	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000	3.000	3.000
D ₆₀	7.000	7.000	7.000	7.500	7.500	7.500	8.000	8.000
C _u	93.333	93.333	93.333	100.000	100.000	100.000	106.667	106.667
C _c	0.386	1.905	1.905	7.111	7.111	7.111	15.000	15.000
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G



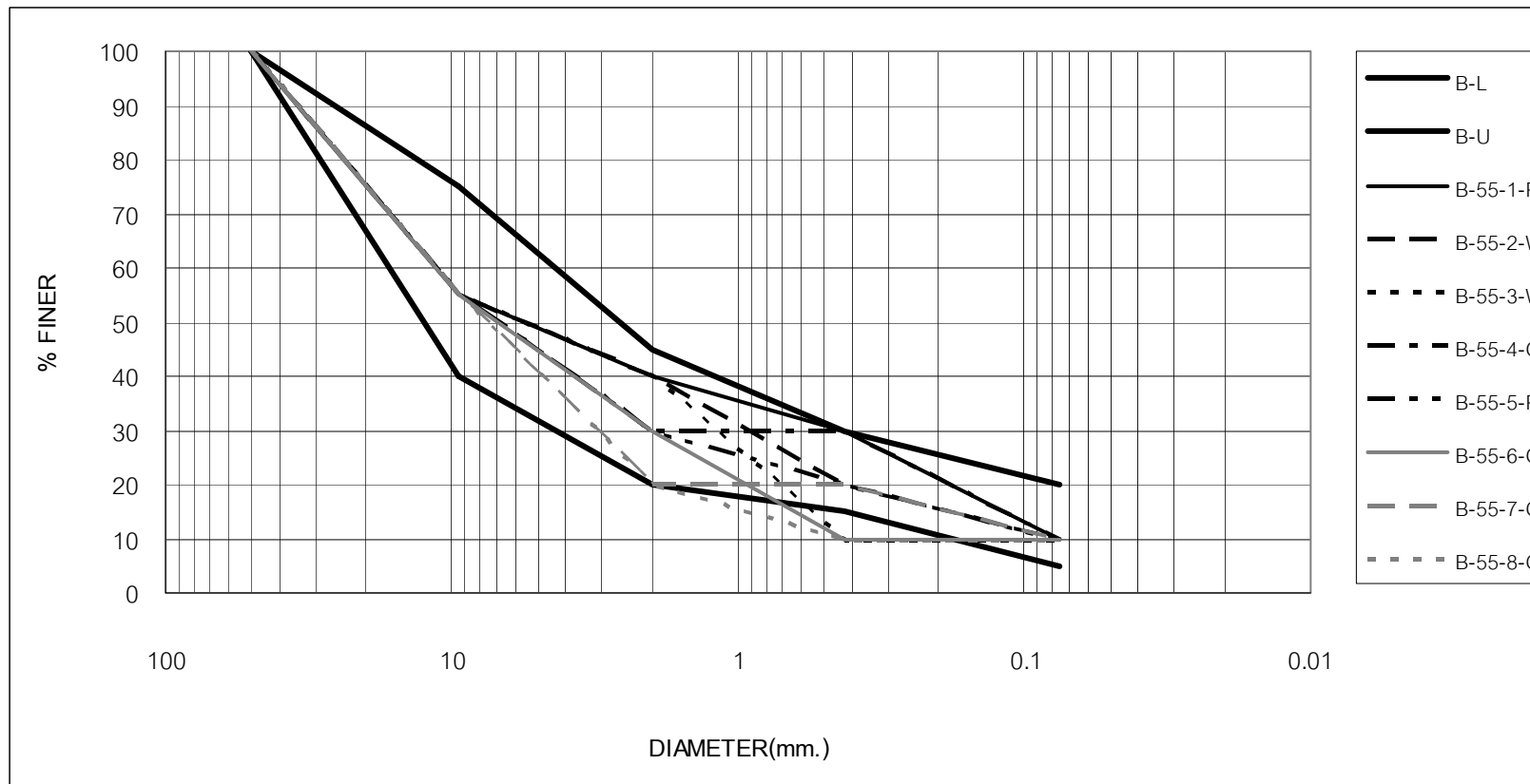
ภาพที่ 16 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของกลุ่มดินตัวอย่าง B-65

ตารางที่ 11 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน B-55

Sieve No.	Size (mm.)	B-55-1	B-55-2	B-55-3	B-55-4	B-55-5	B-55-6	B-55-7	B-55-8
2"	50.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	55	55	55	55	55	55	55	55
#10	2.000	40	40	40	30	30	30	20	20
#40	0.425	30	20	10	30	20	10	20	10
#200	0.075	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 12 แสดงการหาขนาดคละของตัวอย่าง B-55

Size	B-55-1	B-55-2	B-55-3	B-55-4	B-55-5	B-55-6	B-55-7	B-55-8
D ₁₀	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
D ₃₀	0.450	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000	2.500	2.500
D ₆₀	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
C _U	173.333	173.333	173.333	173.333	173.333	173.333	173.333	173.333
C _C	0.208	1.026	1.026	4.103	4.103	4.103	6.410	6.410
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G



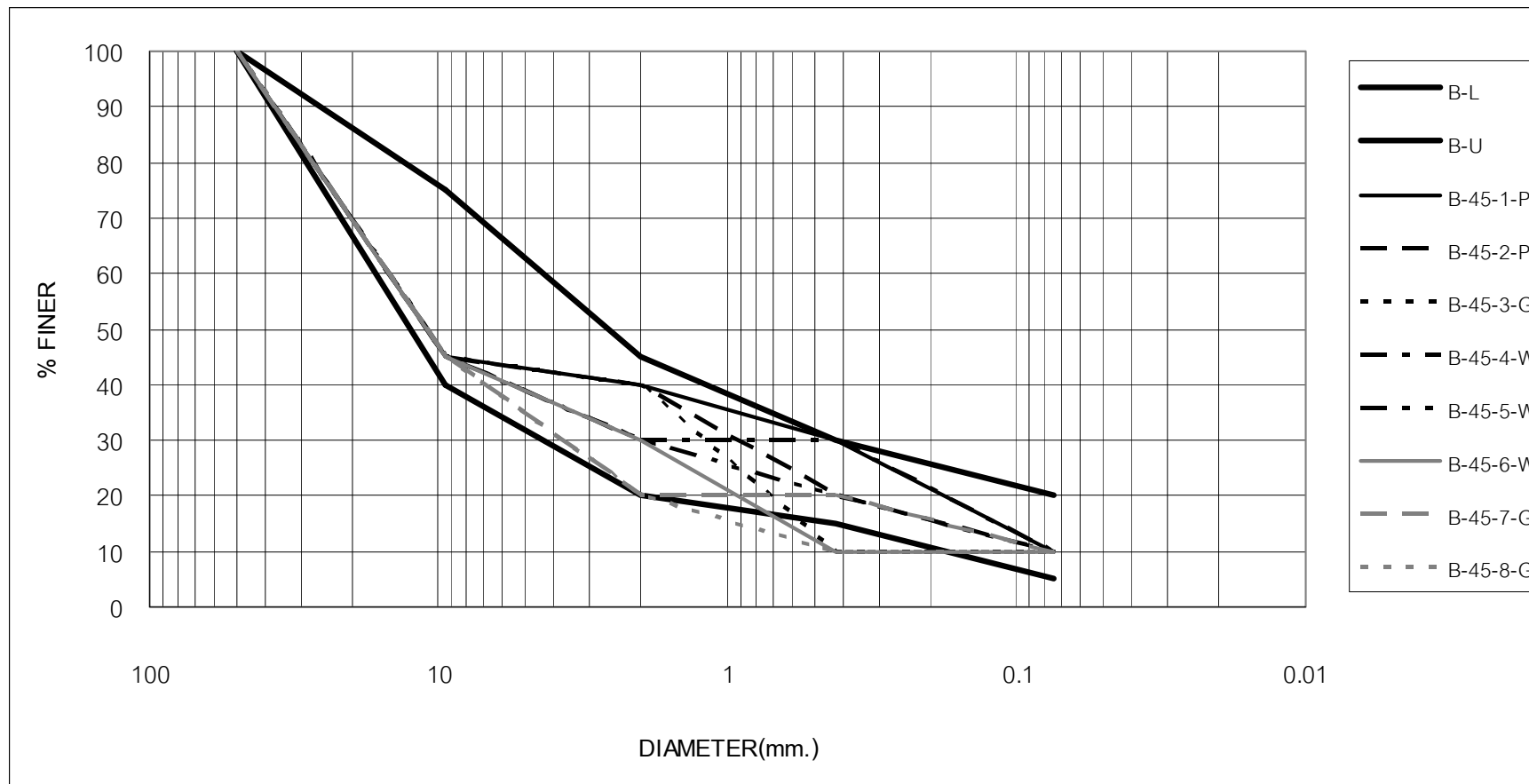
ภาพที่ 17 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของกลุ่มดินตัวอย่าง B-55

ตารางที่ 13 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน B-45

Sieve No.	Size (mm.)	B-45-1	B-45-2	B-45-3	B-45-4	B-45-5	B-45-6	B-45-7	B-45-8
2"	50.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	45	45	45	45	45	45	45	45
#10	2.000	40	40	40	30	30	30	20	20
#40	0.425	30	20	10	30	20	10	20	10
#200	0.075	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 14 แสดงการหาขนาดคละของตัวอย่าง B-45

Size	B-45-1	B-45-2	B-45-3	B-45-4	B-45-5	B-45-6	B-45-7	B-45-8
D ₁₀	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
D ₃₀	0.450	1.000	1.000	1.300	2.000	2.000	4.500	4.500
D ₆₀	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000
C _U	226.667	226.667	226.667	226.667	226.667	226.667	226.667	226.667
C _C	0.159	0.784	0.784	1.325	3.137	3.137	15.882	15.882
Grade	P	P	G	W	W	W	G	G



ภาพที่ 18 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของกลุ่มดินตัวอย่าง B-45

อุปกรณ์ และวิธีการ

อุปกรณ์

1. การทดสอบ Natural Water Content (ASTM D2216 , D2217 , D 4643)
2. การทดสอบ Specific Gravity (ทล.- ท 207/2517)
3. การทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution) อ้างอิงจากมาตรฐาน
ทล.- ท 204/2517
4. การทดสอบหาค่า Atterberg 's Limit อ้างอิงจากมาตรฐาน ทล.- ท 102-103/2515
5. การทดสอบค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles
Abrasion อ้างอิงมาตรฐาน ทล.- ท 202/2515
6. การทดสอบหาค่าการแตกหักของมวลรวม (Aggregate Impact Value , AIV) อ้างอิงจาก
มาตรฐาน B.S. 812 : 1967
7. การทดสอบหาค่าการแตกหักของมวลรวมเมื่อถูกแรงบดขยี้ (Aggregate Crushing
Value , ACV) อ้างอิงจากมาตรฐาน B.S. 812 : 1967
8. การทดสอบหาค่าความต้านทานของมวลรวมต่อการแตกสลายตัว (Slake Durability
Index) อ้างอิงจากมาตรฐาน ISRM 1922
9. การทดสอบบดอัดในห้องปฏิบัติการทดสอบด้วยวิธี Modified Proctor Compaction
อ้างอิงจาก มาตรฐาน ทล.- ท 108/2617
10. การทดสอบกำลังรับน้ำหนัก California Bearing Ratio (C.B.R.) แบบ Soak อ้างอิง
จากมาตรฐาน ทล.- ท 109/2517

11. การทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำ อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2434-68

วิธีการ

1. ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินธรรมชาติในเบื้องต้น ได้แก่

- 1.1 Natural Water Content Test (ASTM D2216 , D2217 ,D464)
- 1.2 Specific Gravity Test (ทล.- ท 207/2517)
- 1.3 Atterberg 's Limit Test (ทล.- ท 102-103/2515)
- 1.4 Grain Size Distribution Test (ทล.- ท 204/2515)
- 1.5 Abrasion Test (ทล.- ท 202/2515)
- 1.6 Aggregate Impact Value (B.S. 812: 1967)
- 1.7 Aggregate Crushing Value (B.S. 818 : 1967)
- 1.8 Slake Durability Index (ISRM 1972)
- 1.9 Modification Compaction Test (ทล.- ท 108/2517)
- 1.10 California Bearing Ratio แบบ Soaked (ทล.- ท 109/2517)
- 1.11 Permeability Test (ASTM D 2434-68)

2. นำดินตัวอย่างมาทำการคัดรูปร่าง ด้วยการร่อนตะแกรง 3/4 ”, 3/8 ”, #4, #10, #40, #200 นำตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละเบอร์เก็บไว้เพื่อนำกลับมาผสมกันใหม่ให้ได้การกระจายตัวของเม็ดดินตามที่ได้ออกแบบไว้

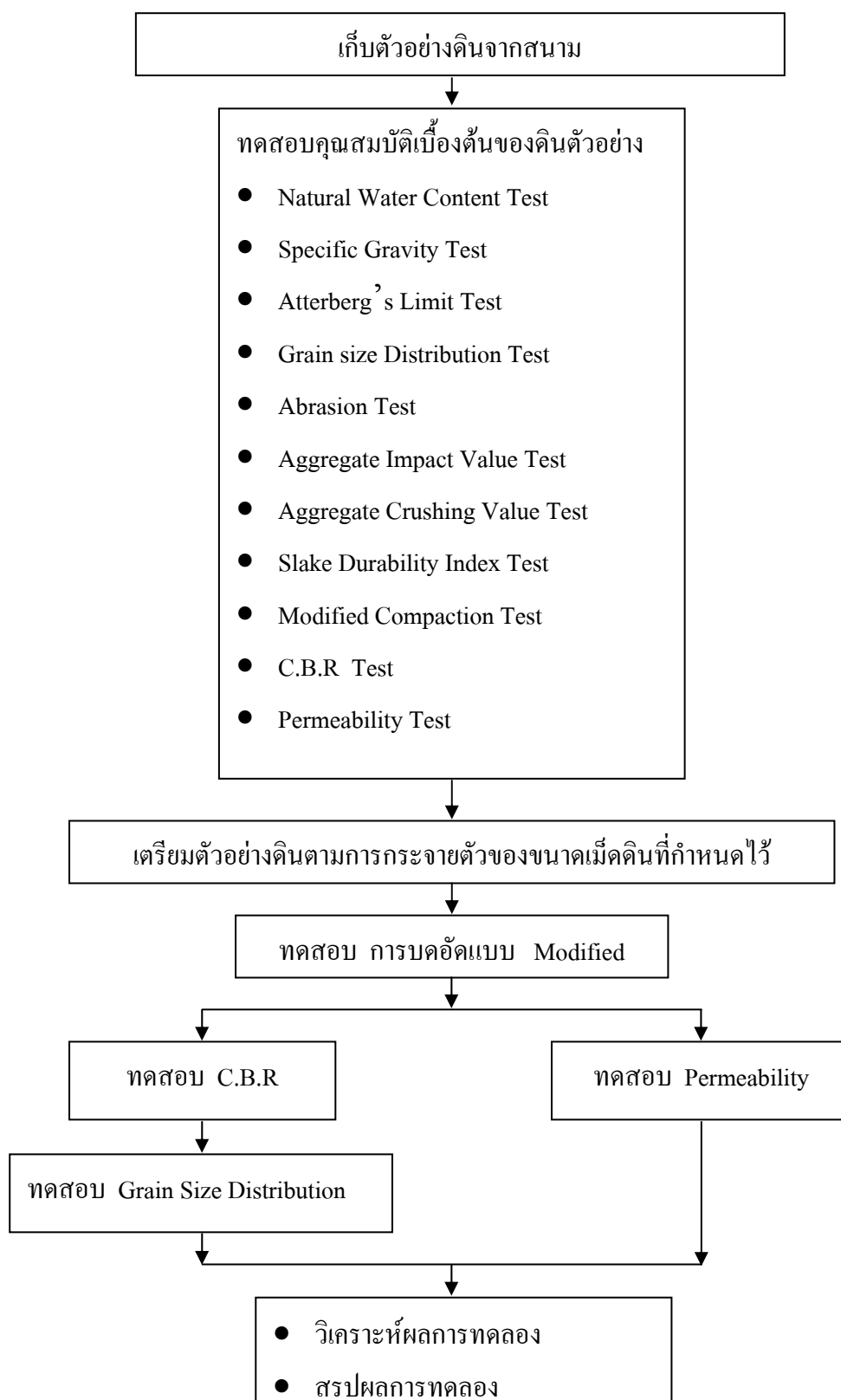
3. ทำการบดอัดดินตัวอย่างเพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินตัวอย่าง

4. ทดสอบกำลังรับน้ำหนัก California Bearing Ratio (C.B.R.) แบบ Soaked

5. ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของดินตัวอย่าง

6. ทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดิน ของดินตัวอย่างหลังการบดอัด เพื่อ ตรวจสอบ ปริมาณของเม็ดดินขนาดต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการแตกของเม็ดดิน

7. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง การกระจายตัวของเม็ดดิน รูปร่างของเม็ดดิน ความแข็งแรงของเม็ดดิน และคุณสมบัติทางวิศวกรรม ต่างๆ พร้อมทั้งตรวจสอบความเหมาะสมของมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงแห่ง ประเทศไทยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



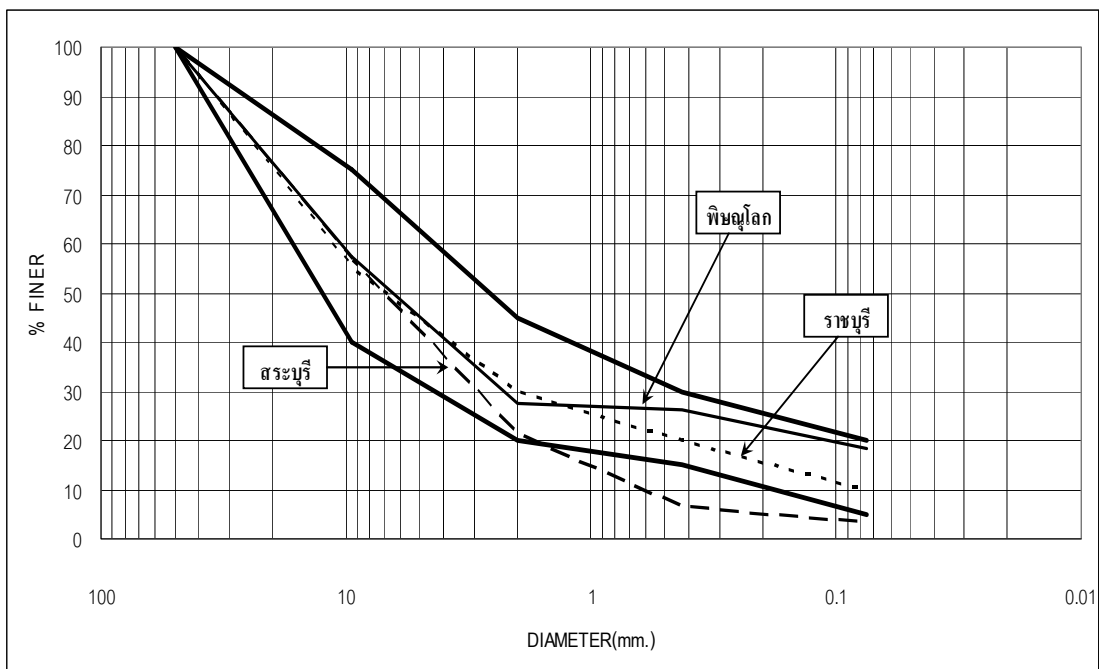
ภาพที่ 19 ขั้นตอนการวิจัย

ผลและวิจารณ์

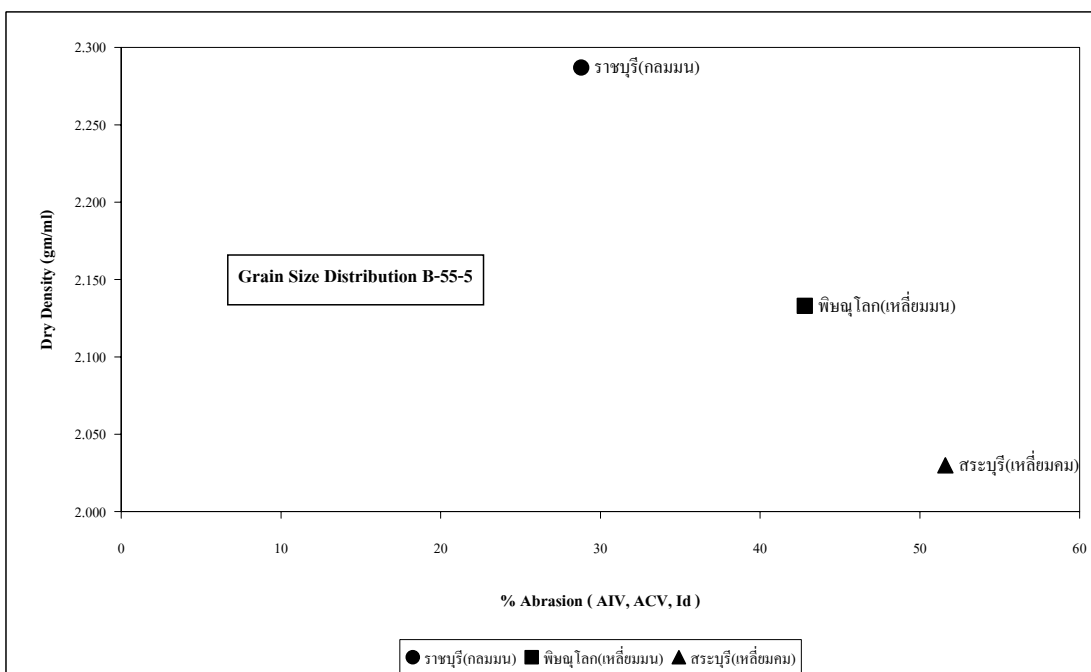
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างดินธรรมชาติ

ตารางที่ 15 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินเบื้องต้น

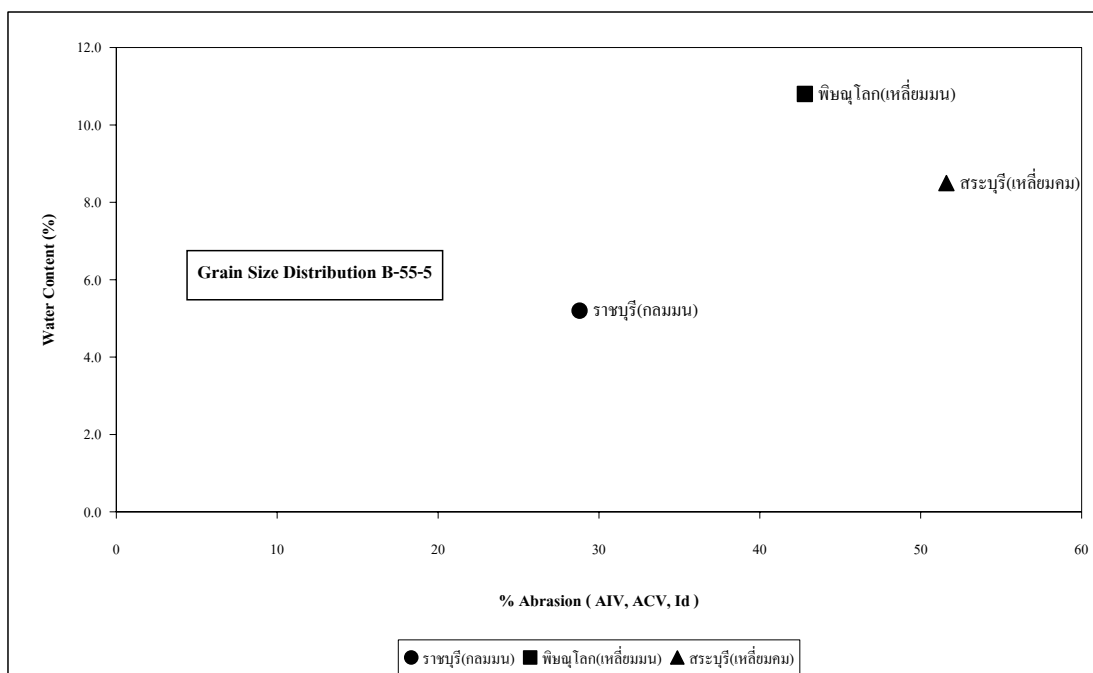
ตัวอย่างดินจากแหล่ง	ราชบุรี	พิษณุโลก	สระบุรี
Natural Water Content %	0.7	2.3	4.4
Specific Gravity	2.673	2.611	2.571
Atterberg's Limit			
- Liquid Limit	N.P.	31.4	34.4
- Plasticity Index	N.P.	8.3	10.6
Grain Size Distribution			
- เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4"	100	100	100
- เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8"	55	57.4	56.7
- เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10	30	27.6	21.2
- เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 40	20	26.1	6.5
- เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	10	18.4	3.2
Abrasion %	28.8	42.8	51.6
Aggregate Impact Value %	11.25	23.42	29.22
Aggregate Crushing Value %	23.47	34.18	37.65
Slake Durability Index %	99.79	98.4	92.7
Modified Compaction (gm/ml)	2.263	2.125	2.070
CBR %	84.5	59.4	87.6
Permeability cm/s	4.51E-05	8.67E-05	2.66E-05
การจำแนกดินระบบ AASHTO	A-1-a	A-2-4	A-2-4
รูปร่างตัวอย่างดิน	กลมมน	เหลี่ยมมน	เหลี่ยมคม



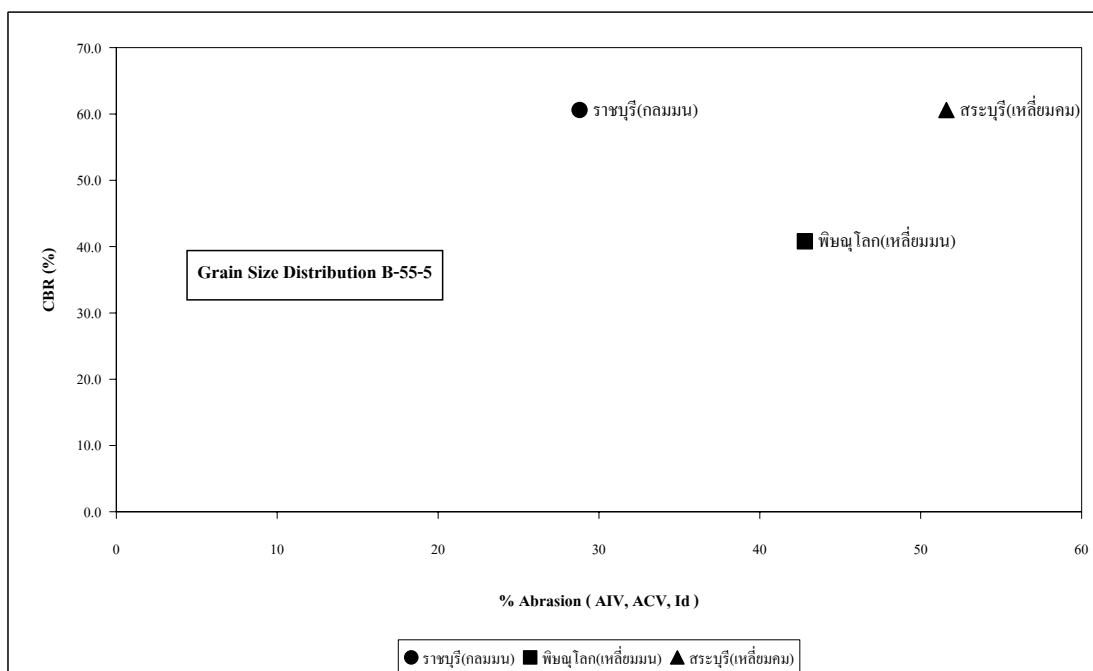
ภาพที่ 20 Grain Size Distribution ของตัวอย่างดินเบื้องต้น



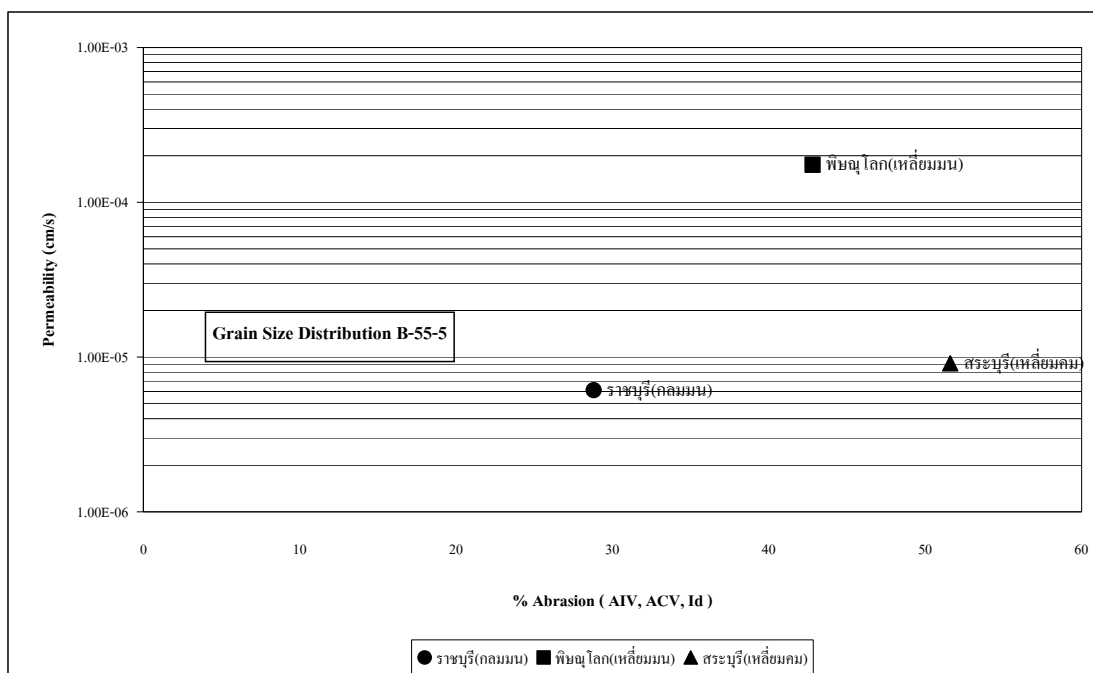
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ % Abrasion (AIV, ACV, Id)



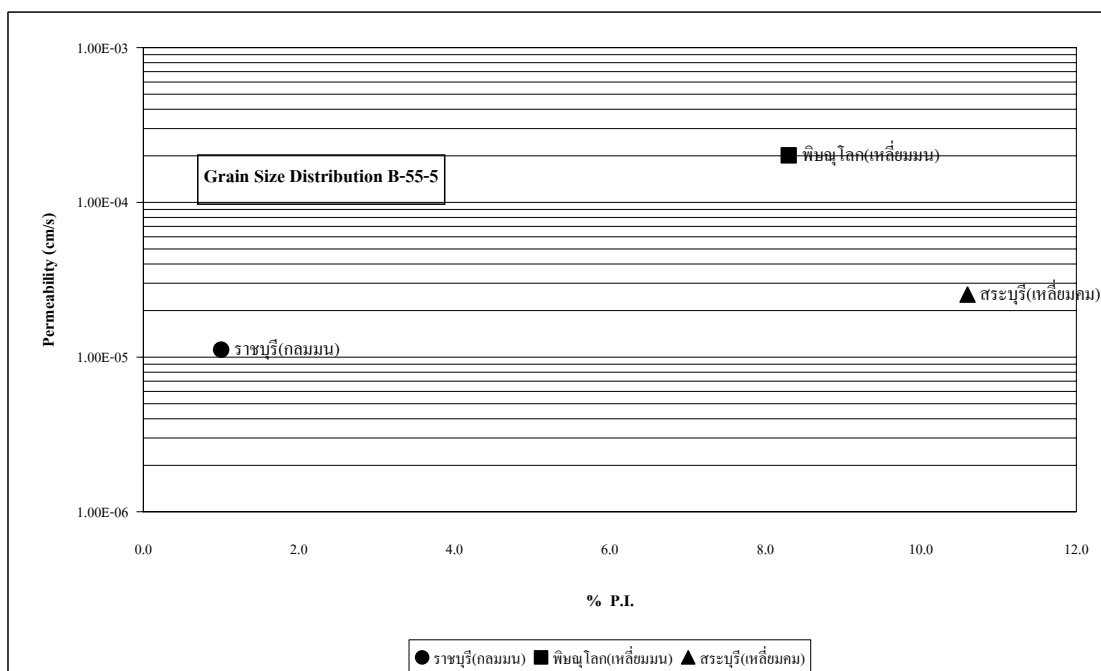
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ % Abrasion (AIV, ACV, Id)



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ % Abrasion (AIV, ACV, Id)



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ % Abrasion (AIV, ACV, Id)



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ % PI

จากภาพที่ 21-24 มีแนวโน้มว่า ตัวอย่างดินที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การสึกกร่อนที่ต่ำจะทำให้มีความแน่นแข็งสูงขึ้น เมื่อพิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรีมีลักษณะการกระจายตัวหยาบที่สุด ส่วนตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก มีลักษณะการกระจายตัวที่ละเอียดที่สุด อาจเป็นสาเหตุทำให้ CBR ของตัวอย่างดินสระบุรี จึงมีค่าสูง และ CBR ของตัวอย่างดินพิษณุโลกมีค่าต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การสึกกร่อนที่สูงกว่า ส่วนความชื้นน้ำไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาถึงความทนทานตัวอย่างดินแหล่งราชบุรีมีค่าสูง จึงให้ผลการทดสอบความแน่นแข็งสูงและ CBR มีค่าสูง

พิจารณาจากรูปร่าง ตัวอย่างดินราชบุรี ซึ่งมีรูปร่างกลมมน มีความแน่นแข็งสูงที่สุด มีค่าเปอร์เซ็นต์การสึกกร่อนที่ต่ำที่สุด มีค่า CBR ที่สูง ตัวอย่างดินสระบุรี ซึ่งมีรูปเหลี่ยมคมมีความแน่นแข็งต่ำที่สุด มีค่าเปอร์เซ็นต์การสึกกร่อนที่สูงที่สุด มีค่า CBR ที่สูงที่สุด

จากภาพที่ 25 มีแนวโน้มว่าตัวอย่างดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำ จะมีแนวโน้มให้ค่าความชื้นน้ำที่ต่ำ เนื่องจากตัวอย่างดินไม่มีความเหนียวทำให้วัสดุเกิดการหลุดร่อน และเคลื่อนที่ไปอุดช่องว่าง ทำให้น้ำไหลผ่านไปได้จึงเกิดการบีบอัด โดยเฉพาะในกลุ่มตัวอย่างดินที่มีลักษณะกลมมนยังเกิดการเคลื่อนที่ได้ง่าย ทำให้ในกลุ่มตัวอย่างดินนี้มีค่าความชื้นน้ำต่ำที่สุด

วิเคราะห์คุณสมบัติทางวิศวกรรมของทุกแหล่งตัวอย่าง

ตารางที่ 16 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี

คุณสมบัติทางวิศวกรรม	Poorly Grade	Gap Grade	Well Grade
ความแน่นแห้งสูงสุด (gm/ml)	2.170 – 2.300	2.203 – 2.284	2.188 – 2.290
ปริมาณความชื้นเหมาะสม (%)	4.5 – 5.9	5.4 – 6.8	4.6 – 6.2
ความซึมน้ำ (cm/s)	$5.11 \times 10^{-6} - 2.68 \times 10^{-4}$	$5.83 \times 10^{-6} - 4.44 \times 10^{-4}$	$1.02 \times 10^{-5} - 1.1 \times 10^{-4}$
CBR (%)	52.44 – 76.90	59.43 – 56.45	51.51 – 88.55

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของกลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี พบว่า มีค่า CBR ที่สูงในทุกการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ส่วนค่า Permeability ของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Graded ให้ค่าต่ำที่สุด การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well Graded มีค่า Permeability สูงสุด

ตารางที่ 17 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก

คุณสมบัติทางวิศวกรรม	Poorly Grade	Gap Grade	Well Grade
ความแน่นแห้งสูงสุด (gm/ml)	2.057 – 2.160	2.078 – 2.167	2.068 – 2.160
ปริมาณความชื้นเหมาะสม (%)	10.2 – 12.3	9.5 – 12.8	9.2 – 12.3
ความซึมน้ำ (cm/s)	$5.90 \times 10^{-5} - 4.81 \times 10^{-4}$	$1.49 \times 10^{-6} - 2.83 \times 10^{-4}$	$2.41 \times 10^{-5} - 4.97 \times 10^{-4}$
CBR (%)	30.32 – 59.43	41.96 – 76.96	36.14 – 73.41

เมื่อพิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Grade เป็นดินที่มีขนาดของเม็ดดินค่อนข้างไม่ดี ทำให้มีผลการทดสอบ CBR ที่ต่ำกว่าดินที่มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน

แบบ Gap Grade และ Well Grade แต่เมื่อพิจารณาผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหลือพบว่า ทุกกลุ่มตัวอย่างดินให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 18 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี

คุณสมบัติทางวิศวกรรม	Poorly Grade	Gap Grade	Well Grade
ความแน่นแห้งสูงสุด (gm/ml)	2.030 – 2.072	2.012 – 2.073	2.030 – 2.072
ปริมาณความชื้นเหมาะสม (%)	7.2 – 10.1	7.9 – 9.4	8.0 – 9.1
ความซึมน้ำ (cm/s)	$5.50 \times 10^{-6} - 1.37 \times 10^{-4}$	$1.86 \times 10^{-6} - 5.05 \times 10^{-4}$	$1.09 \times 10^{-5} - 2.38 \times 10^{-4}$
CBR (%)	41.96 – 90.88	50.11 – 94.37	51.28 – 80.40

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของกลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี พบว่า ในทุกการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน และยังมีค่า CBR ที่สูงกว่าแหล่งพิษณุโลก อาจเป็นผลจากเมื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินหลังบดอัดของดินจากสระบุรี(ภาพที่ 34-37) ก่อนข้างที่จะได้กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินที่ไม่แตกต่างกัน เกือบจะเป็นกลุ่มเดียวกัน และผลการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินหลังบดอัดยังเป็นแบบ Well Graded เกือบทั้งหมดจึงทำให้มีค่า CBR ที่สูง

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดิน

ตารางที่ 19 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี

ตัวอย่าง ดิน	ความ แน่น แห้ง สูงสุด gm/ml	ปริมาณ ความชื้น เหมาะสม %	CBR (%)				สปส. ความชื้น น้ำ %
			12 Blows	25 Blows	56 Blows	95% Compaction	
B-45-1-P	2.251	4.5	22.86	46.62	71.08	47.40	6.19E-06
B-45-2-P	2.300	5.8	26.82	47.79	76.90	35.00	1.86E-05
B-45-3-G	2.292	6.1	34.97	44.29	68.75	39.50	1.61E-05
B-45-4-W	2.252	5.2	31.48	43.13	87.38	41.00	1.46E-05
B-45-5-W	2.224	4.6	21.00	47.79	88.55	27.30	1.02E-05
B-45-6-W	2.228	6.2	26.82	48.95	82.72	38.10	1.38E-05
B-45-7-G	2.242	5.9	20.30	46.62	81.56	25.20	8.25E-06
B-45-8-G	2.250	6.0	44.29	67.58	83.89	60.00	1.22E-05
B-55-1-P	2.212	5.3	19.83	39.63	52.44	25.60	2.68E-04
B-55-2-W	2.260	5.0	20.30	39.63	64.09	31.80	1.29E-05
B-55-3-W	2.290	5.2	25.66	46.62	57.10	40.40	1.10E-04
B-55-4-G	2.217	5.6	18.67	44.29	59.43	30.20	9.77E-06
B-55-5-P	2.287	5.2	26.82	46.62	59.43	43.70	6.11E-06
B-55-6-G	2.282	5.7	34.97	50.11	69.91	46.50	1.12E-05
B-55-7-G	2.292	5.6	22.63	42.20	72.94	28.30	2.87E-05
B-55-8-G	2.293	6.2	36.60	54.54	85.05	48.60	6.36E-05
B-65-1-P	2.208	4.9	34.51	50.58	59.90	42.10	1.04E-05
B-65-2-W	2.238	6.1	26.36	44.99	60.36	34.80	1.33E-05

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ตัวอย่าง ดิน	ความ	ปริมาณ	CBR (%)				สปส.
	แน่น	ความชื้น					ความชื้น
	แห้ง	เหมาะสม					น้ำ
	สูงสุด	%	12 Blows	25 Blows	56 Blows	95%	%
	gm/ml					Compaction	
B-65-3-W	2.243	5.9	32.18	55.47	74.11	46.50	5.59E-05
B-65-4-G	2.210	5.9	17.50	47.79	78.76	27.20	2.59E-05
B-65-5-P	2.224	6.6	27.52	65.02	72.24	60.10	3.22E-05
B-65-6-G	2.284	5.9	30.08	52.91	82.72	50.30	1.97E-04
B-65-7-G	2.250	6.8	25.89	48.25	66.42	45.30	2.09E-05
B-65-8-G	2.250	7.7	27.29	55.47	81.33	63.80	4.37E-04
B-75-1-P	2.17	5.0	27.99	47.32	57.80	39.00	1.20E-05
B-75-2-W	2.188	5.2	27.29	37.30	51.51	36.90	2.41E-05
B-75-3-W	2.258	5.6	26.12	47.09	59.43	41.80	4.46E-05
B-75-4-G	2.203	6.3	22.63	44.99	60.60	41.80	1.16E-05
B-75-5-P	2.23	5.9	33.34	46.62	56.40	33.30	9.92E-06
B-75-6-G	2.259	5.4	39.87	58.73	78.76	51.50	4.44E-04
B-75-7-G	2.238	6.2	31.01	45.69	61.06	42.20	1.47E-05
B-75-8-G	2.228	5.5	31.48	62.23	86.45	67.90	5.83E-06

ตารางที่ 20 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก

ตัวอย่าง ดิน	ความ แน่น แห้ง สูงสุด gm/ml	ปริมาณ ความชื้น เหมาะสม %	CBR (%)				สปส. ความชื้น น้ำ %
			12 Blows	25 Blows	56 Blows	95% Compaction	
B-45-1-P	2.098	10.6	14.71	27.99	50.11	21.20	4.81E-04
B-45-2-P	2.160	10.2	10.75	11.68	30.32	25.30	5.98E-05
B-45-3-G	2.117	10.8	7.02	32.65	43.13	26.50	7.68E-05
B-45-4-W	2.142	9.2	17.97	40.80	57.10	30.80	9.33E-05
B-45-5-W	2.140	9.2	7.95	26.36	73.41	34.00	2.93E-05
B-45-6-W	2.160	9.8	8.42	23.33	59.43	41.80	7.72E-05
B-45-7-G	2.166	9.5	19.37	50.58	51.28	44.40	1.75E-05
B-45-8-G	2.163	9.6	21.70	53.61	89.71	43.30	2.72E-05
B-55-1-P	2.145	10.9	8.65	13.08	31.48	20.30	2.68E-04
B-55-2-W	2.125	10.9	10.28	22.16	36.14	26.80	4.21E-05
B-55-3-W	2.074	11.9	22.16	37.07	55.94	25.70	4.78E-04
B-55-4-G	2.125	11.5	9.59	31.48	50.11	25.90	7.07E-05
B-55-5-P	2.133	10.8	13.31	32.65	40.80	31.80	1.75E-04
B-55-6-G	2.08	11.5	7.72	18.67	45.46	12.50	2.01E-04
B-55-7-G	2.167	11.8	15.18	23.33	58.27	16.90	7.13E-05
B-55-8-G	2.132	11.5	9.35	18.67	55.94	12.30	7.13E-05
B-65-1-P	2.067	11.5	27.99	46.62	59.43	36.20	8.69E-05
B-65-2-W	2.086	11.3	11.22	24.03	45.46	17.20	4.97E-04

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ตัวอย่าง ดิน	ความ แน่น แห้ง สูงสุด	ปริมาณ ความชื้น เหมาะสม	CBR (%)				สปส. ความชื้น น้ำ
			12 Blows	25 Blows	56 Blows	95% Compaction	
B-65-3-W	2.074	11.4	11.68	22.16	48.95	16.80	1.90E-04
B-65-4-G	2.097	10.9	10.52	30.32	71.08	20.00	1.49E-06
B-65-5-P	2.067	11.8	15.87	21.23	36.14	19.30	4.11E-04
B-65-6-G	2.078	11.9	8.19	21.70	45.46	16.30	1.63E-04
B-65-7-G	2.078	12.8	8.65	24.49	41.96	13.30	3.53E-05
B-65-8-G	2.142	10.5	7.49	27.99	59.43	33.70	2.83E-04
B-75-1-P	2.057	12.3	8.19	32.65	40.80	31.50	1.49E-04
B-75-2-W	2.068	11.5	6.79	20.53	38.47	22.30	2.41E-05
B-75-3-W	2.068	12.3	10.52	32.18	48.72	20.90	3.11E-05
B-75-4-G	2.108	11.6	19.83	37.30	50.11	32.20	2.31E-04
B-75-5-P	2.100	11.1	22.16	32.65	41.96	25.30	2.00E-04
B-75-6-G	2.085	11.8	17.97	32.65	53.61	26.40	2.55E-04
B-75-7-G	2.139	11.6	19.83	33.81	55.24	26.80	1.22E-04
B-75-8-G	2.096	11.0	12.85	33.81	76.90	27.70	1.93E-04

ตารางที่ 21 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี

ตัวอย่าง ดิน	ความ แน่น แห้ง สูงสุด gm/ml	ปริมาณ ความชื้น เหมาะสม %	CBR (%)				สปส. ความชื้น น้ำ %
			12 Blows	25 Blows	56 Blows	95% Compaction	
B-45-1-P	2.050	7.9	14.71	37.30	54.77	39.00	2.53E-05
B-45-2-P	2.050	7.2	29.62	60.60	71.08	41.00	1.52E-05
B-45-3-G	2.038	8.8	45.46	50.11	67.58	48.10	3.89E-05
B-45-4-W	2.058	8.2	31.48	43.13	67.58	35.00	7.39E-06
B-45-5-W	2.055	8.8	31.48	40.80	57.10	37.30	1.09E-05
B-45-6-W	2.040	8.0	27.99	69.91	80.40	72.80	1.43E-04
B-45-7-G	2.012	9.4	21.00	45.46	54.77	34.00	1.47E-05
B-45-8-G	2.040	8.0	52.44	80.40	94.37	83.10	2.35E-05
B-55-1-P	2.030	10.1	23.33	47.79	52.44	28.50	8.88E-05
B-55-2-W	2.031	9.1	24.49	44.29	52.44	41.70	3.95E-05
B-55-3-W	2.062	8.9	43.13	64.09	67.58	57.50	2.38E-04
B-55-4-G	2.080	8.7	23.33	46.62	52.44	34.10	2.02E-05
B-55-5-P	2.064	8.5	32.65	47.79	60.60	40.10	9.11E-06
B-55-6-G	2.062	8.5	54.77	68.75	73.41	66.50	2.54E-05
B-55-7-G	2.068	8.6	23.33	50.11	68.75	45.80	3.30E-05
B-55-8-G	2.030	8.7	54.77	75.74	89.71	70.50	6.14E-05
B-65-1-P	2.068	8.8	32.65	40.80	44.29	36.20	6.50E-06
B-65-2-W	2.060	8.5	34.97	52.44	57.10	47.80	2.22E-05

ตารางที่ 21 (ต่อ)

ตัวอย่าง ดิน	ความ แน่น แห้ง สูงสุด gm/ml	ปริมาณ ความชื้น เหมาะสม %	CBR (%)				สปส. ความชื้น น้ำ %
			12 Blows	25 Blows	56 Blows	95% Compaction	
B-65-3-W	2.072	8.3	46.62	70.61	80.40	72.70	1.43E-05
B-65-4-G	2.044	8.8	19.83	52.44	66.42	32.50	2.41E-04
B-65-5-P	2.064	9.2	27.99	85.05	90.88	88.50	2.21E-05
B-65-6-G	2.040	8.0	40.80	64.09	94.37	65.20	5.05E-04
B-65-7-G	2.035	9.0	36.14	59.43	73.41	39.00	6.04E-05
B-65-8-G	2.040	8.8	50.11	64.09	82.72	69.10	7.06E-05
B-75-1-P	2.072	8.6	38.93	52.44	59.43	50.20	1.37E-04
B-75-2-W	2.065	8.5	40.80	45.46	51.28	44.00	2.28E-05
B-75-3-W	2.045	9.1	32.65	48.95	54.77	44.50	5.77E-05
B-75-4-G	2.050	8.8	20.53	40.80	55.94	44.50	1.55E-04
B-75-5-P	2.062	8.6	34.97	50.11	57.10	42.60	2.26E-05
B-75-6-G	2.073	7.9	46.62	65.25	80.40	66.00	1.94E-05
B-75-7-G	2.060	9.1	31.48	46.62	50.11	45.90	1.17E-04
B-75-8-G	2.067	8.8	40.80	78.07	85.05	84.60	1.86E-05

ตารางที่ 22 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี หลังการบดอัด

Sieve No.	Size (mm.)	B-45-1	B-45-2	B-45-3	B-45-4	B-45-5	B-45-6	B-45-7	B-45-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	71.4	68.9	62.9	68.7	77.3	70.1	67.1	74
#10	2.000	44.5	48.5	37.7	31.1	41.7	38.7	41.5	44
#40	0.425	30.8	31.4	16.2	21.8	26.5	19.4	24.7	23.2
#200	0.075	19.9	13.9	12.4	17	14	11.5	13.8	9.9

Sieve No.	Size (mm.)	B-55-1	B-55-2	B-55-3	B-55-4	B-55-5	B-55-6	B-55-7	B-55-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	72.9	77.6	74.9	73	70.6	82.6	77.1	78.7
#10	2.000	44.5	47	39.7	38.9	42.7	42.6	39.9	29
#40	0.425	32.1	30.2	21.4	34.6	31.7	17.4	21.9	15.9
#200	0.075	19.5	16.7	15.1	21.9	24.5	9.1	15.3	8.3

Sieve No.	Size (mm.)	B-65-1	B-65-2	B-65-3	B-65-4	B-65-5	B-65-6	B-65-7	B-65-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	76.4	77.3	77.5	82.2	75.7	80.4	78.2	78.9
#10	2.000	40.4	36	48	41.5	40.2	33.3	28.7	39.8
#40	0.425	21.5	22	17.4	35.5	25.5	20	22	23.7
#200	0.075	15.7	18.6	11.3	22.2	15.6	15.8	14	18.1

Sieve No.	Size (mm.)	B-75-1	B-75-2	B-75-3	B-75-4	B-75-5	B-75-6	B-75-7	B-75-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	81.5	84	68.8	80.1	82.3	84.7	82.6	77
#10	2.000	31.9	39.4	29.3	40.3	38.7	34.2	31.1	48.2
#40	0.425	18.8	17.7	11.6	34.4	25.5	15.5	24.4	27.1
#200	0.075	10	6.3	7.5	18.9	15.2	9.7	15	11.8

ตารางที่ 23 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด

Sieve No.	Size (mm.)	B-45-1	B-45-2	B-45-3	B-45-4	B-45-5	B-45-6	B-45-7	B-45-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	69.5	74.1	72.3	70.7	70.0	67.6	71.5	71.2
#10	2.000	30.7	33.3	31.3	30.1	26.4	27.6	33.3	33.7
#40	0.425	17.0	19.8	15.2	13.1	15.5	10.6	20.2	19.2
#200	0.075	7.9	9.6	5.8	7.4	9.3	7.0	12.2	8.3

Sieve No.	Size (mm.)	B-55-1	B-55-2	B-55-3	B-55-4	B-55-5	B-55-6	B-55-7	B-55-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	76.4	77.4	74.6	78.5	78.0	74.1	76.7	75.2
#10	2.000	34.2	24.2	32.4	32.9	33.9	27.5	27.0	36.3
#40	0.425	17.9	10.7	19.8	11.3	16.0	20.0	12.7	22.0
#200	0.075	9.1	4.7	10.9	4.8	9.0	11.5	8.0	13.7

Sieve No.	Size (mm.)	B-65-1	B-65-2	B-65-3	B-65-4	B-65-5	B-65-6	B-65-7	B-65-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	85.8	84.3	83.2	80.3	83.2	82.7	83.2	83.9
#10	2.000	34.6	34.3	29.4	31.0	34.7	41.1	32.5	32.8
#40	0.425	23.0	16.5	16.5	14.6	17.6	13.3	14.3	14.9
#200	0.075	12.6	10.9	8.9	10.8	9.6	6.9	8.7	9.6

Sieve No.	Size (mm.)	B-75-1	B-75-2	B-75-3	B-75-4	B-75-5	B-75-6	B-75-7	B-75-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	86.5	84.7	83.4	86.1	83.7	85.4	85.7	78.3
#10	2.000	33.9	34.0	38.5	33.3	32.7	30.6	28.3	31.7
#40	0.425	17.6	22.45	18.2	12.7	12.5	17.7	13.0	10.4
#200	0.075	9.4	10.95	7.7	6.5	4.7	9.4	5.9	5.0

ตารางที่ 24 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี หลังการบดอัด

Sieve No.	Size (mm.)	B-45-1	B-45-2	B-45-3	B-45-4	B-45-5	B-45-6	B-45-7	B-45-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	71.6	73.4	72.2	71.2	70.9	71.2	71.8	70.6
#10	2.000	22	18.8	17.4	21.7	24.9	21.5	19.8	18.6
#40	0.425	9.5	7	5	9.2	13.1	6.8	9.3	7.2
#200	0.075	4.5	2.6	1.6	1.6	5.1	3.2	2	1.6

Sieve No.	Size (mm.)	B-55-1	B-55-2	B-55-3	B-55-4	B-55-5	B-55-6	B-55-7	B-55-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	76.2	75.1	78.5	75.1	79.8	74.4	78.8	76.1
#10	2.000	20.3	21.3	14.2	16.1	29.8	23.1	27.9	19.4
#40	0.425	7.4	5.5	4	5.3	12.2	5.1	10.1	5.4
#200	0.075	2.3	1.5	0.8	1.1	2.9	0.4	2.7	1.1

Sieve No.	Size (mm.)	B-65-1	B-65-2	B-65-3	B-65-4	B-65-5	B-65-6	B-65-7	B-65-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	89.9	83.3	87.8	89.3	90.6	87.4	88.2	89.7
#10	2.000	24.6	25.9	34.1	27.7	29.1	32.3	30	28.7
#40	0.425	7.1	7.2	9.2	10.5	9.6	9.8	10.9	9.2
#200	0.075	1.7	3	2.4	3	3.5	3.3	3.8	3.6

Sieve No.	Size (mm.)	B-75-1	B-75-2	B-75-3	B-75-4	B-75-5	B-75-6	B-75-7	B-75-8
3/4"	19.000	100	100	100	100	100	100	100	100
3/8"	9.500	89.9	83.3	87.8	89.3	90.6	87.4	88.2	89.7
#10	2.000	24.6	25.9	34.1	27.7	29.1	32.3	30	28.7
#40	0.425	7.1	7.2	9.2	10.5	9.6	9.8	10.9	9.2
#200	0.075	1.7	3	2.4	3	3.5	3.3	3.8	3.6

ตารางที่ 25 การหาขนาดผลของตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด

Size	B-45-1	B-45-2	B-45-3	B-45-4	B-45-5	B-45-6	B-45-7	B-45-8
D ₁₀	0.65	0.65	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
D ₃₀	2.3	2.3	1.8	2.3	2.3	1.8	2.3	2.3
D ₆₀	5	5	5	5	5	5	5	5
C _U	7.7	7.7	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
C _C	1.6	1.6	1.6	2.6	2.6	1.6	2.6	2.6
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G

Size	B-55-1	B-55-2	B-55-3	B-55-4	B-55-5	B-55-6	B-55-7	B-55-8
D ₁₀	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.6	0.3	0.6
D ₃₀	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5
D ₆₀	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0	6.0	5.0	6.0
C _U	10.0	10.0	10.0	10.0	16.7	10.0	16.7	10.0
C _C	1.7	1.7	1.7	1.7	2.7	1.7	2.7	1.7
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G

Size	B-65-1	B-65-2	B-65-3	B-65-4	B-65-5	B-65-6	B-65-7	B-65-8
D ₁₀	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
D ₃₀	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.5	2.5	2.5
D ₆₀	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	6.5	5.5
C _U	11.0	11.0	11.0	7.9	11.0	11.0	13.0	11.0
C _C	1.8	1.8	1.8	1.3	1.8	2.3	1.9	2.3
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G

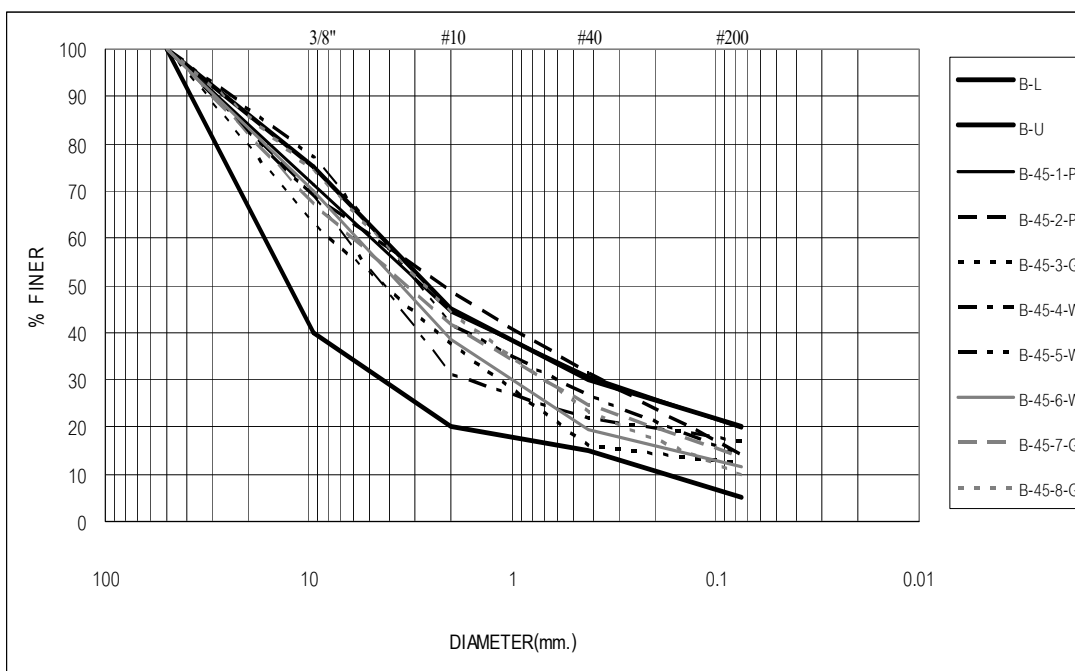
Size	B-75-1	B-75-2	B-75-3	B-75-4	B-75-5	B-75-6	B-75-7	B-75-8
D ₁₀	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
D ₃₀	2.3	2.2	1.8	2.2	2.2	1.8	2.2	2.2
D ₆₀	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
C _U	9.0	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
C _C	2.4	2.7	1.8	2.7	2.7	1.8	2.7	2.7
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G

ตารางที่ 26 การหาขนาดผลของตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี หลังการบำบัด

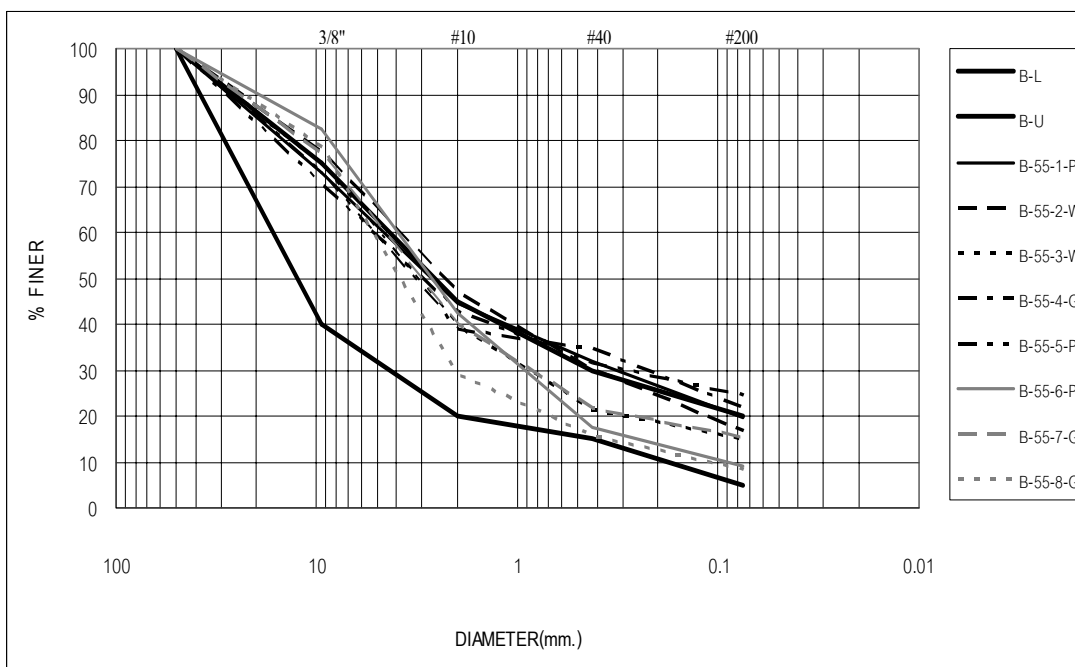
Size	B-45-1	B-45-2	B-45-3	B-45-4	B-45-5	B-45-6	B-45-7	B-45-8
D ₁₀	0.5	0.5	0.8	0.8	0.2	0.6	0.6	0.6
D ₃₀	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
D ₆₀	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
C _U	14.4	14.4	8.1	8.1	32.5	10.8	10.8	10.8
C _C	2.5	2.5	1.4	1.4	5.6	1.9	1.9	1.9
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G
Size	B-55-1	B-55-2	B-55-3	B-55-4	B-55-5	B-55-6	B-55-7	B-55-8
D ₁₀	0.6	0.6	1.0	0.9	0.3	0.6	0.4	0.6
D ₃₀	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
D ₆₀	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
C _U	9.2	9.2	5.5	6.1	18.3	9.2	13.8	9.2
C _C	1.9	1.9	1.1	1.3	3.8	1.9	2.8	1.9
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G
Size	B-65-1	B-65-2	B-65-3	B-65-4	B-65-5	B-65-6	B-65-7	B-65-8
D ₁₀	0	0	0	0	0	0	0	0
D ₃₀	2	2	2	2	2	2	2	2
D ₆₀	5	5	5	5	5	5	5	5
C _U	10	10	10	10	10	10	10	10
C _C	2	2	2	2	2	2	2	2
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G
Size	B-75-1	B-75-2	B-75-3	B-75-4	B-75-5	B-75-6	B-75-7	B-75-8
D ₁₀	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D ₃₀	2.2	2.2	2.2	1.7	2.2	1.7	2.2	2.2
D ₆₀	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
C _U	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
C _C	2.4	2.4	2.4	1.4	2.4	1.4	2.4	2.4
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G

ตารางที่ 27 การหาขนาดคละของตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี หลังการบดอัด

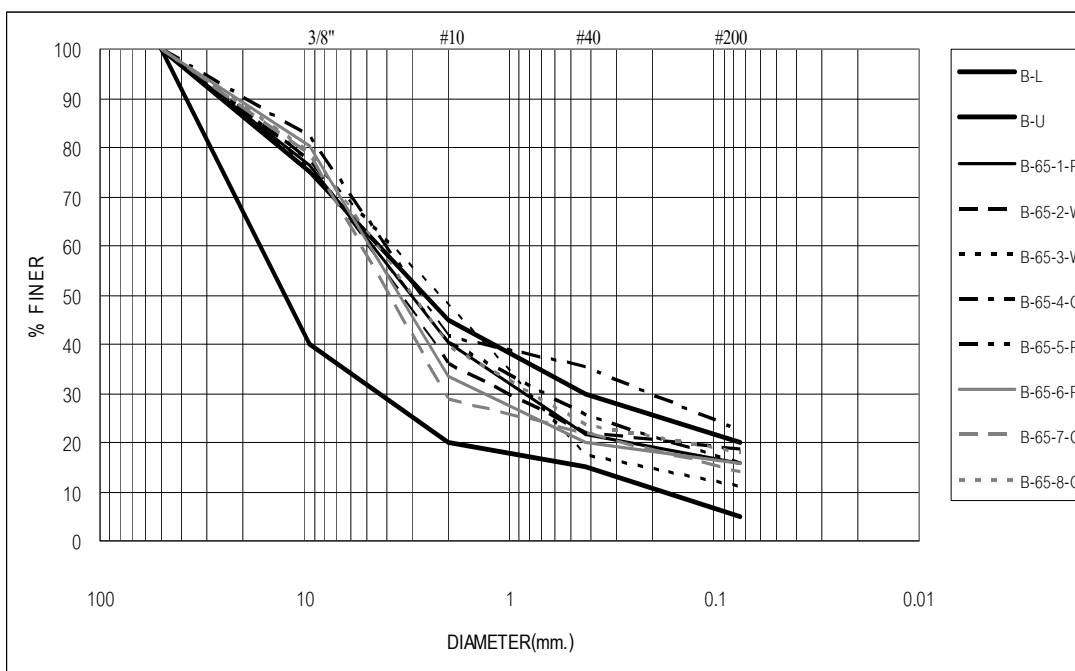
Size	B-45-1	B-45-2	B-45-3	B-45-4	B-45-5	B-45-6	B-45-7	B-45-8
D ₁₀	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
D ₃₀	0.4	0.4	1.3	2.0	0.6	1.0	0.7	0.7
D ₆₀	5.0	5.0	8.0	6.5	5.5	5.8	6.5	5.0
C _U	66.7	66.7	106.7	86.7	73.3	77.3	86.7	66.7
C _C	0.4	0.4	2.8	8.2	0.9	2.3	1.0	1.3
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G
Size	B-55-1	B-55-2	B-55-3	B-55-4	B-55-5	B-55-6	B-55-7	B-55-8
D ₁₀	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
D ₃₀	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9	2.0
D ₆₀	4.5	4.0	4.8	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0
C _U	60.0	53.3	64.0	53.3	66.7	66.7	53.3	53.3
C _C	0.3	0.6	0.3	0.2	0.2	2.2	2.7	13.3
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G
Size	B-65-1	B-65-2	B-65-3	B-65-4	B-65-5	B-65-6	B-65-7	B-65-8
D ₁₀	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
D ₃₀	0.9	1.0	0.8	0.2	0.8	1.4	2.0	0.8
D ₆₀	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
C _U	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
C _C	2.4	3.0	1.9	0.1	1.7	5.8	11.9	1.9
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G
Size	B-75-1	B-75-2	B-75-3	B-75-4	B-75-5	B-75-6	B-75-7	B-75-8
D ₁₀	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
D ₃₀	1.7	1.1	2.1	0.3	0.8	1.5	1.7	0.6
D ₆₀	4.8	6.5	3.9	4.5	4.5	4.5	4.8	6.0
C _U	64.0	86.7	52.0	60.0	60.0	60.0	64.0	80.0
C _C	8.0	2.5	15.1	0.2	1.7	6.7	8.0	0.7
Grade	P	W	W	G	P	P	G	G



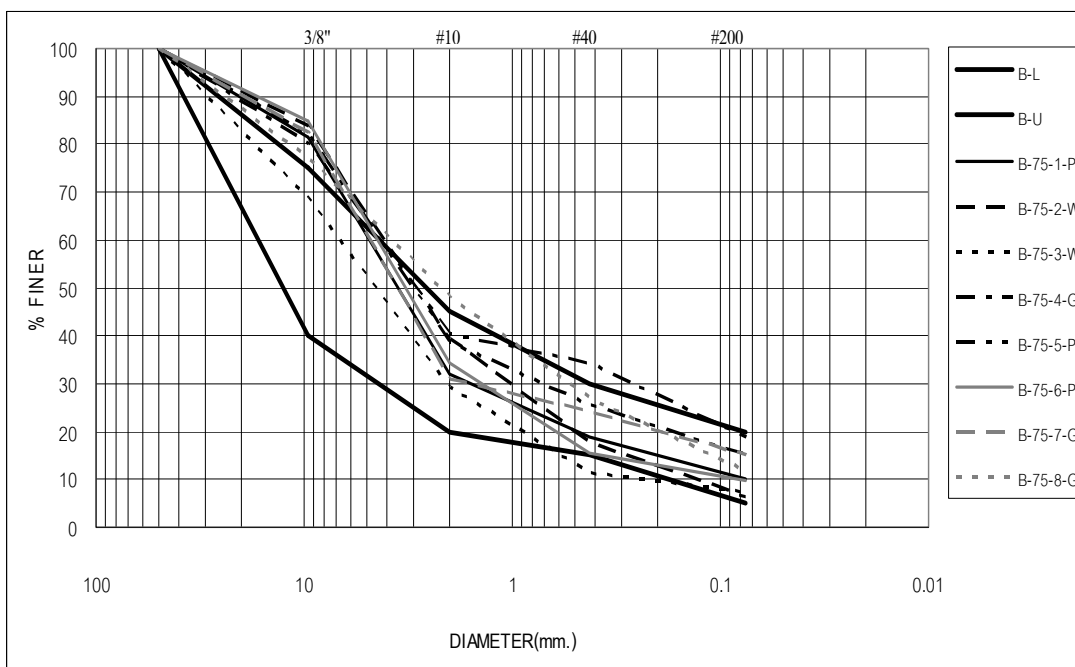
ภาพที่ 26 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-45 แหล่งราชบุรี หลังการบดอัด



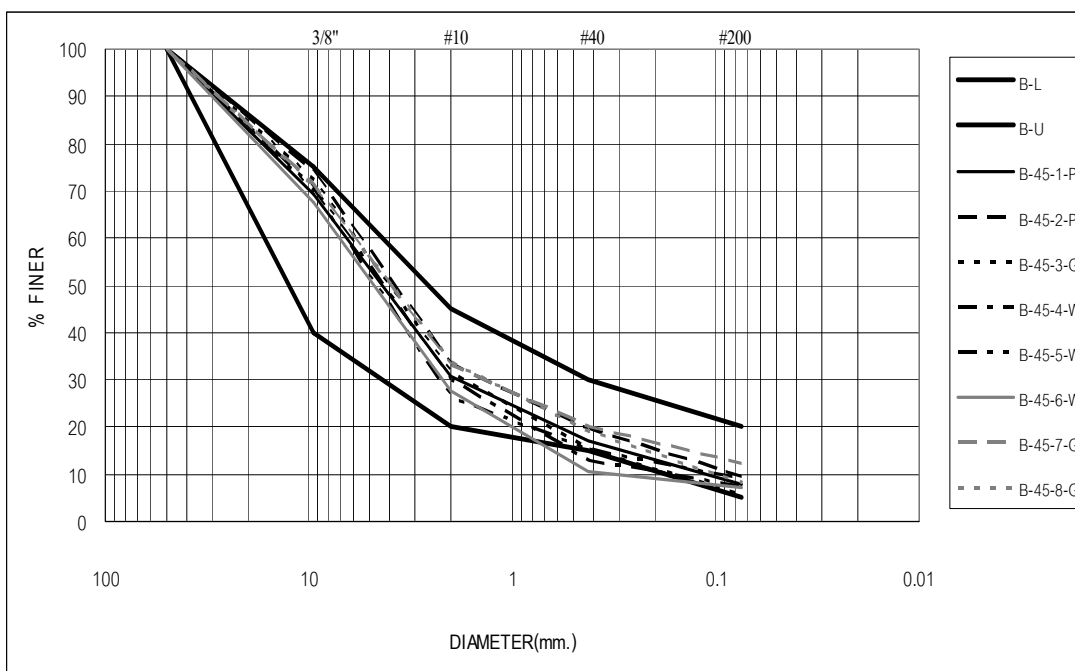
ภาพที่ 27 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-55 แหล่งราชบุรี หลังการบดอัด



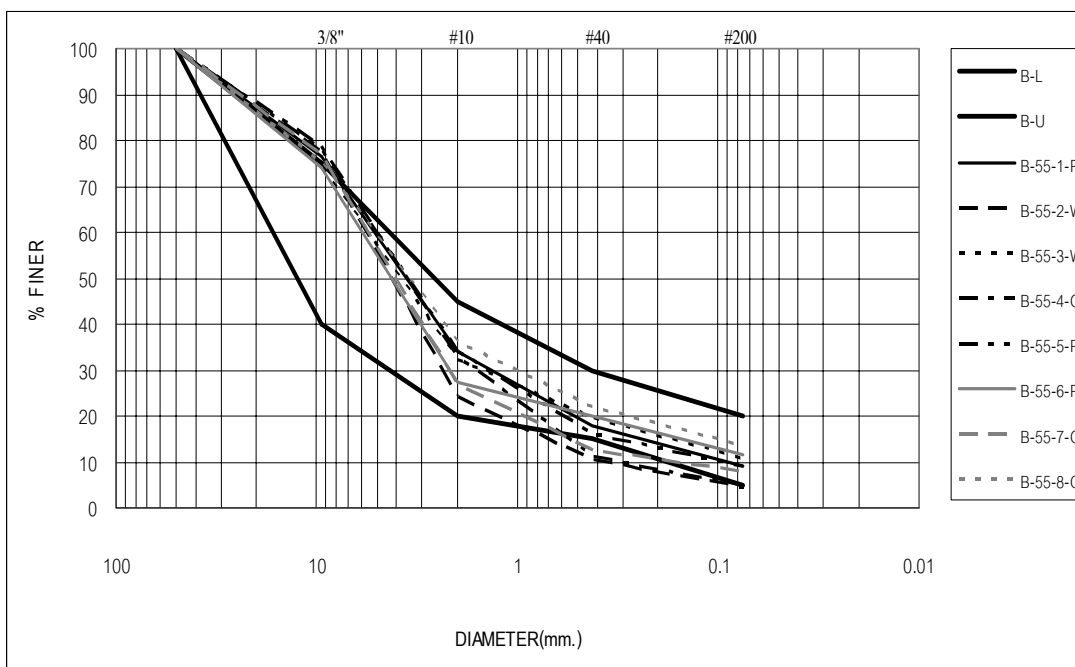
ภาพที่ 28 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-65 แหล่งราชบุรี หลังการบดอัด



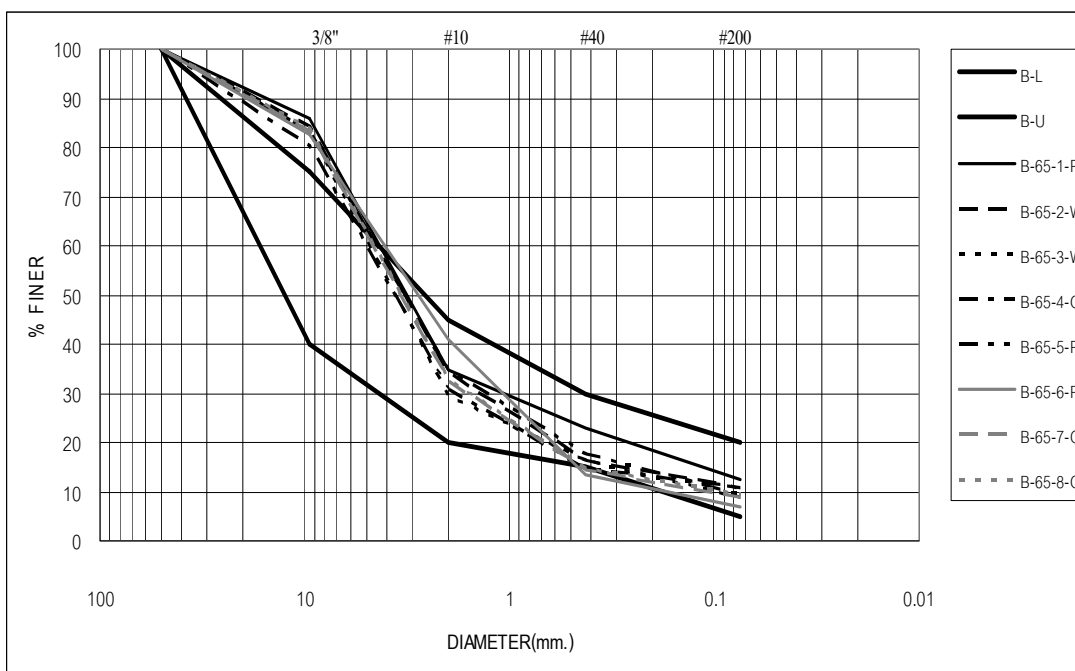
ภาพที่ 29 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-75 แหล่งราชบุรี หลังการบดอัด



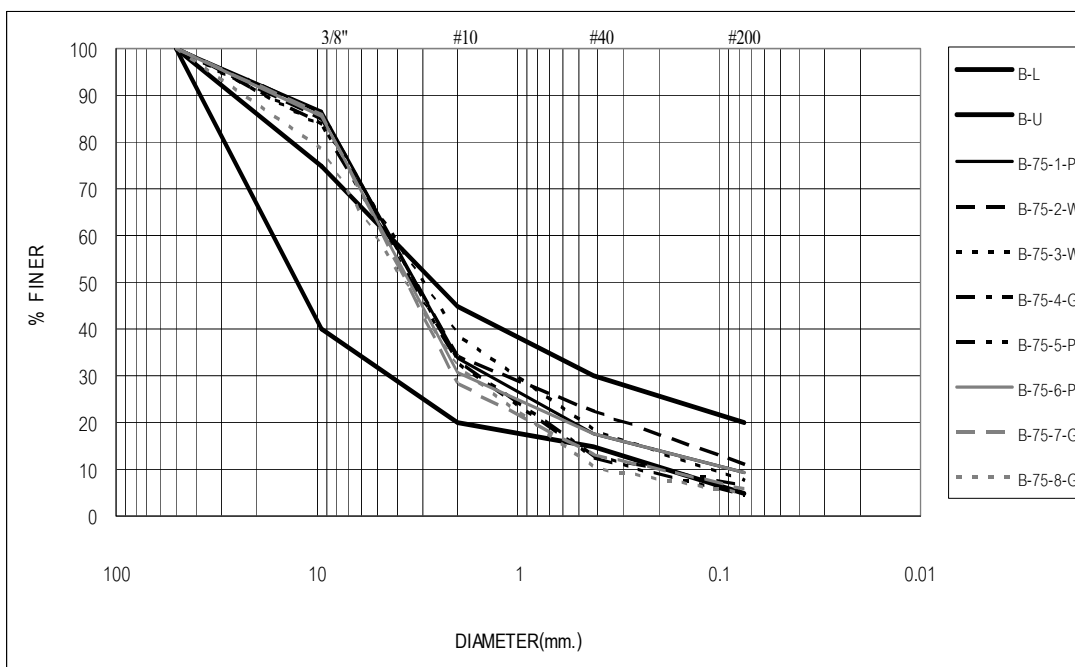
ภาพที่ 30 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-45 แหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด



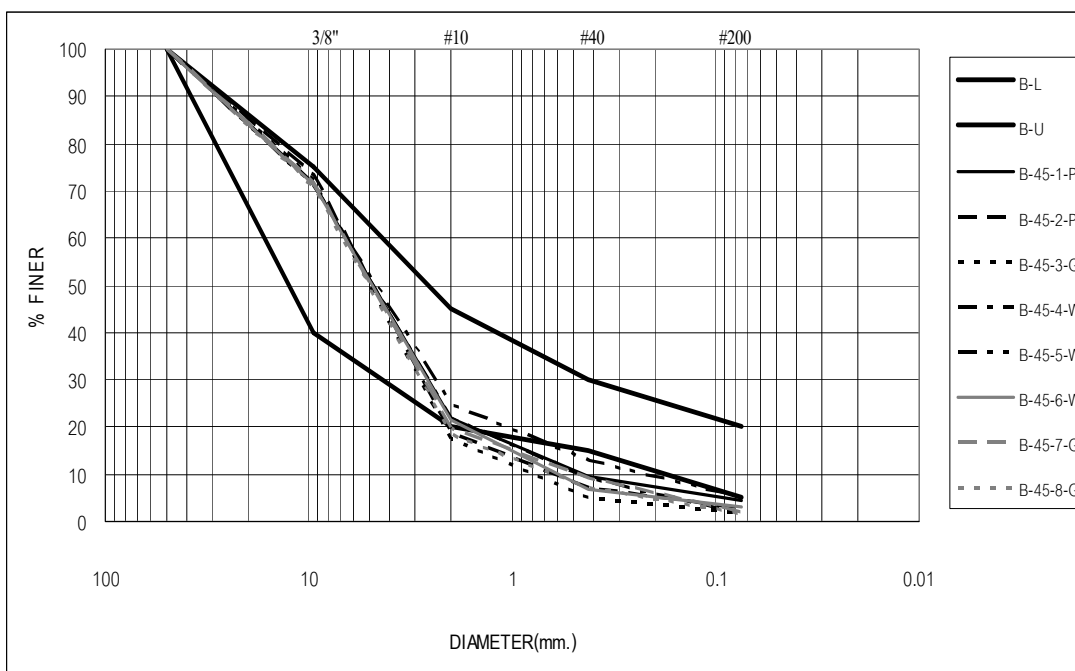
ภาพที่ 31 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-55 แหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด



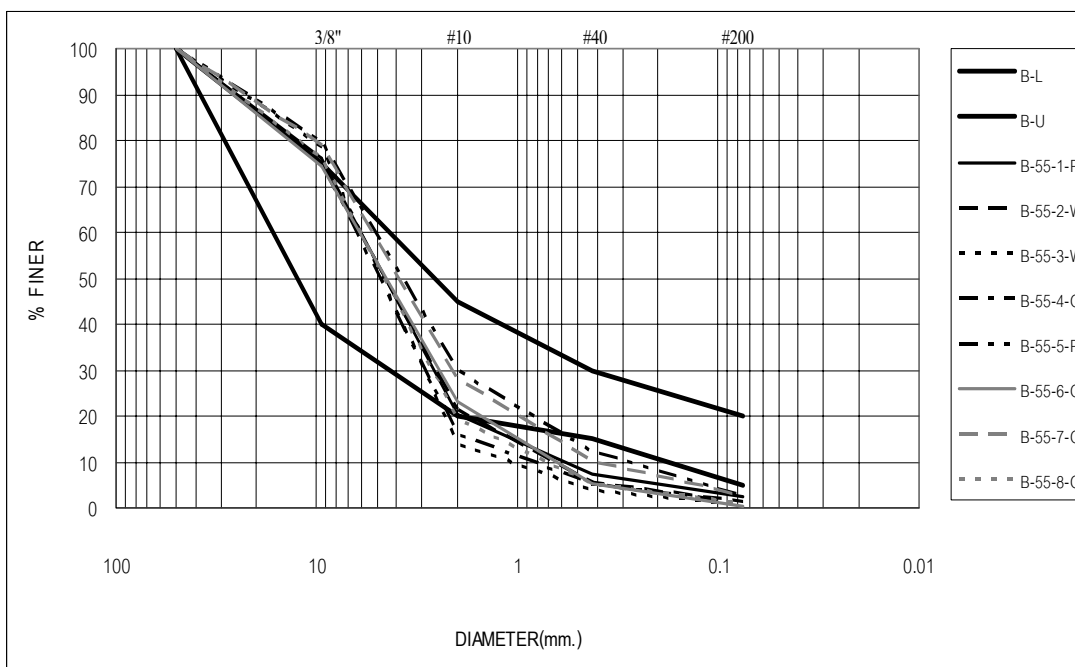
ภาพที่ 32 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-65 แหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด



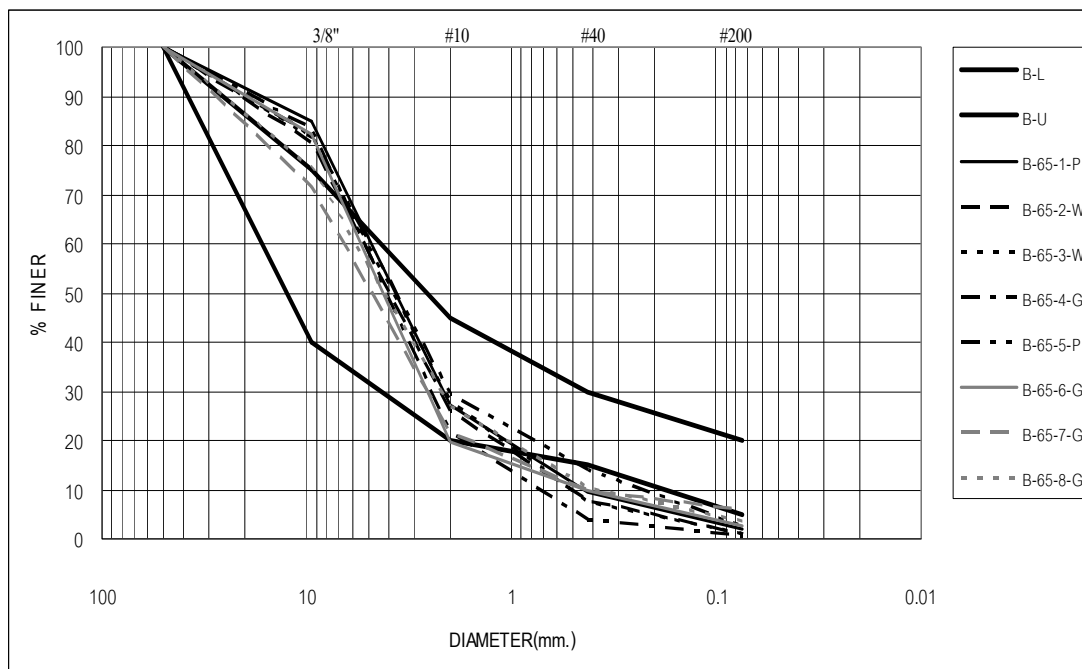
ภาพที่ 33 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-75 แหล่งพิษณุโลก หลังการบดอัด



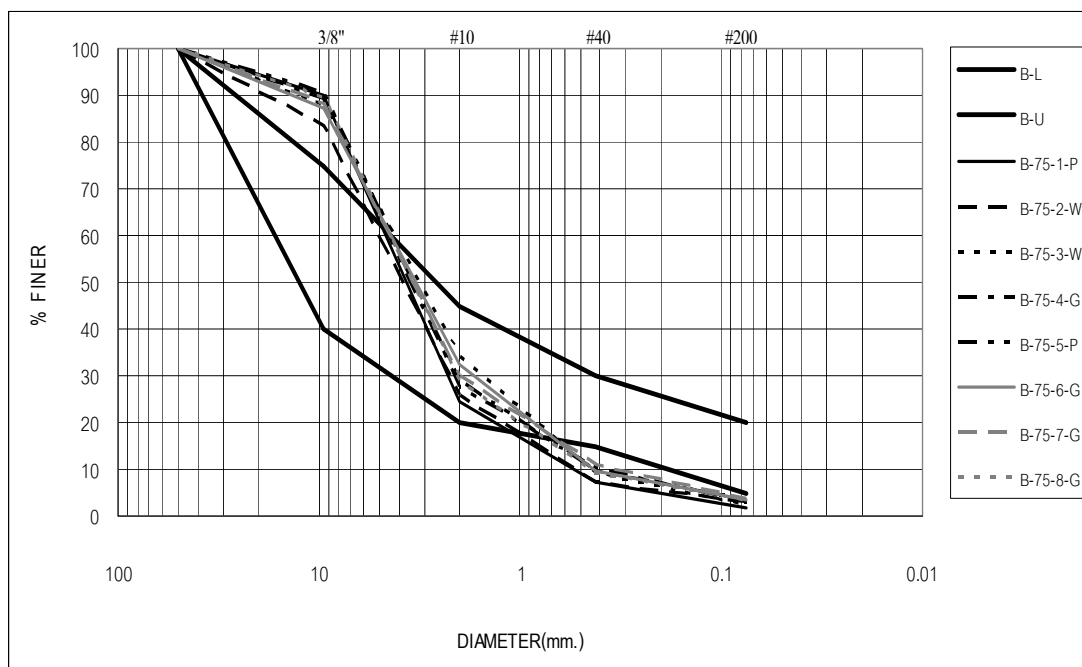
ภาพที่ 34 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-45 แหล่งสระบุรี หลังการบดอัด



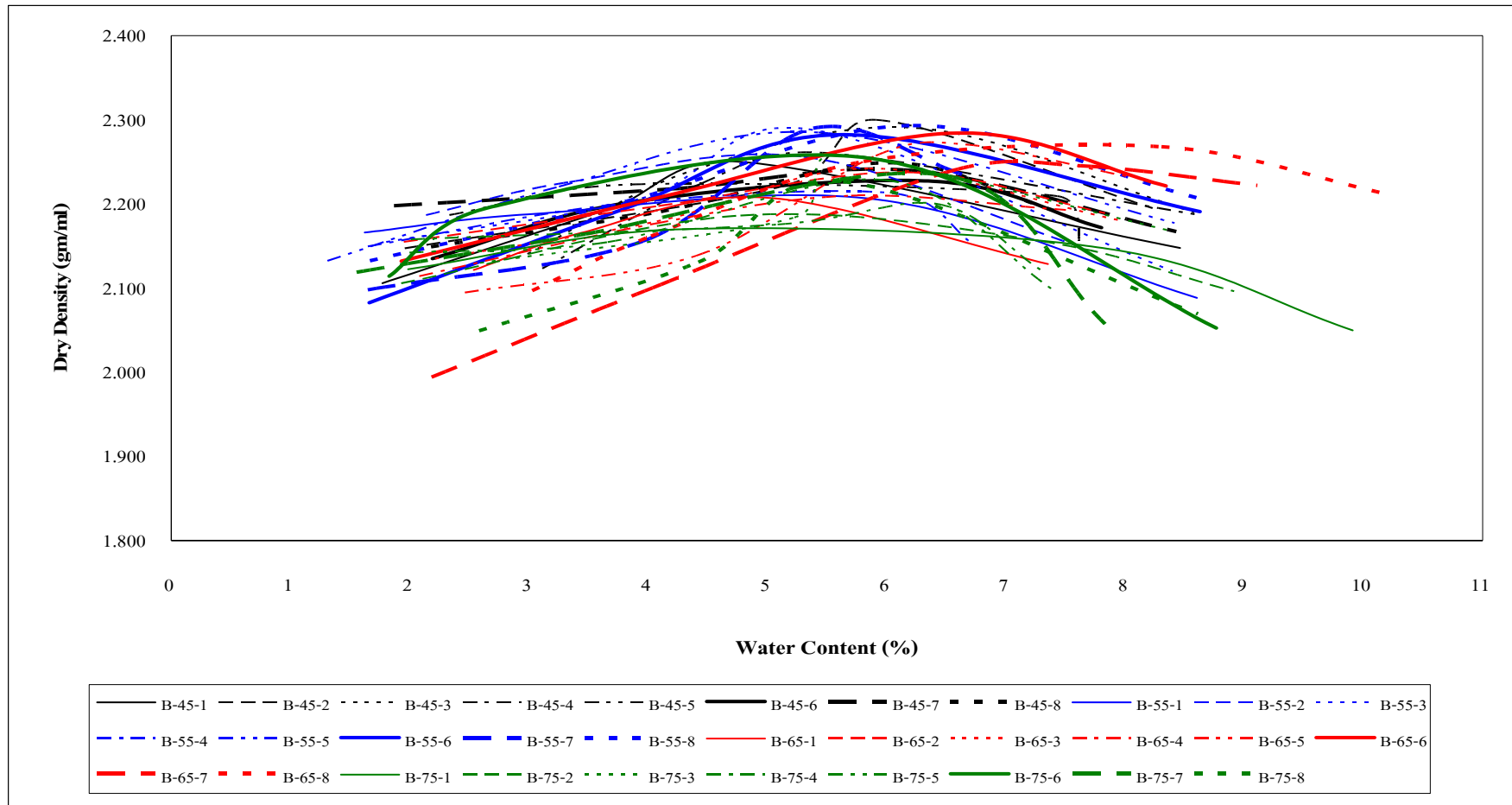
ภาพที่ 35 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-55 แหล่งสระบุรี หลังการบดอัด



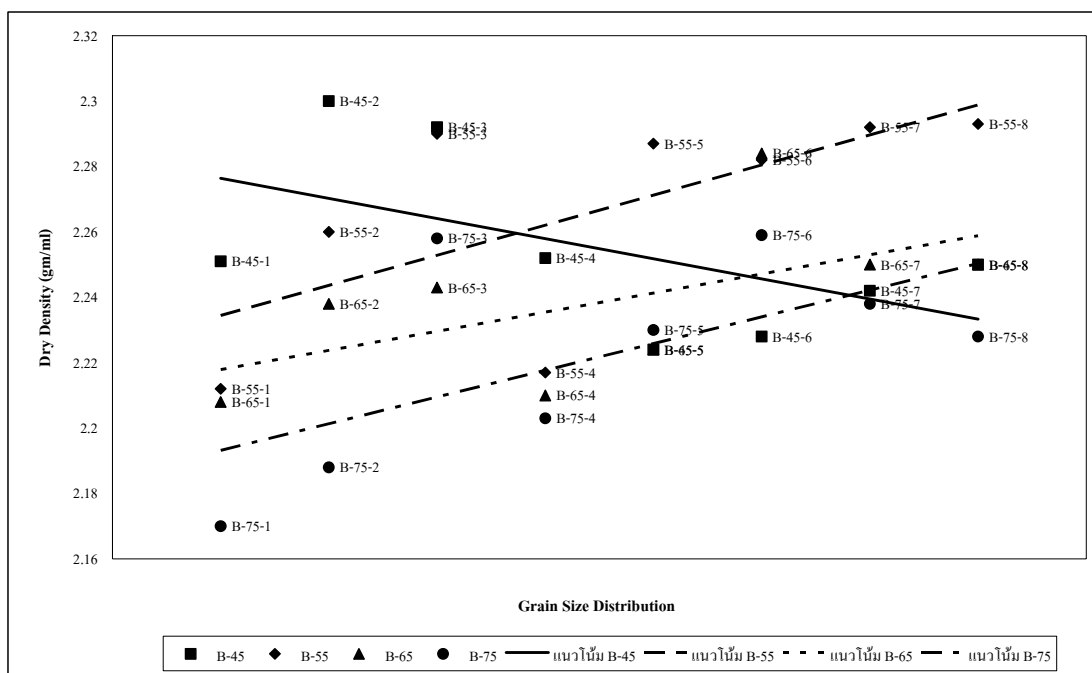
ภาพที่ 36 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-65 แหล่งสระบุรี หลังการบดอัด



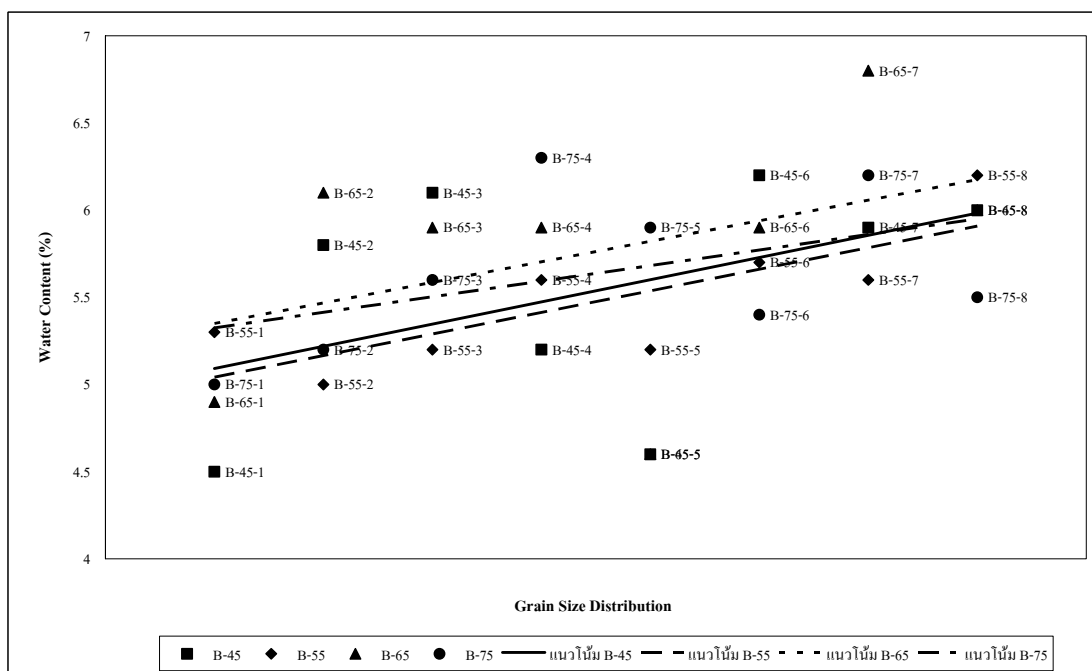
ภาพที่ 37 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินของตัวอย่าง B-75 แหล่งสระบุรี หลังการบดอัด



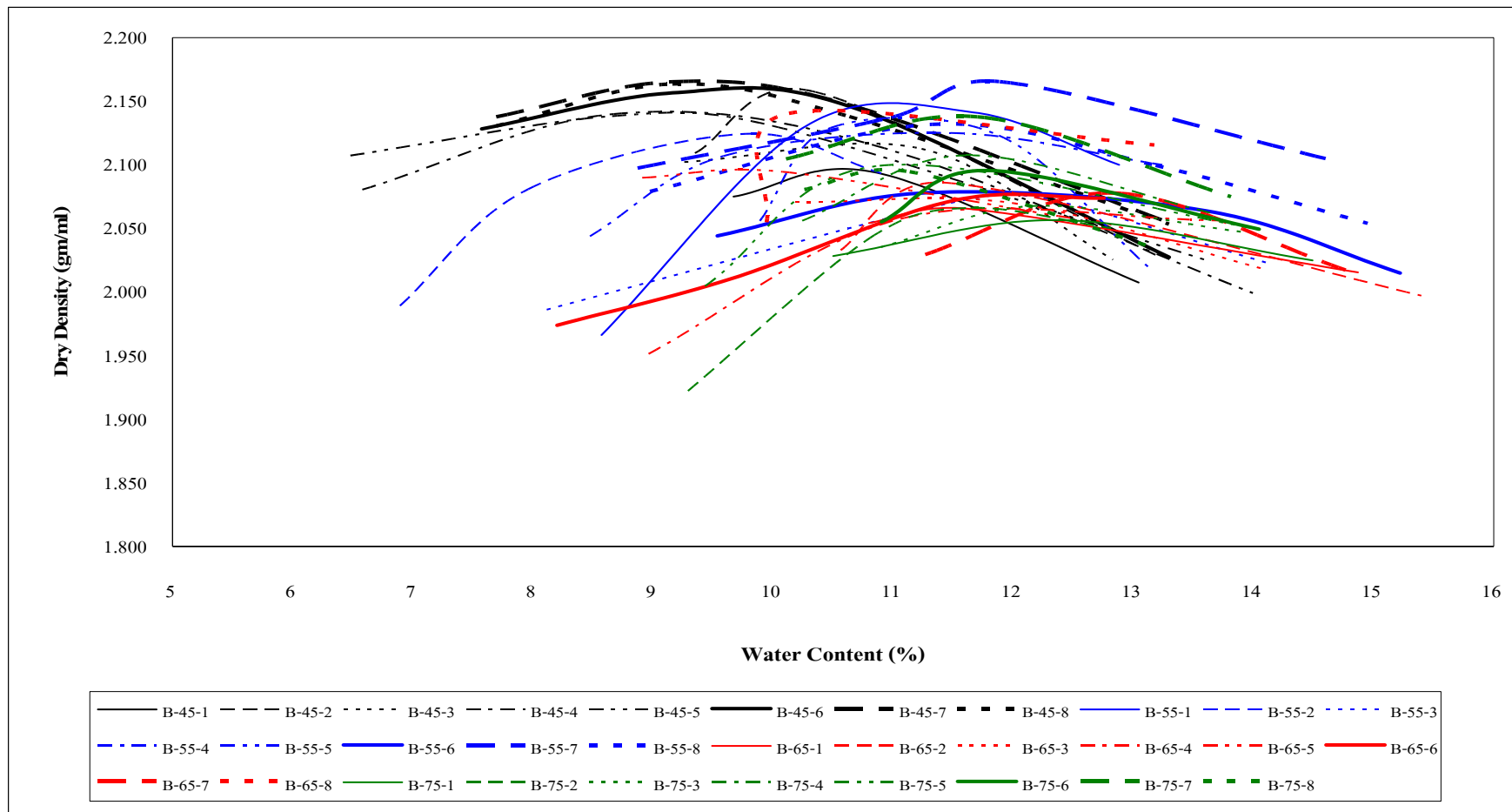
ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Water Content ของแหล่งราชบุรี



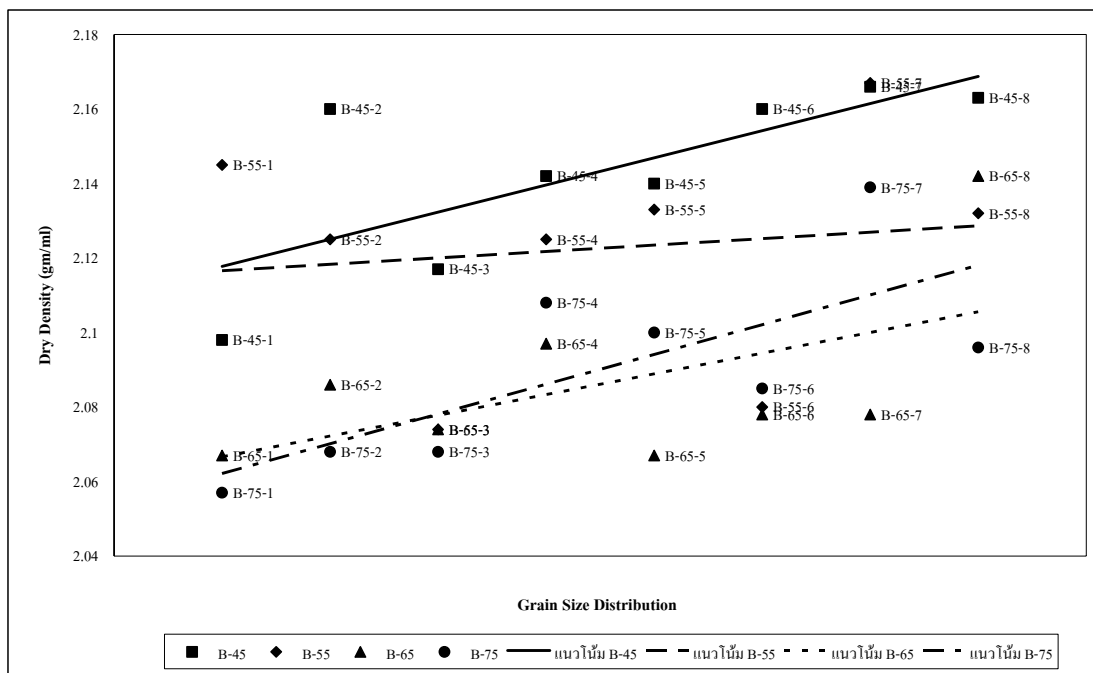
ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของแหล่งราชบุรี



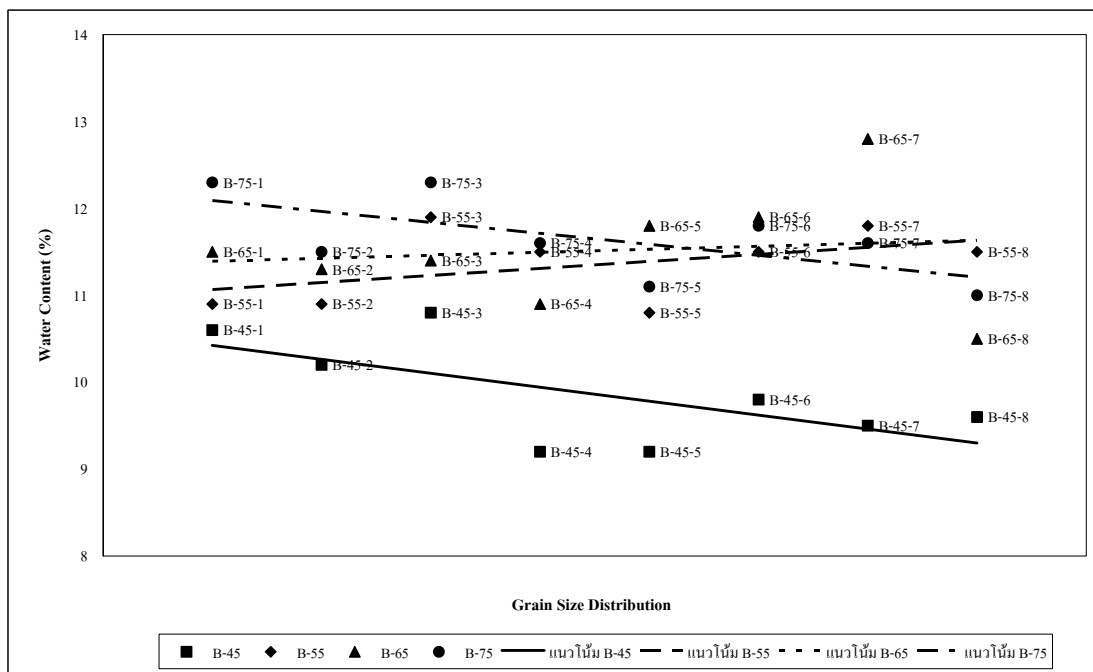
ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของแหล่งราชบุรี



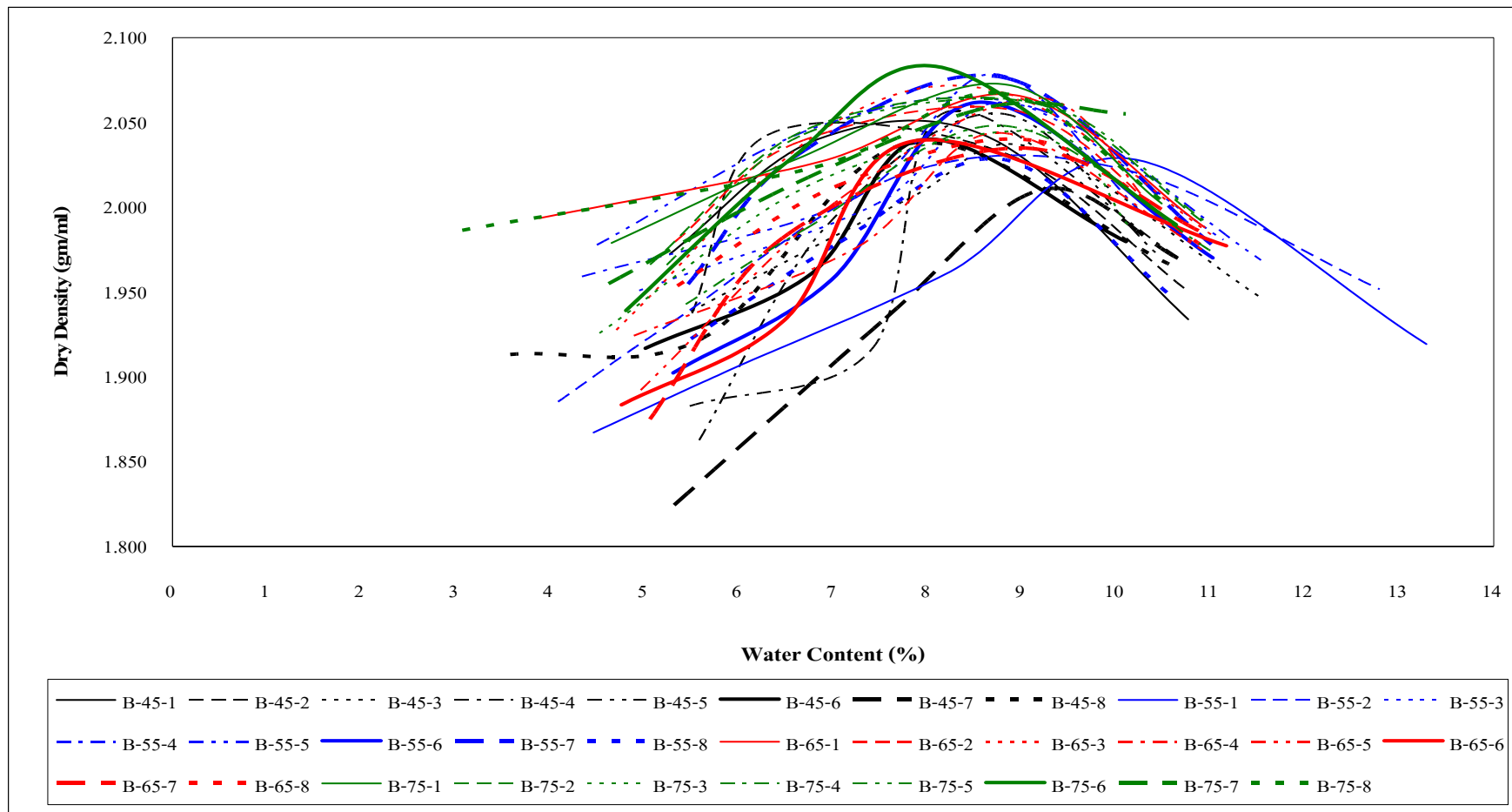
ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Water Content ของแหล่งพินธุโลก



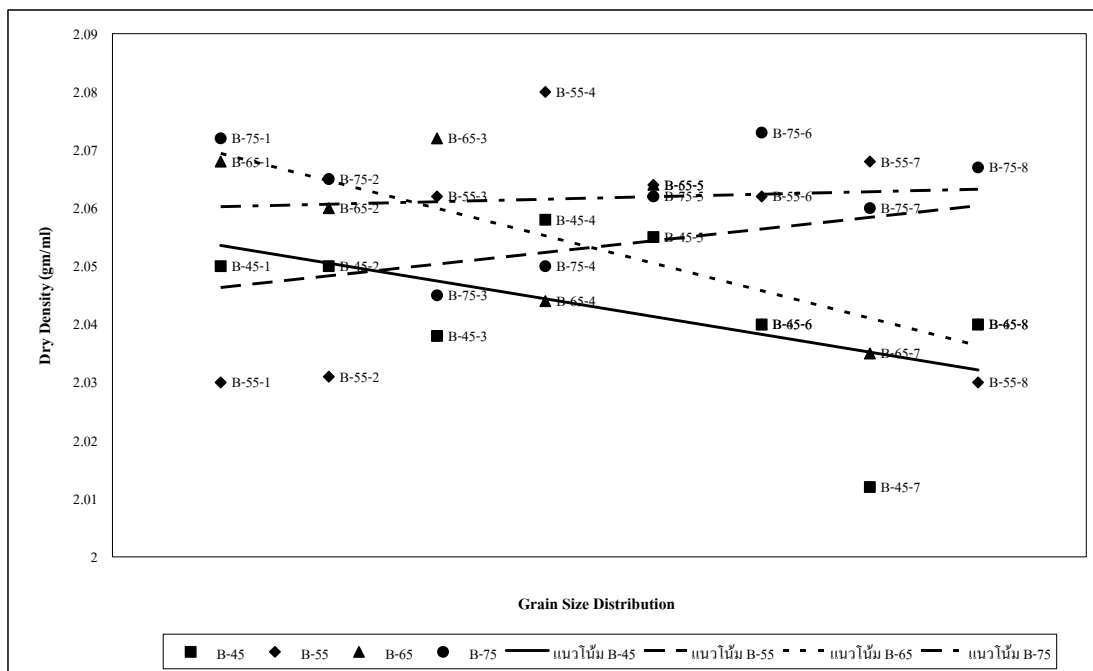
ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของแหล่งพินธุโลก



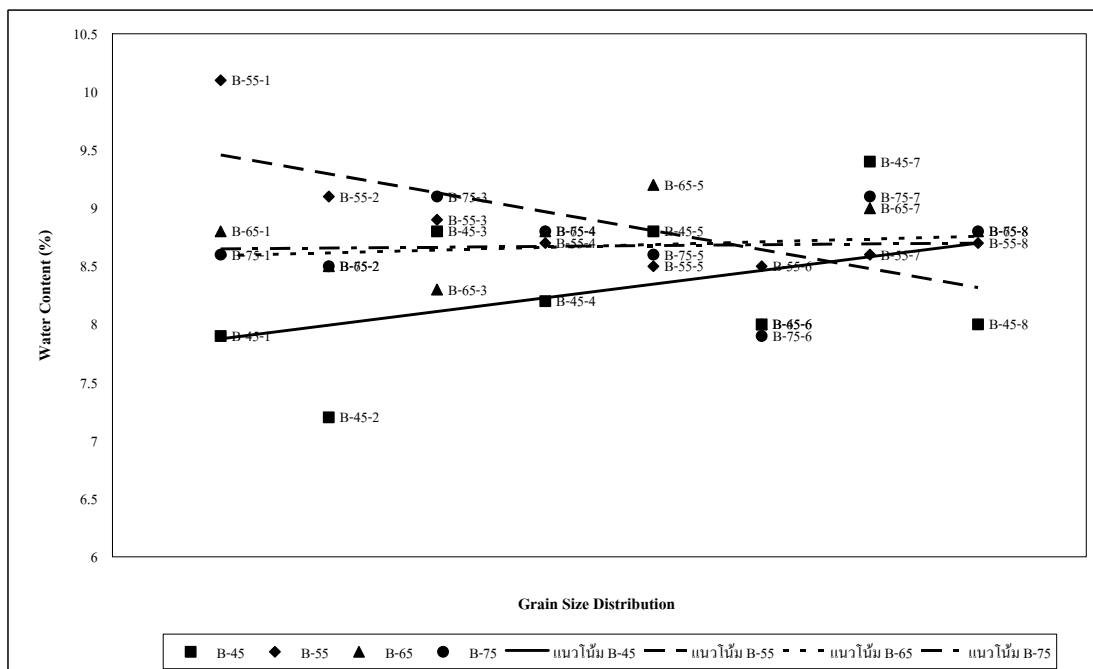
ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของแหล่งพินธุโลก



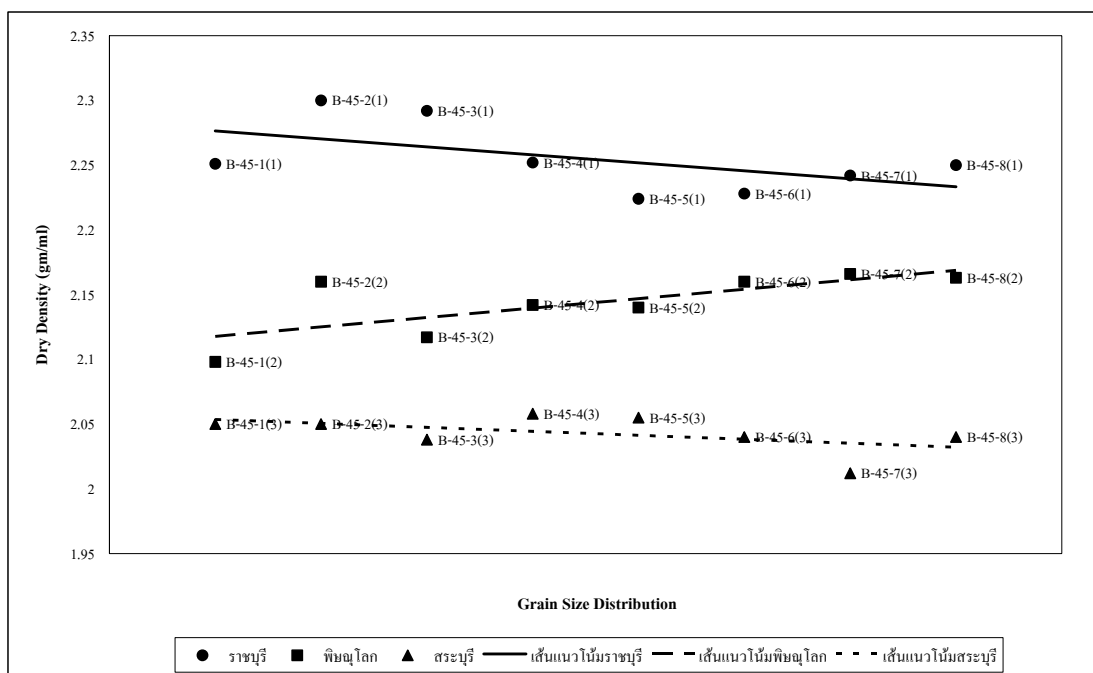
ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Water Content ของแหล่งสระบุรี



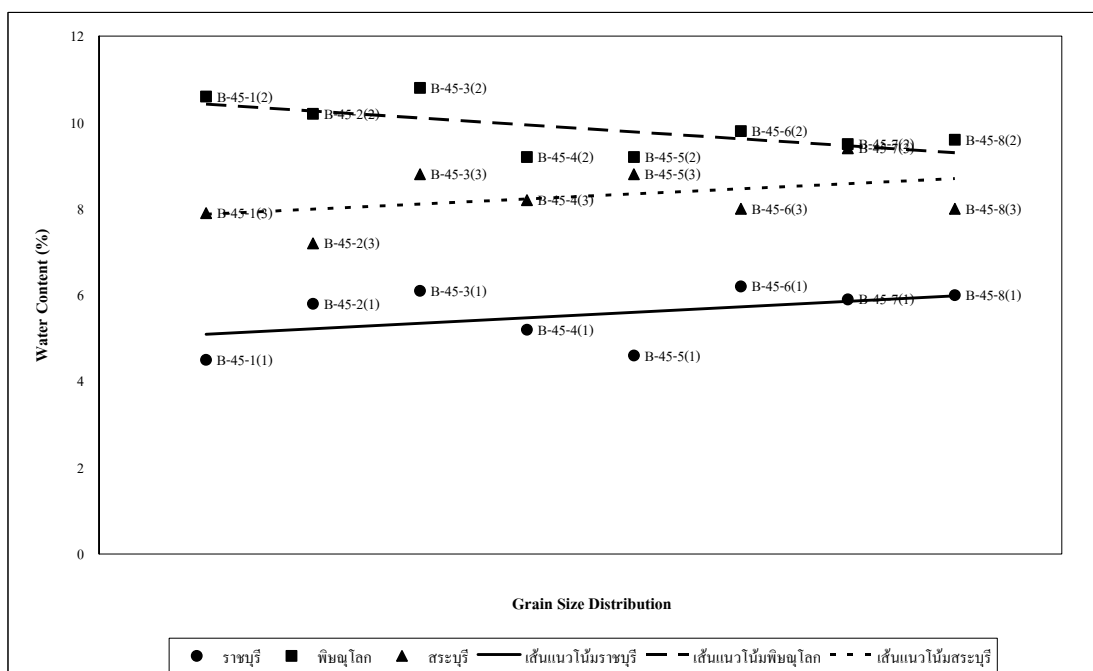
ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของแหล่งสระบุรี



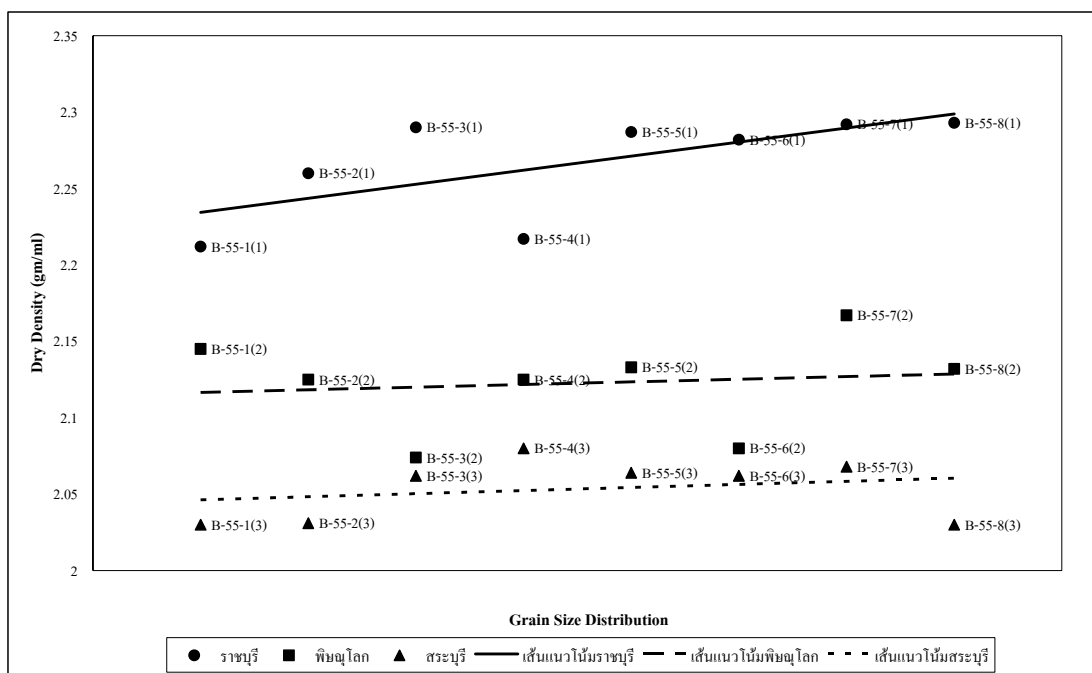
ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของแหล่งสระบุรี



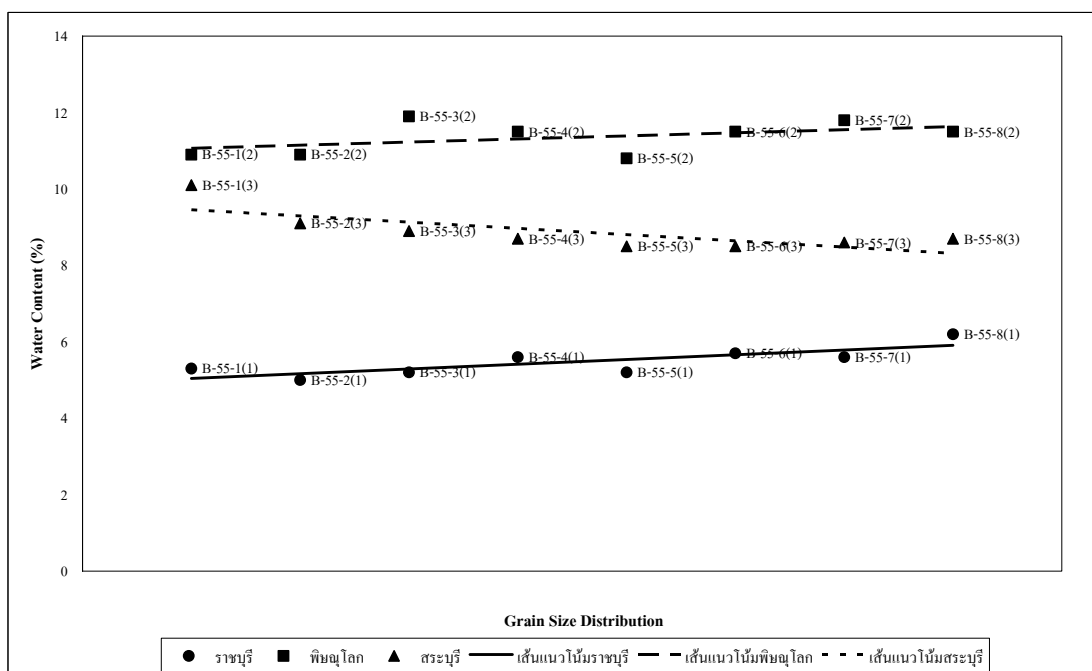
ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ B-45



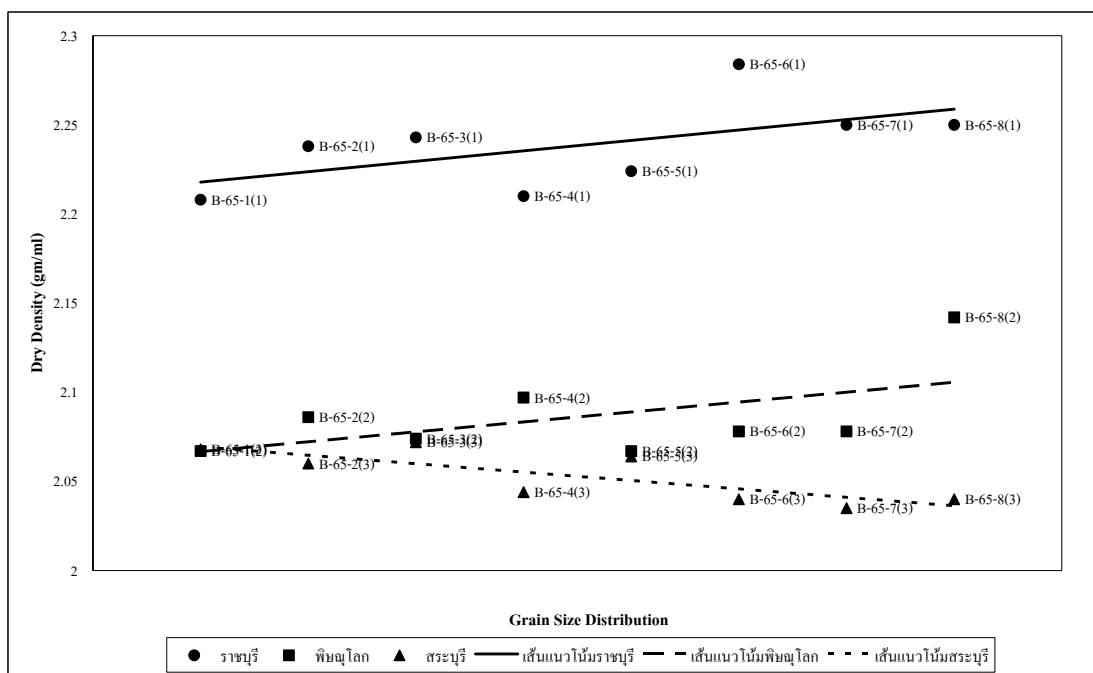
ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ B-45



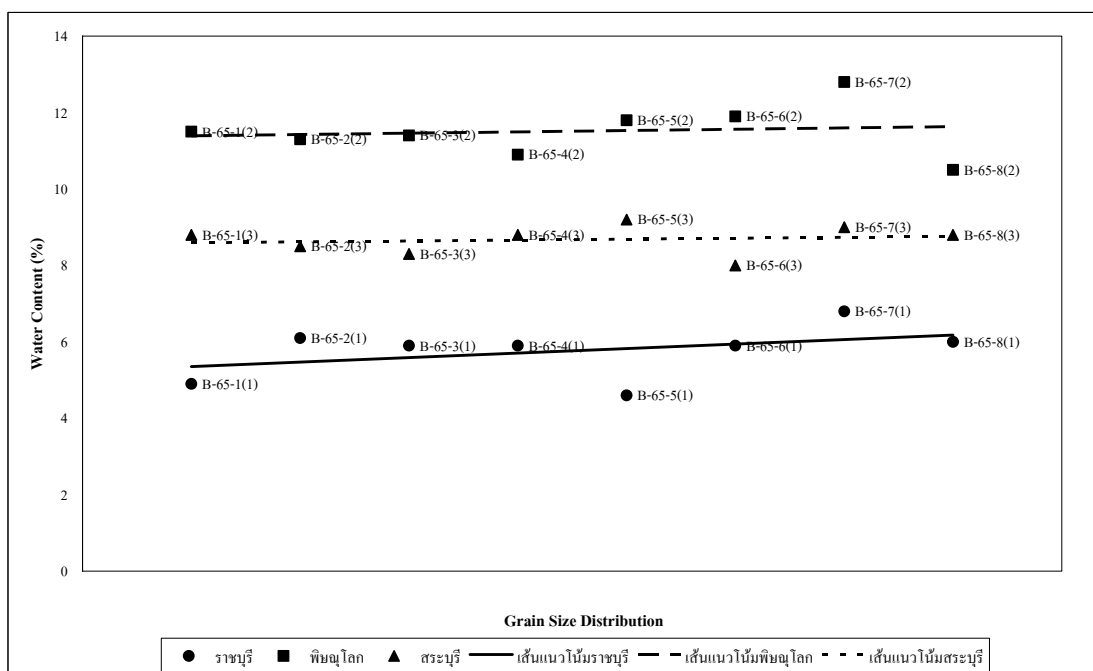
ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ B-55



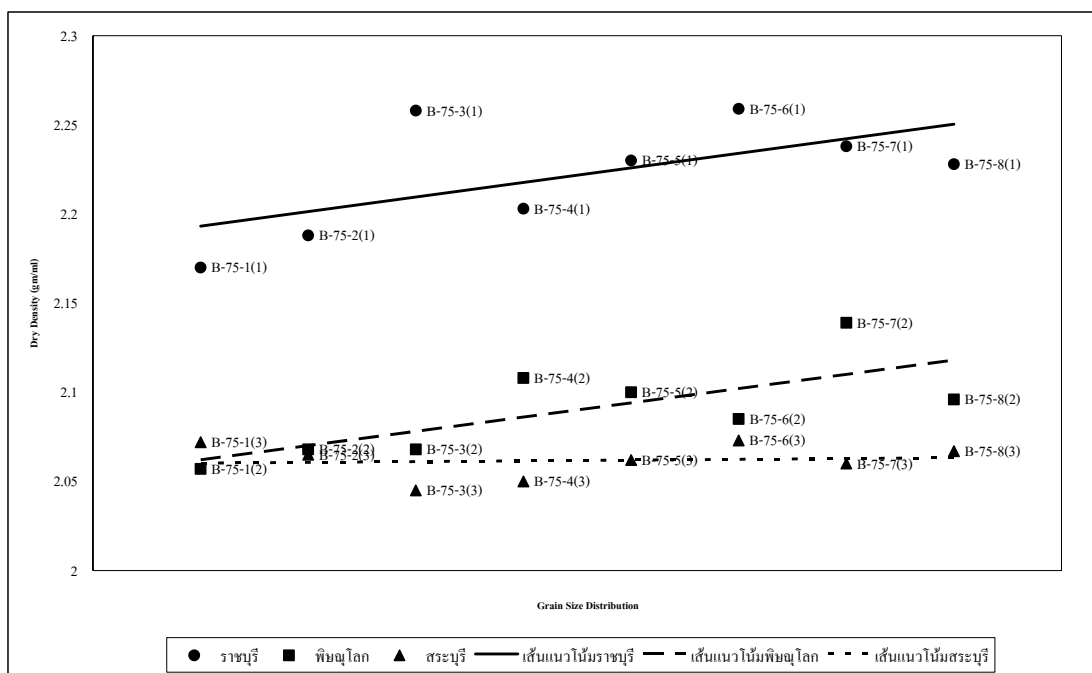
ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ B-55



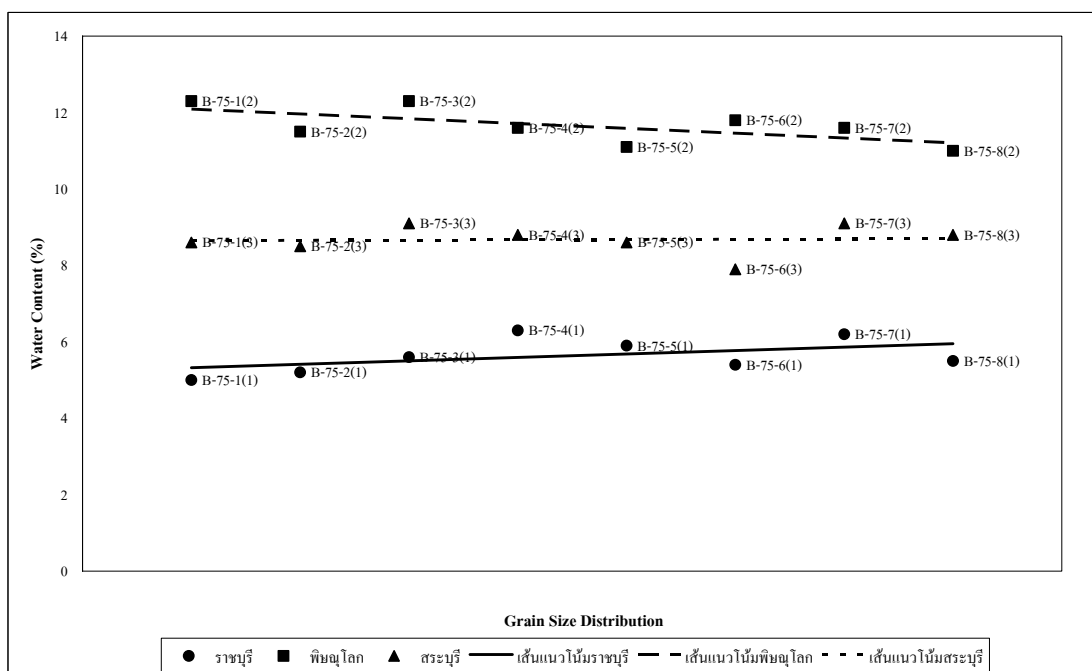
ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ B-65



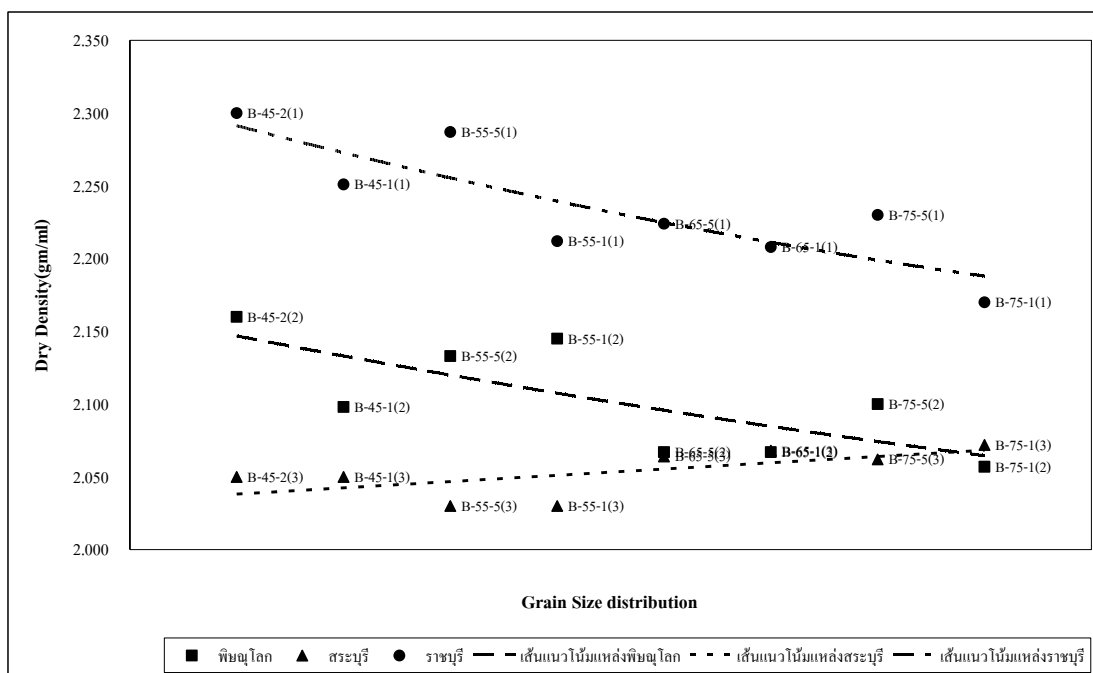
ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ B-65



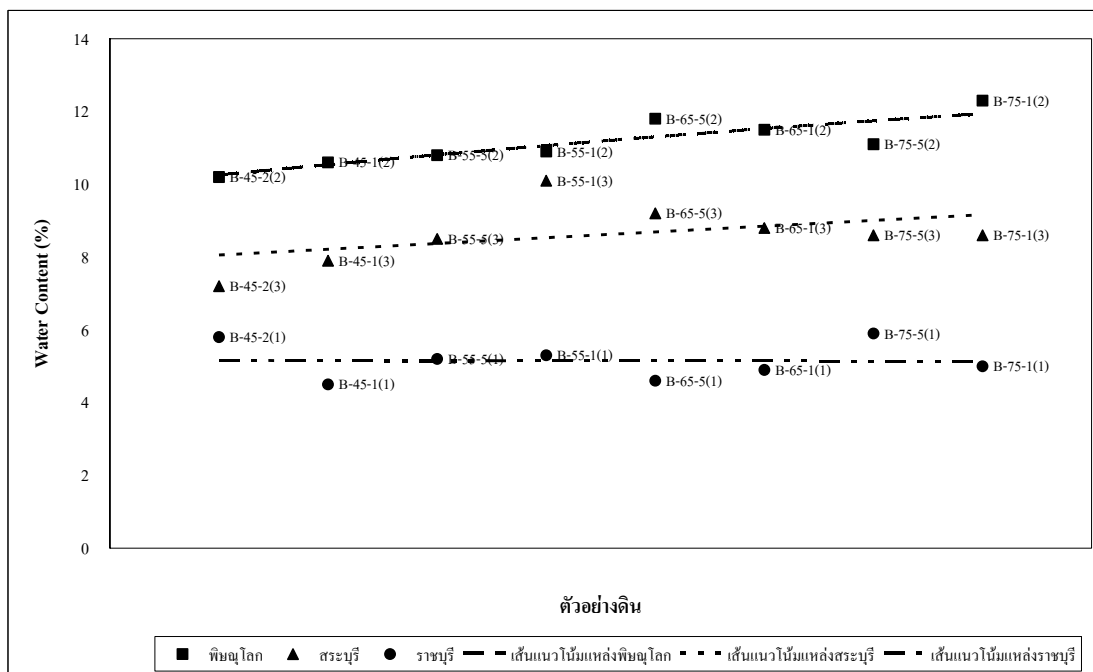
ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ B-75



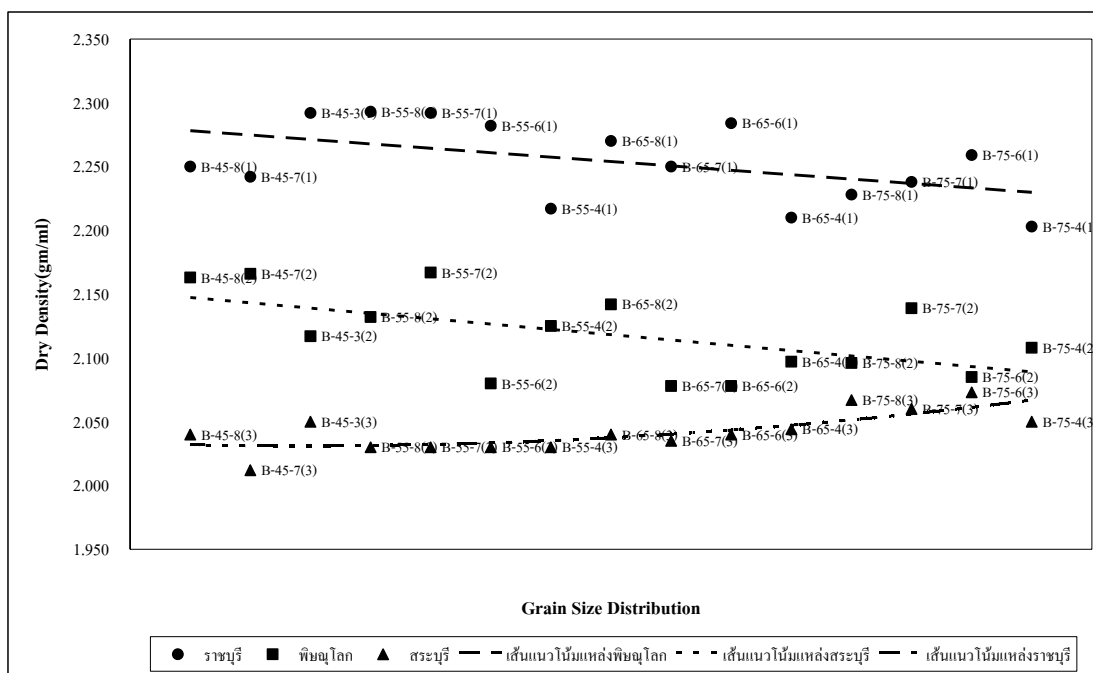
ภาพที่ 54 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ B-75



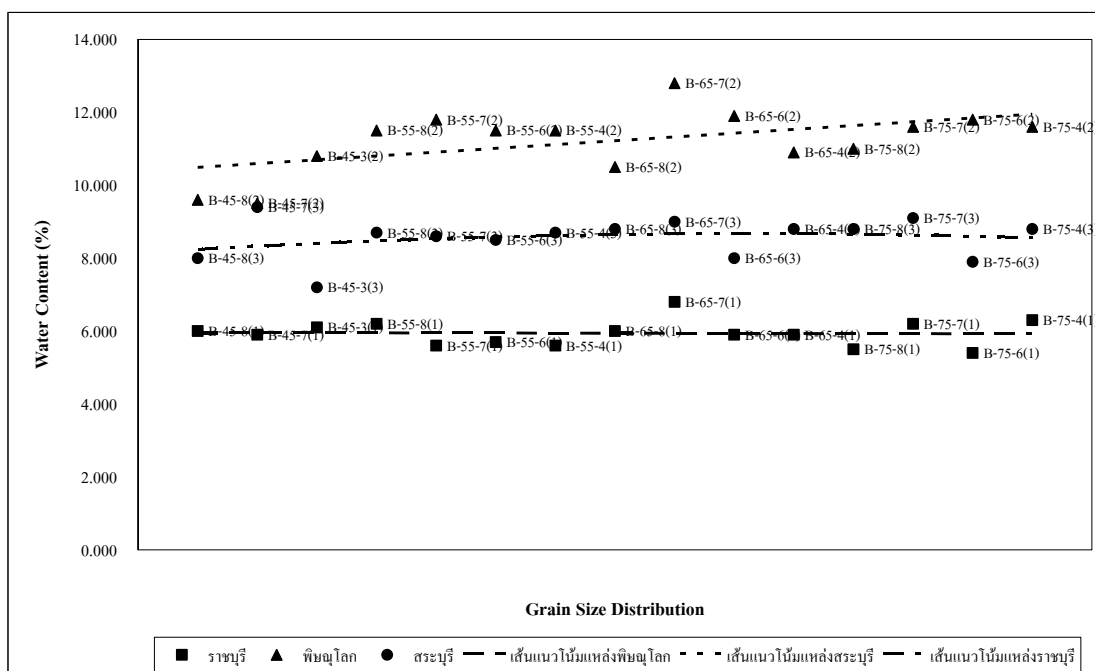
ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ Poorly Graded



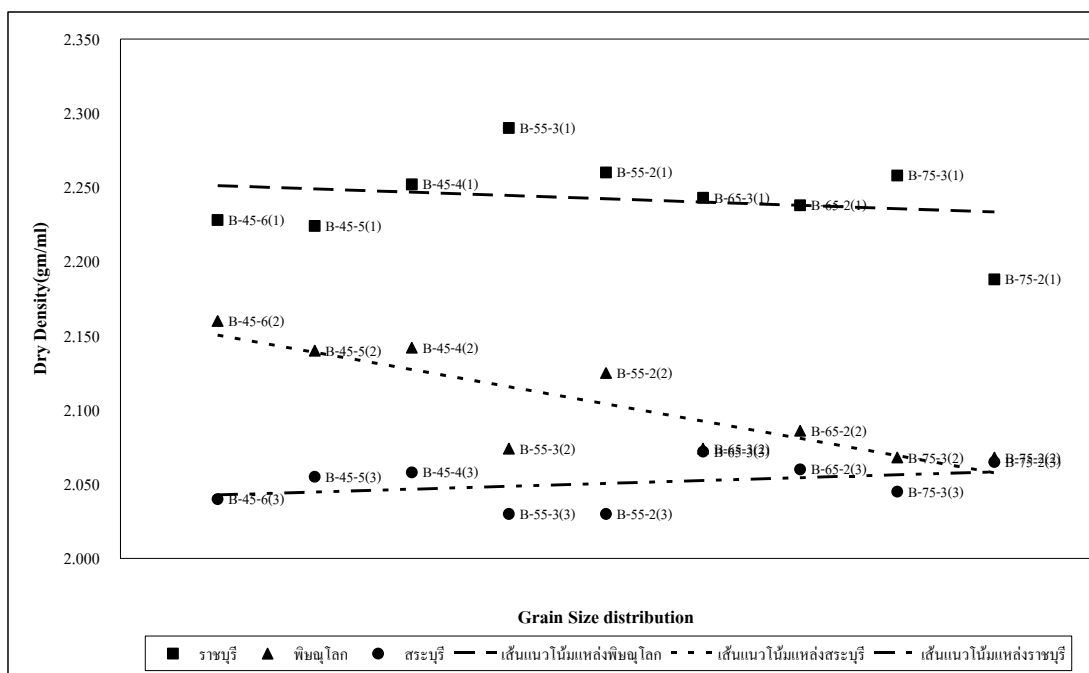
ภาพที่ 56 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ Poorly Graded



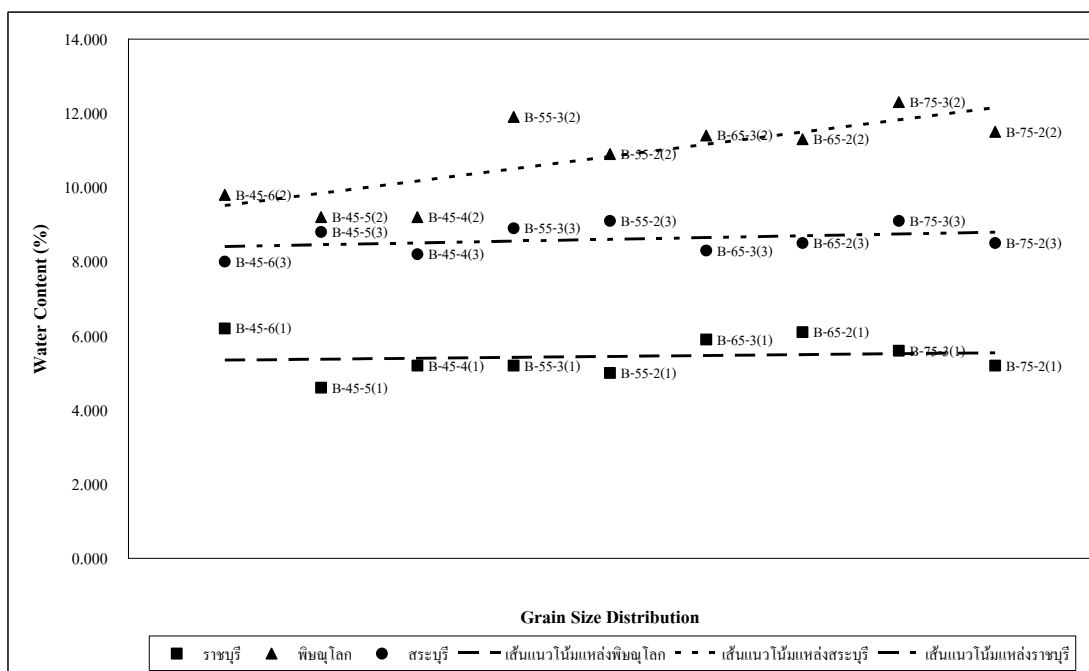
ภาพที่ 57 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ Gap Graded



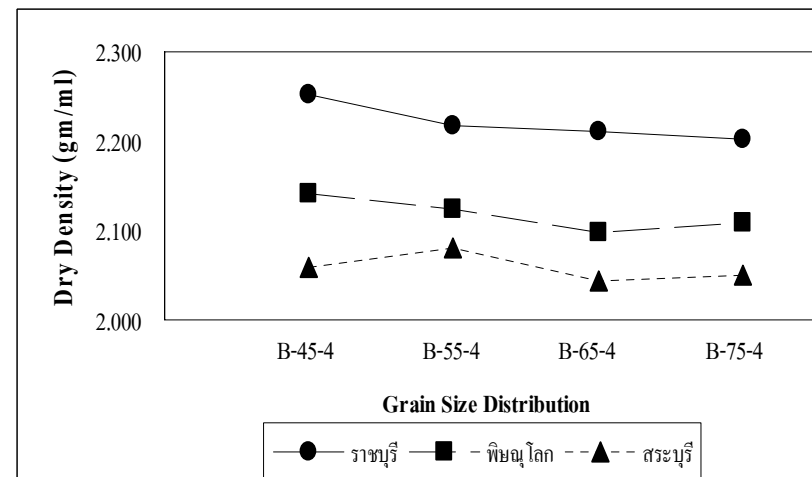
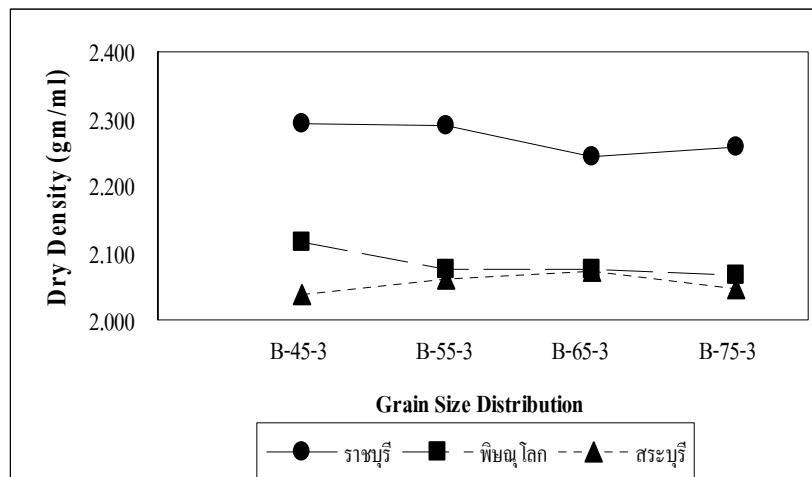
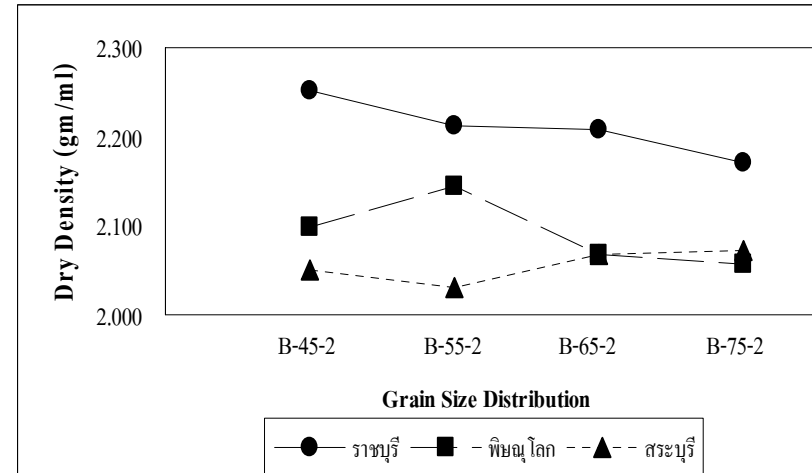
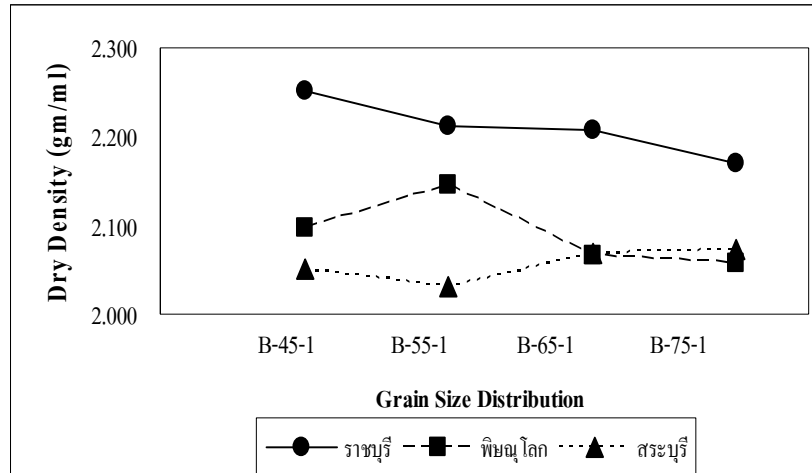
ภาพที่ 58 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ Gap Graded



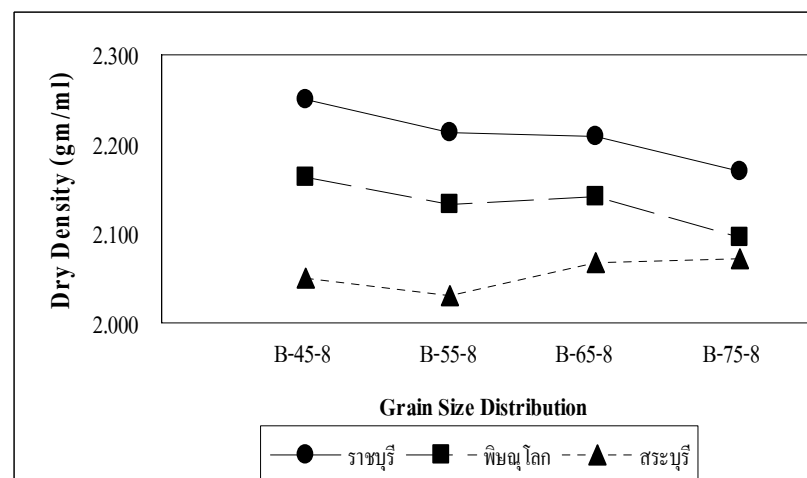
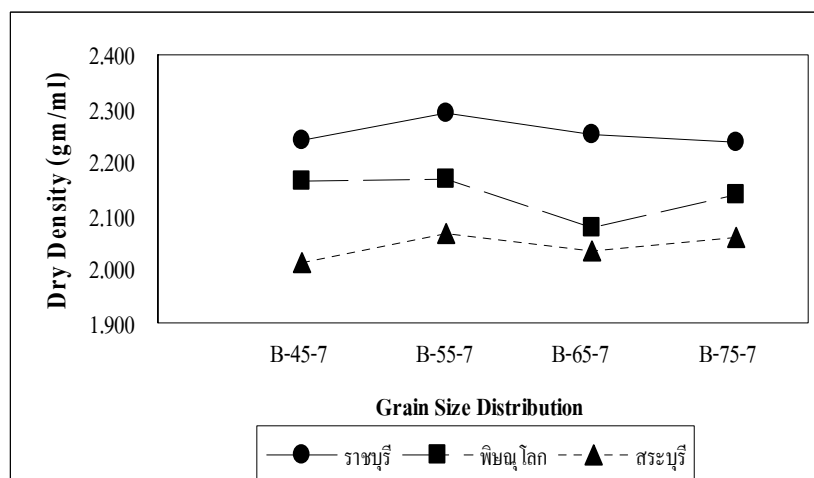
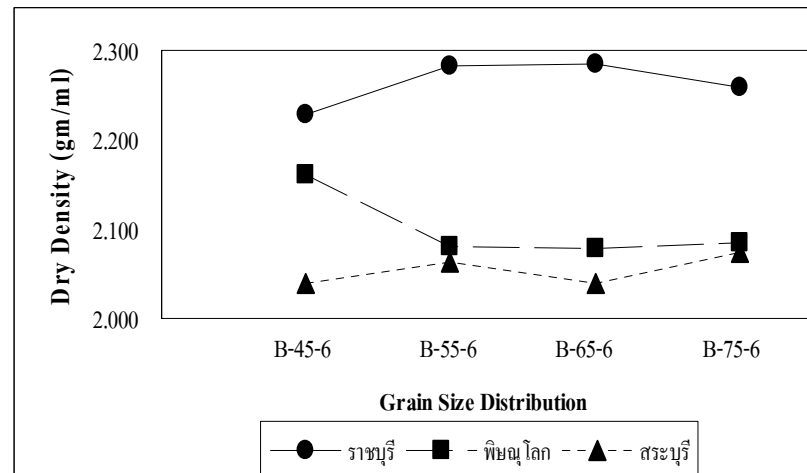
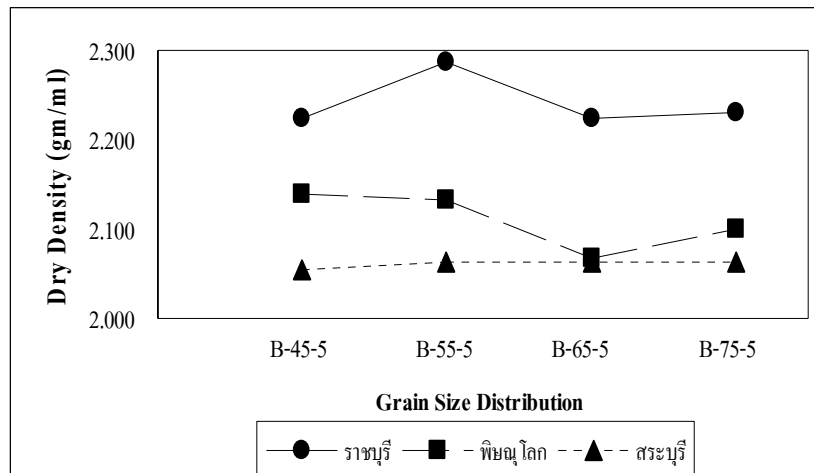
ภาพที่ 59 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ Grain Size Distribution ของ Well Graded



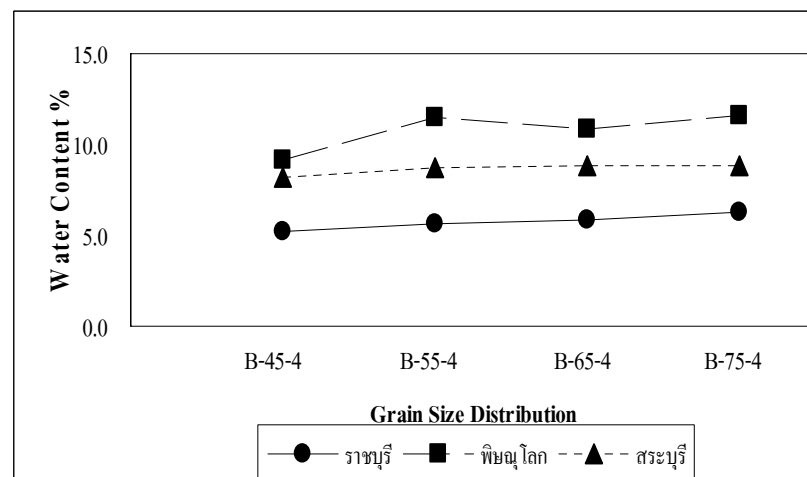
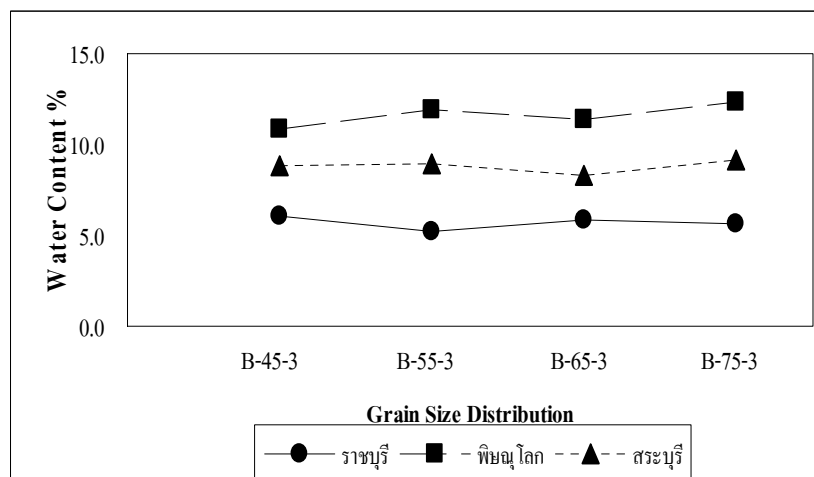
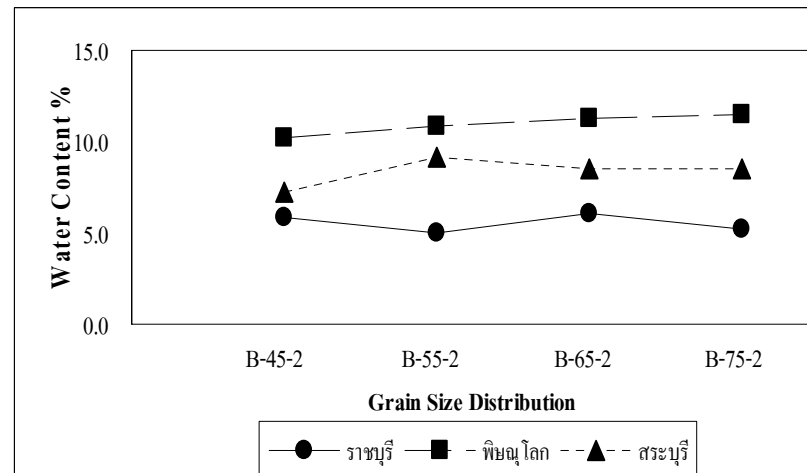
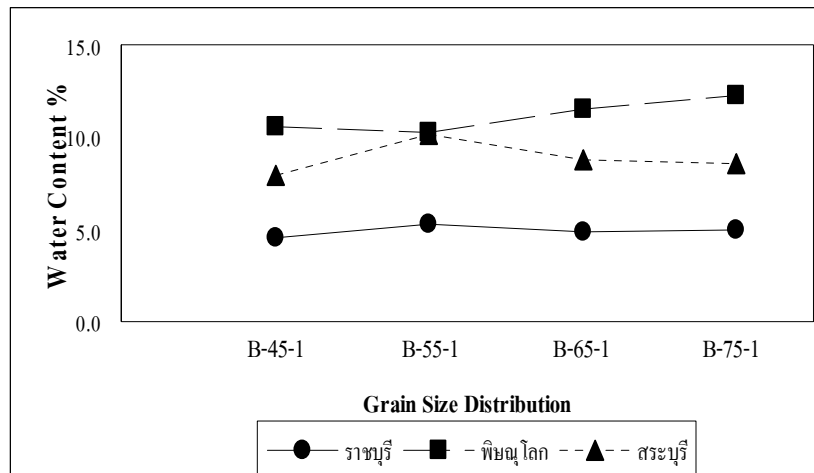
ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Grain Size Distribution ของ Well Graded



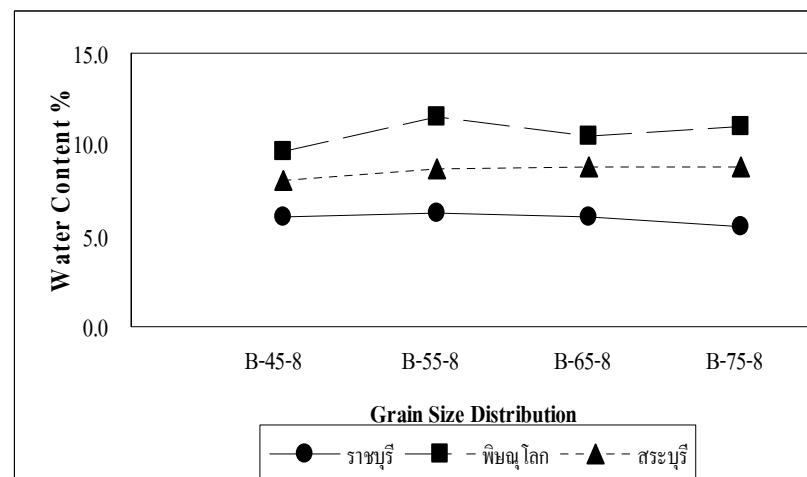
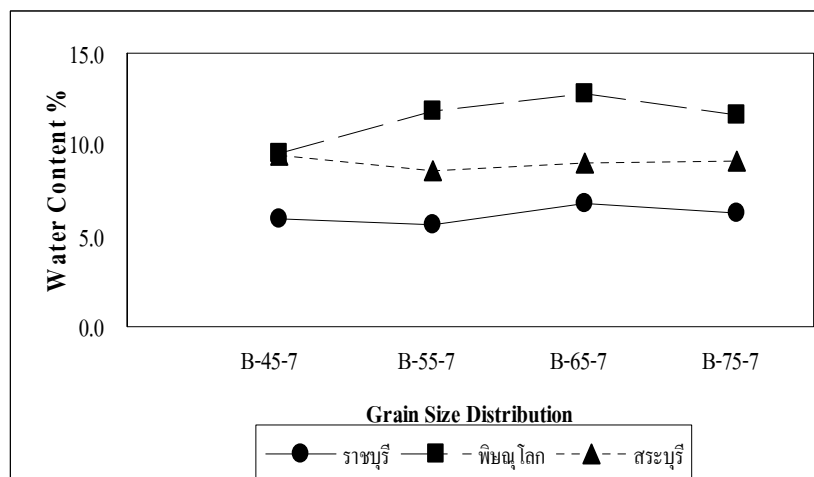
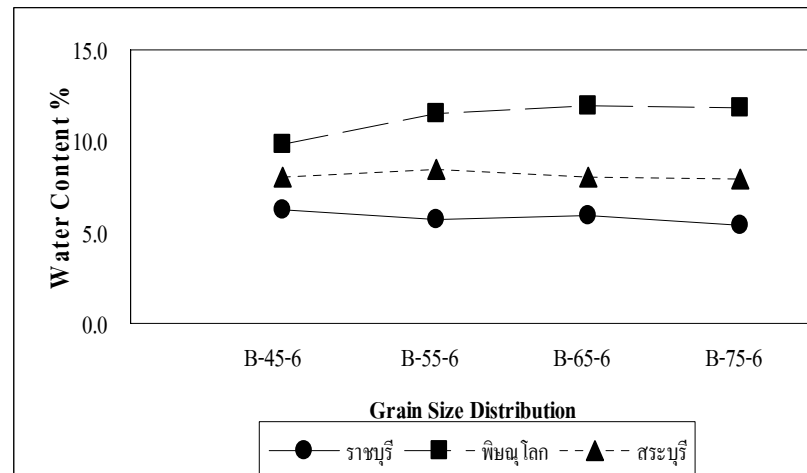
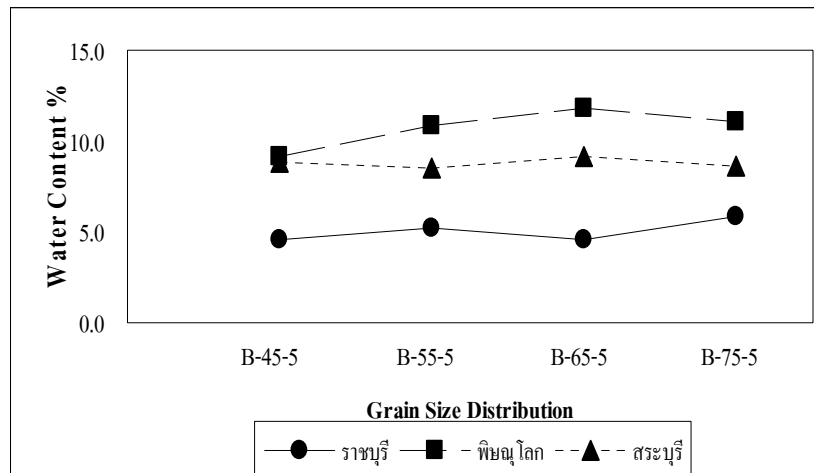
ภาพที่ 61 อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” ที่มีต่อ ค่าความแน่นแห้งสูงสุด



ภาพที่ 61 (ต่อ)



ภาพที่ 62 อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” ที่มีต่อ ปริมาณความชื้นเหมาะสม



ภาพที่ 62 (ต่อ)

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของกลุ่มดินตัวอย่างทั้ง 3 แหล่ง เมื่อพิจารณาจากรูปร่างของกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ประกอบกับผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อให้ผลการจำแนกที่ได้ความถูกต้องมากที่สุด เพื่อให้ง่ายต่อการจำแนก ปริมาณชั้นเหมาะสม, CBR และความชื้นน้ำ จะถูกนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ กับการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน เพื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ เพื่อดูอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงว่า มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมอย่างไร

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม

ผลการทดสอบความแน่นแห้ง

ในตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก มีค่าความแน่นแห้งสูงสุดอยู่ระหว่าง 2.060 – 2.167 gm/ml และมีค่าความชื้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 9.20 - 12.8 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี มีค่าความแน่นแห้งสูงสุดอยู่ระหว่าง 2.012 – 2.080 gm/ml และมีค่าความชื้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 7.20 – 10.10 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี มีค่าความแน่นแห้งสูงสุดอยู่ระหว่าง 2.102 – 2.300 gm/ml และมีค่าความชื้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.60 – 7.70 เปอร์เซ็นต์

- กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี มีค่าความแน่นแห้งสูงสุด สูงที่สุดและมีค่าความชื้นเหมาะสม ต่ำที่สุด
- กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี มีค่าความแน่นแห้งสูงสุด ต่ำที่สุดและมีค่าความชื้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี และพิษณุโลก
- กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก มีค่าความแน่นแห้งสูงสุด อยู่ระหว่างกลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี กับสระบุรี มีค่าความชื้นเหมาะสมสูงที่สุด

จะเห็นว่า ตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี มีลักษณะ รูปร่างเม็ดดินกลมมน มีค่า Abrasion ACV AIV ที่ต่ำกว่าตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก และราชบุรี และมีค่า Plasticity Index เป็น Non-Plastic ทำให้มีค่าความแน่นแห้งสูงสุด และมีความชื้นเหมาะสมต่ำที่สุด เนื่องจากต้องใช้พลังงานในการบดอัดสูงถึงจะทำให้แน่น

ช่วงความแตกต่างความแน่นแข็งสูงสุดของกลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรีจะมีช่วงแคบที่สุด เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินหลังการบดอัด จะเห็นว่าการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินค่อนข้างที่จะไม่แตกต่างกันมากนัก

วิเคราะห์อิทธิพลของ Grain Size Distribution

กลุ่มตัวอย่างดินแหล่งราชบุรี

พิจารณาจากการกระจายตัวของเม็ดดิน จากภาพที่ 38-40 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างดิน B-55, B-65 และ B-75 มีแนวโน้มเมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น จะทำให้ความแน่นแข็งสูงขึ้น แต่ในกลุ่มตัวอย่างดิน B-45 กลับมีความแน่นแข็งลดลง

กลุ่มตัวอย่างดิน B-45, B-55, B-65 และ B-75 มีแนวโน้มเมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Graded จากภาพที่ 55-56 มีแนวโน้มเมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น ทำให้ความแน่นแข็งลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมค่อนข้างที่จะไม่แตกต่างกันมากนัก ไม่พบแนวโน้มใดๆ

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Gap Graded จากภาพที่ 57-58 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น จะทำให้ความแน่นแข็งมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่ชัดเจนนัก

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well Graded จากภาพที่ 59-60 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น จะทำให้ความแน่นแข็งมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมค่อนข้างที่จะคงที่ ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน

กลุ่มตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก

พิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน จากภาพที่ 41-43 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างดิน B-45, B-55, B-65 และ B-75 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ความแน่นแห้งสูงขึ้น

กลุ่มตัวอย่างดิน B-45 และ B-75 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณความชื้นเหมาะสมลดลง แต่กลุ่มตัวอย่างดิน B-55 และ B-65 มีแนวโน้มปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Graded จากภาพที่ 55-56 พบว่า เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบลดลง มีแนวโน้มทำให้ความแน่นแห้งลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Gap Graded จากภาพที่ 57-58 พบว่า เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบลดลง มีแนวโน้มทำให้ความแน่นแห้งลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well Graded จากภาพที่ 59-60 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้งมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมค่อนข้างที่จะคงที่ ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน

กลุ่มตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี

พิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน จากภาพที่ 44-46 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างดิน B-45 และ B-65 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ความแน่นแห้งลดลง แต่ในกลุ่ม B-55 และ B-75 ความแน่นแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

กลุ่มตัวอย่างดิน B-45, B-65 และ B-75 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น แต่ในกลุ่มตัวอย่างดิน B-55 มีแนวโน้มที่ลดลง

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Graded จากภาพที่ 55-56 พบว่า เมื่อการกระจายตัวของเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบลดลง มีแนวโน้มทำให้ความแน่นแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Gap Graded จากภาพที่ 57-58 พบว่า เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบลดลง มีแนวโน้มทำให้ความแน่นแห้งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well Graded จากภาพที่ 59-60 พบว่า เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบลดลง มีแนวโน้มทำให้ความแน่นแห้งลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน

พิจารณาอิทธิพลของรูปร่างของกลุ่มตัวอย่างดิน

พิจารณาจากรูปร่างของกลุ่มตัวอย่างดิน จากภาพที่ 47-54 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

จากภาพที่ 47-48 กลุ่มตัวอย่างดิน B-45 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน เหลี่ยมคม มีแนวโน้มความแน่นแห้งลดลง แต่ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมมน มีแนวโน้มความแน่นแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน และเหลี่ยมคม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมมน มีแนวโน้มลดลง

จากภาพที่ 49-50 กลุ่มตัวอย่างดิน B-55 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน มีแนวโน้มความแน่นแฟ้นเพิ่มขึ้นมาก ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมคม และเหลี่ยมมน ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน และเหลี่ยมมน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมคม มีแนวโน้มลดลง

จากภาพที่ 51-52 กลุ่มตัวอย่าง B-65 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน และเหลี่ยมมน มีแนวโน้มของความแน่นแฟ้นเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมคม มีแนวโน้มความแน่นแฟ้นลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 53-54 กลุ่มตัวอย่างดิน B-75 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน และเหลี่ยมมน มีแนวโน้มของความแน่นแฟ้นเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมคม มีแนวโน้มของความแน่นแฟ้นค่อนข้างที่จะคงที่ ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน และเหลี่ยมคม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมมน มีแนวโน้มลดลง

จากภาพที่ 55-56 กลุ่มตัวอย่างดิน Poorly Graded เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน และเหลี่ยมมน มีแนวโน้มของความแน่นแฟ้นที่ลดลง ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมคมมีแนวโน้มของความแน่นแฟ้นที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 57-58 กลุ่มตัวอย่างดิน Gap Graded เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน และเหลี่ยมมน มีแนวโน้มของความแน่นแฟ้นที่ลดลง ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมคม มีแนวโน้มของความแน่นแฟ้นที่ลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 59-60 กลุ่มตัวอย่างดิน Well Graded เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน มีแนวโน้มของความแน่นแฟ้นที่

ลดลง ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมคม และเหลี่ยมมน มีแนวโน้มของความแน่นแข็งที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

พิจารณาอิทธิพลของความทนทานของเม็ดดิน

พิจารณาจากความทนทานของเม็ดดินของกลุ่มตัวอย่างดิน จากภาพที่ 47-54 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

จากภาพที่ 47-48 กลุ่มตัวอย่างดิน B-45 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูงและต่ำ มีแนวโน้มความแน่นแข็งลดลง แต่ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินปานกลาง มีแนวโน้มความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูงและต่ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินปานกลาง มีแนวโน้มลดลง

จากภาพที่ 49-50 กลุ่มตัวอย่างดิน B-55 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูง มีแนวโน้มความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น มาก ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินปานกลางและต่ำ ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูงและปานกลาง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินต่ำ มีแนวโน้มลดลง

จากภาพที่ 51-52 กลุ่มตัวอย่าง B-65 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูงและปานกลาง มีแนวโน้มของความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินต่ำ มีแนวโน้มความแน่นแข็งลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินทั้ง 3 ความทนทาน มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 53-54 กลุ่มตัวอย่างดิน B-75 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูงและปานกลาง มีแนวโน้มของความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินต่ำ มีแนวโน้มของความแน่นแข็งค่อนข้างที่จะคงที่ ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูงและต่ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินปานกลาง มีแนวโน้มลดลง

จากภาพที่ 55-56 กลุ่มตัวอย่างดิน Poorly Graded เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูงและปานกลาง มีแนวโน้มของความแน่นแห้งที่ลดลง ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินต่ำมีแนวโน้มของความแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินทั้ง 3 ความทนทาน มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 57-58 กลุ่มตัวอย่างดิน Gap Graded เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูงและปานกลาง มีแนวโน้มของความแน่นแห้งที่ลดลง ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินต่ำ มีแนวโน้มของความแน่นแห้งที่ลดลง ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินทั้ง 3 ความทนทาน มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 59-60 กลุ่มตัวอย่างดิน Well Graded เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินสูง มีแนวโน้มของความแน่นแห้งที่ลดลง ตัวอย่างดินที่มีความทนทานของเม็ดดินปานกลางและต่ำ มีแนวโน้มของความแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตัวอย่างดินทั้ง 3 ความทนทาน มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

เปรียบเทียบอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” ที่มีต่อความแน่นแห้งสูงสุด

พิจารณาภาพที่ 61-62 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบต่างๆของตัวอย่างดินกับความแน่นแห้ง เมื่อพิจารณาผลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” พบว่า มีแนวโน้มที่จะให้ผลการทดสอบเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี และพิษณุโลก ในกลุ่มตัวอย่างดิน B-45 มีค่าความแน่นแห้งสูงสุด สูงที่สุด แล้วลดลงตามปริมาณเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” ที่เพิ่มขึ้น คือ B-55, B-65 และ B-75 ตามลำดับ

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรีในทุกกลุ่มตัวอย่างดิน B-45, B-55, B-65 และ B-75 มีค่าความแน่นแห้งสูงสุด ที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ไม่มีแนวโน้มที่เห็นได้เด่นชัด

กลุ่มตัวอย่างดินจากทุกแหล่ง พบว่า มีค่าความชื้นเหมาะสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” ที่เพิ่มขึ้น ดังนี้ B-45, B-55, B-65 และ B-75 ตามลำดับ ในทุกกลุ่มตัวอย่างดิน

เปรียบเทียบอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ที่มีต่อความแน่นแห้งสูงสุด

เมื่อพิจารณาผลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างดิน B-1, B-4 จากทุกแหล่งตัวอย่างดิน ในกลุ่มตัวอย่างดิน B-4 ซึ่งมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ที่น้อยกว่า จะมีความหนาแน่นแห้งที่สูงกว่า

กลุ่มตัวอย่างดิน B-2, B-5 และ B-7 จากทุกแหล่งตัวอย่างดิน มีแนวโน้มเมื่อปริมาณเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ที่ลดลง จะมีความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

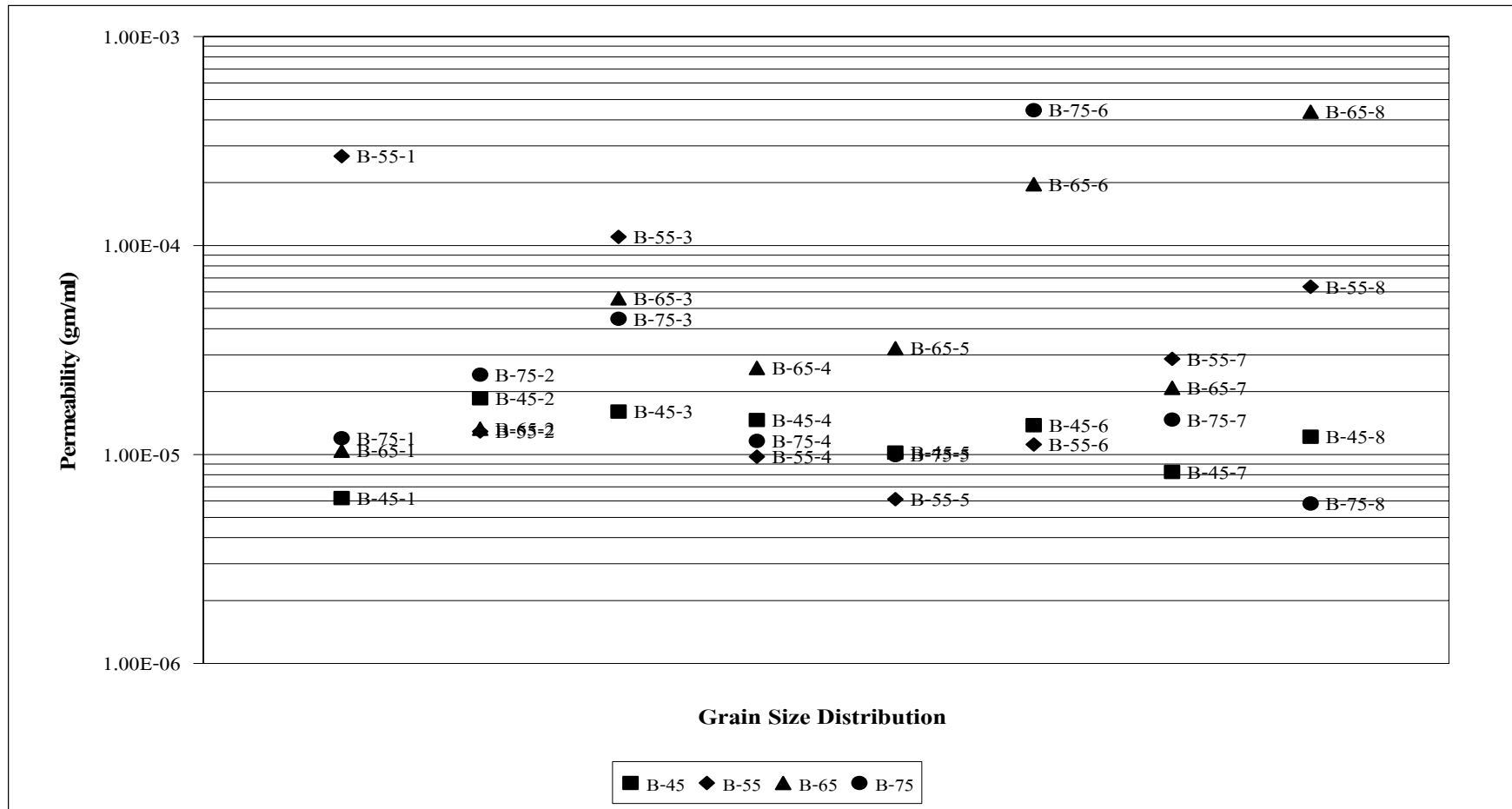
กลุ่มตัวอย่างดิน B-3, B-5 และ B-8 จากทุกแหล่งตัวอย่างดิน ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนแม้ว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ที่ลดลง ความหนาแน่นแห้งมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง

เปรียบเทียบอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ที่มีต่อความแน่นแห้งสูงสุด

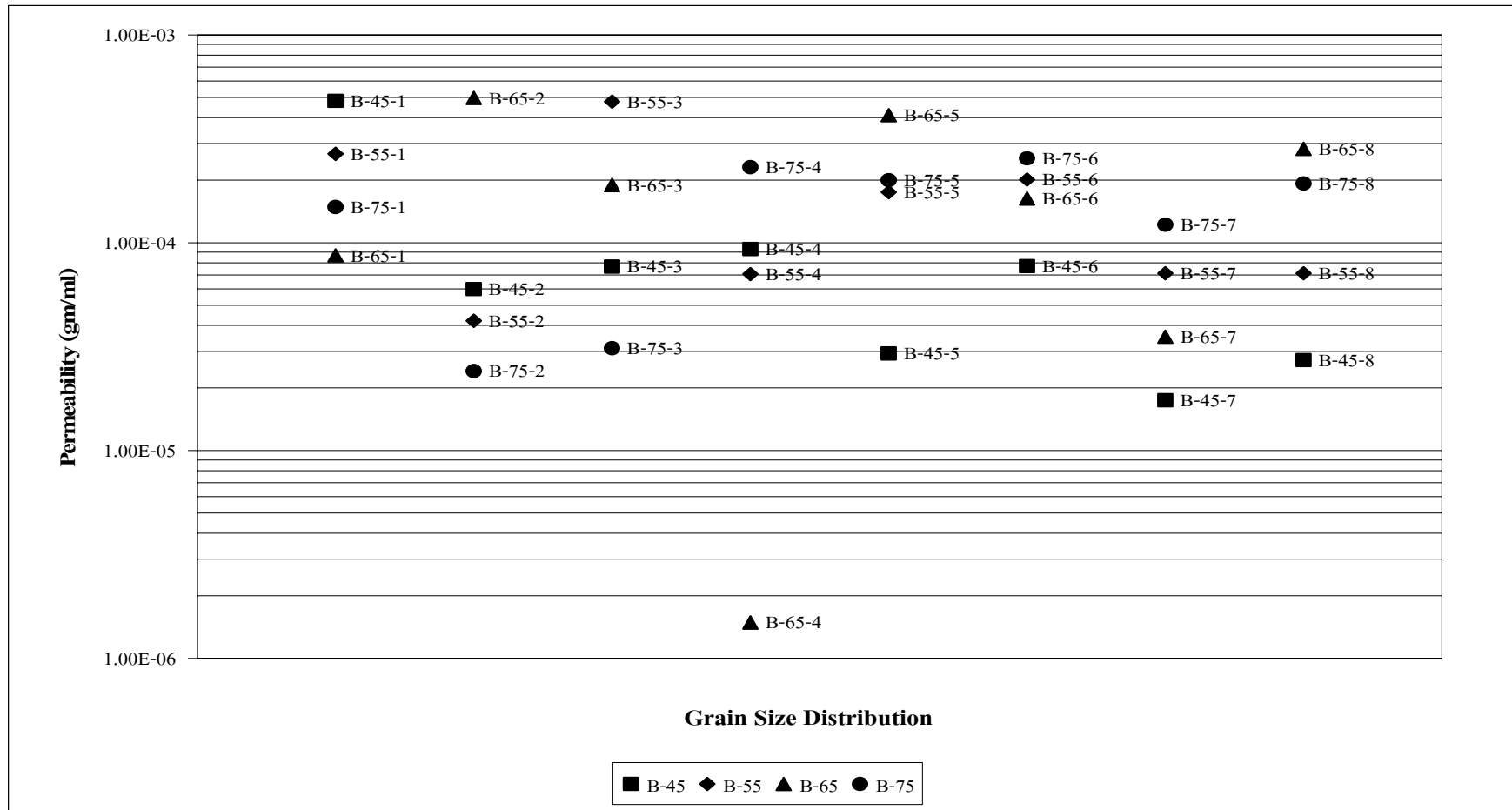
เมื่อพิจารณาผลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ที่มีต่อความแน่นแห้ง พบว่า มีแนวโน้มที่จะให้ผลการทดสอบ ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างดิน B-1, B-2, B-3 และกลุ่มตัวอย่างดิน B-4, B-5, B-6 ของกลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี มีแนวโน้มเมื่อปริมาณเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ที่ลดลง จะมีความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก และสระบุรี ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน

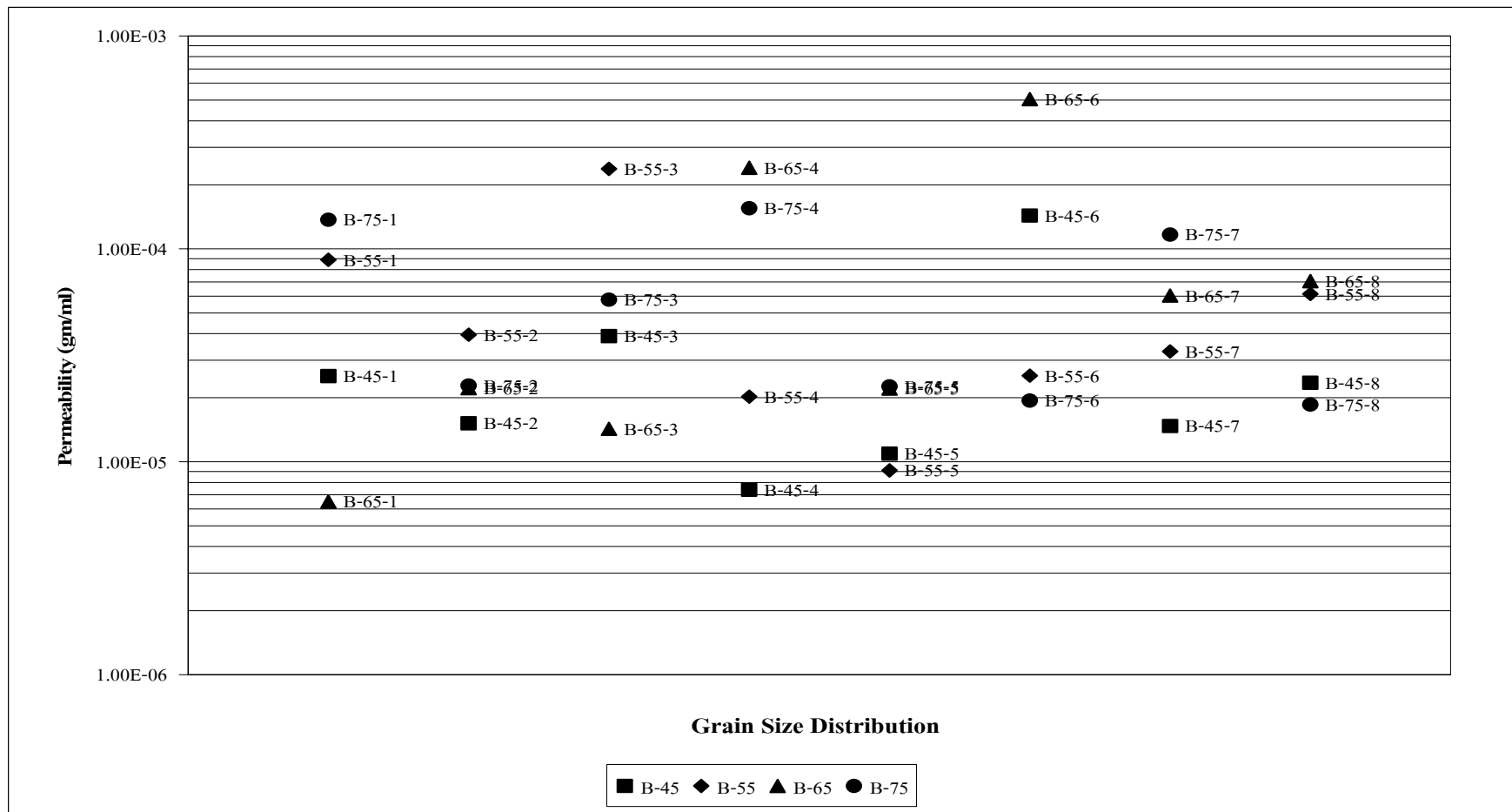
กลุ่มตัวอย่างดิน B-7 และ B-8 ของทุกกลุ่มตัวอย่างดิน จะมีค่าความหนาแน่นแห้งที่ใกล้เคียงกัน



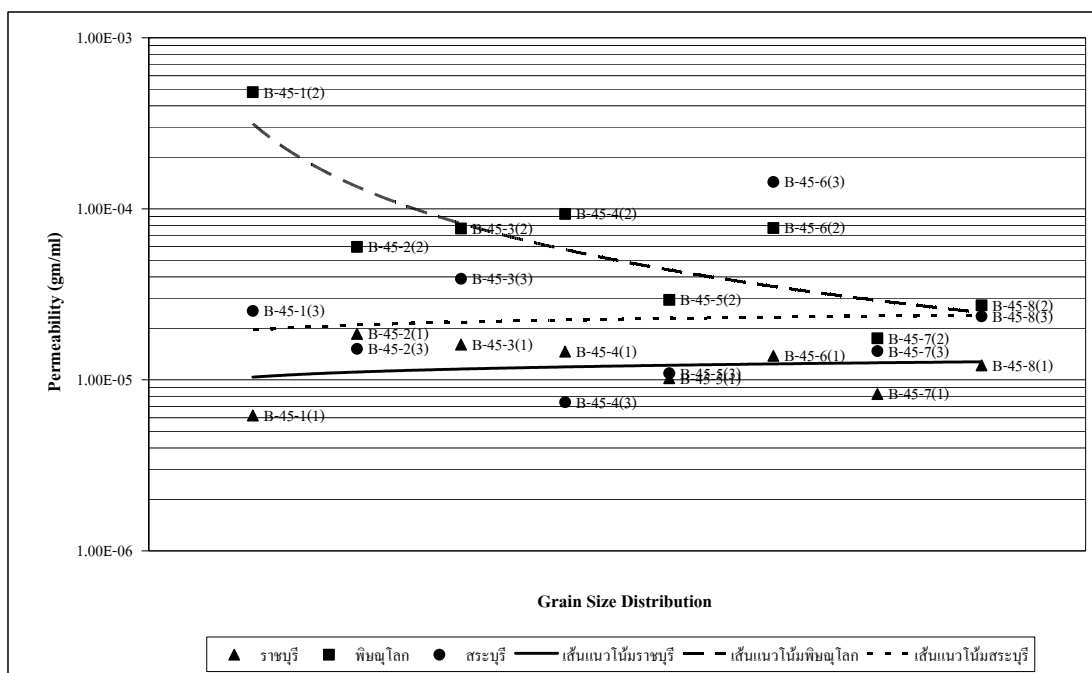
ภาพที่ 63 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของแหล่งราชบุรี



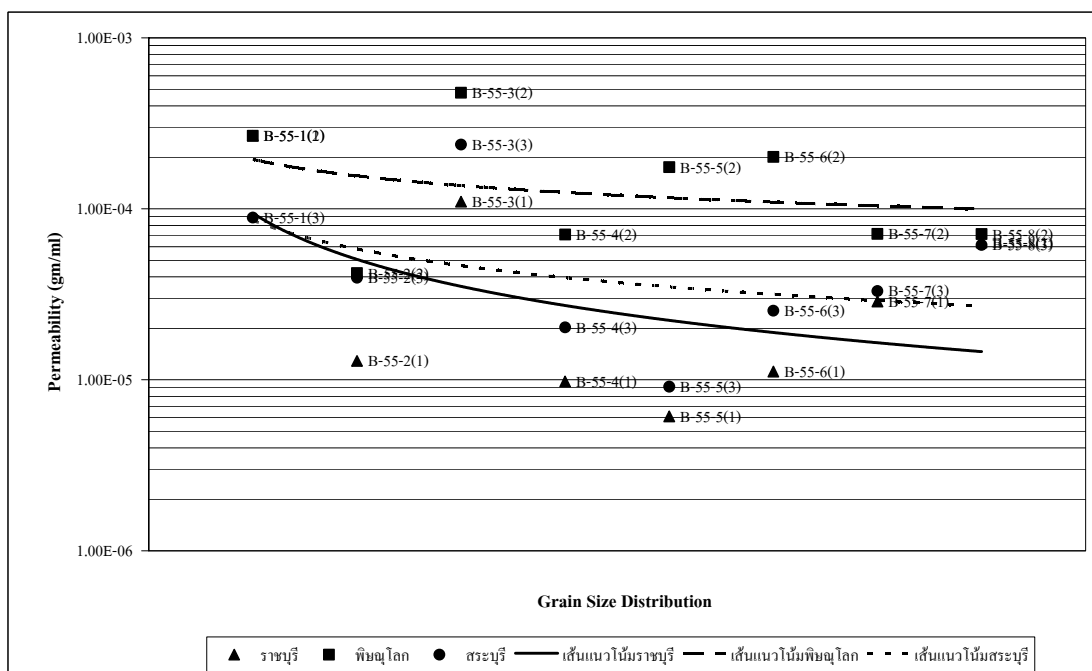
ภาพที่ 64 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของแหล่งพินธุโลก



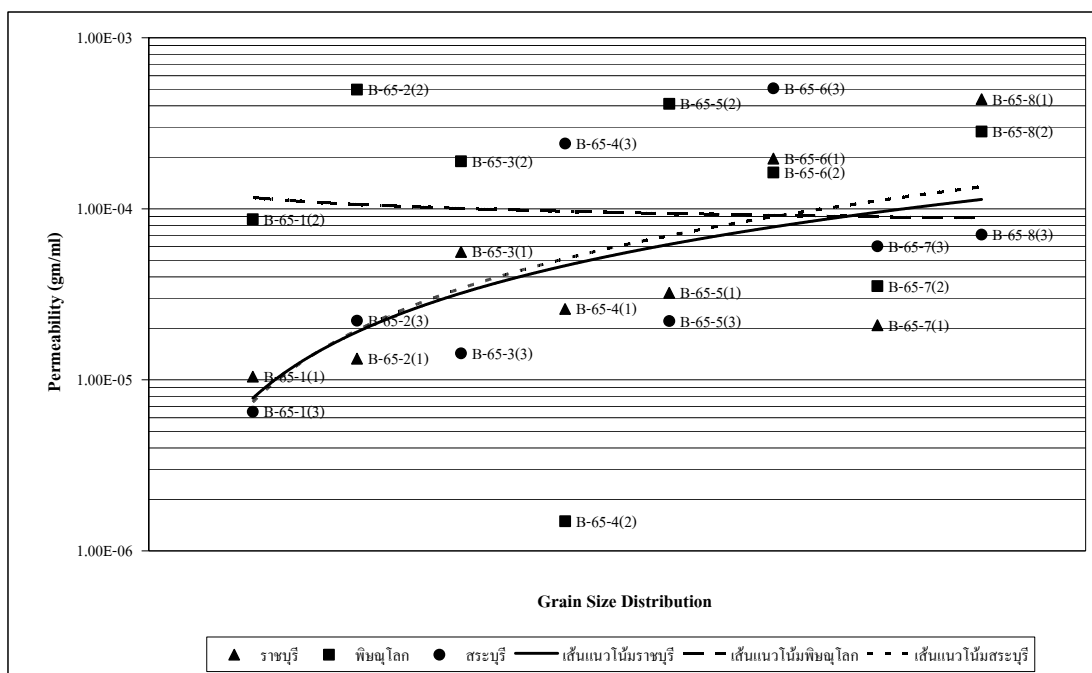
ภาพที่ 65 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของแหล่งสระบุรี



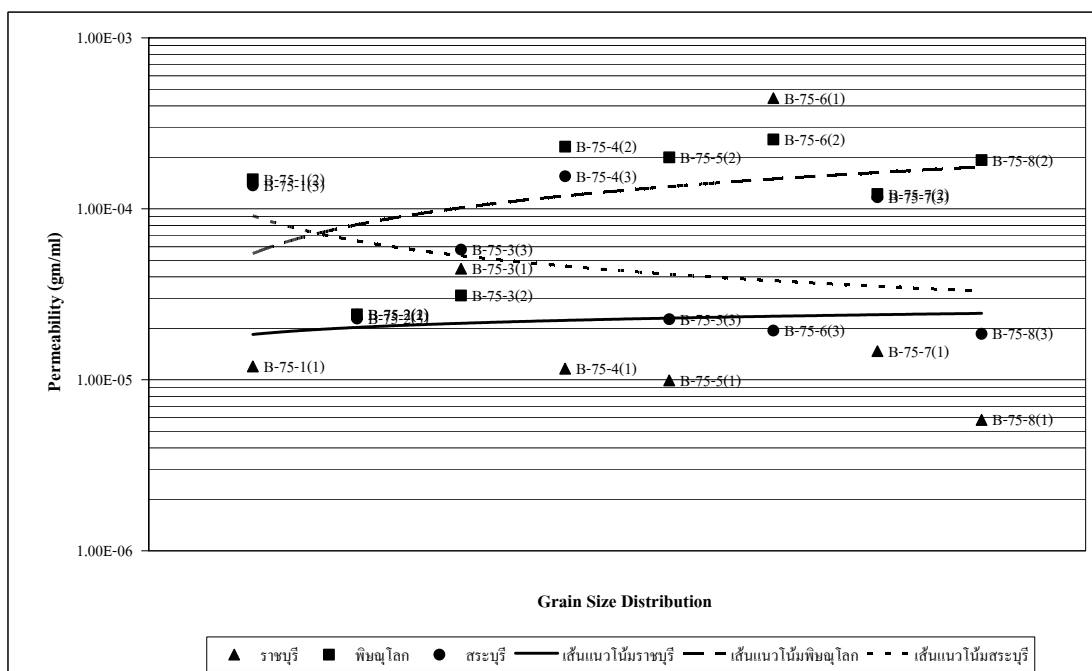
ภาพที่ 66 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ B-45



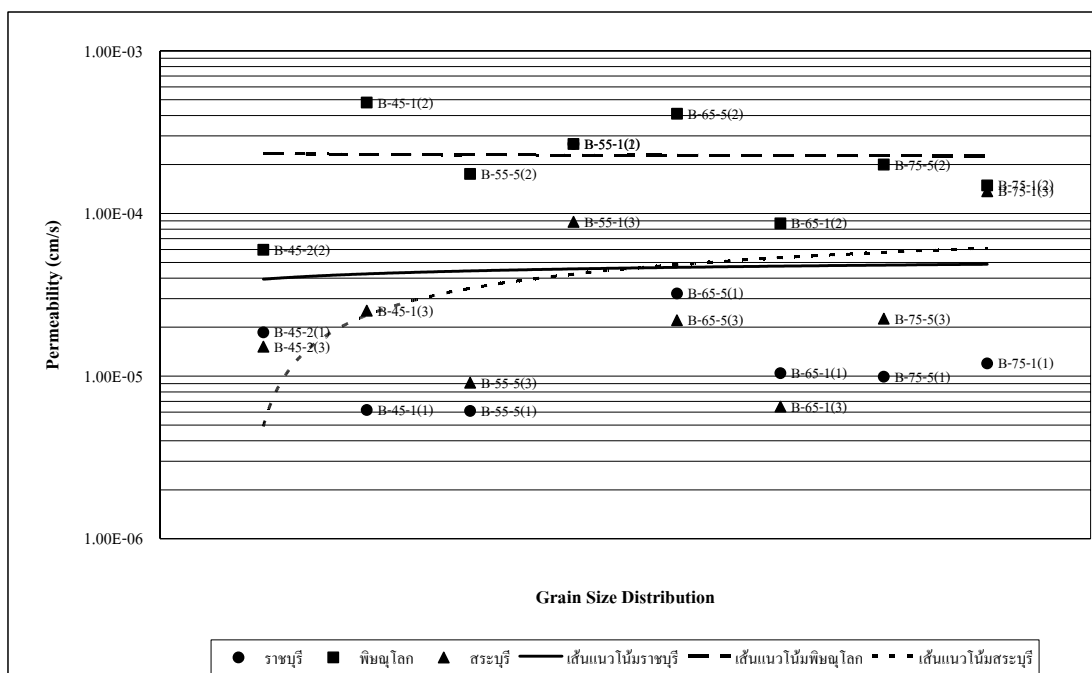
ภาพที่ 67 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ B-55



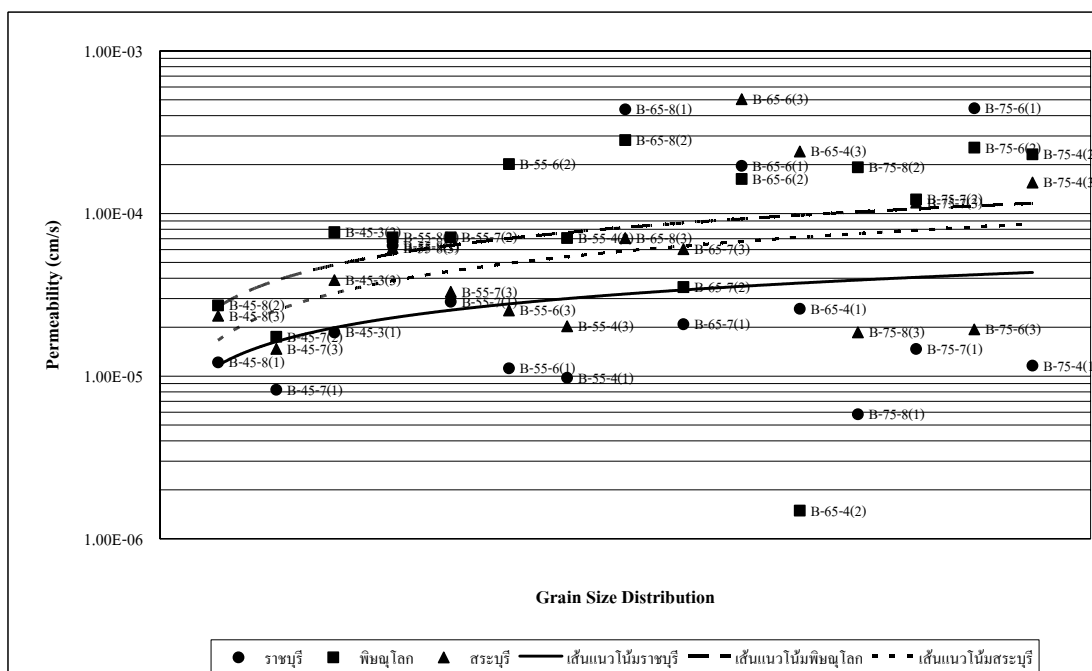
ภาพที่ 68 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ B-65



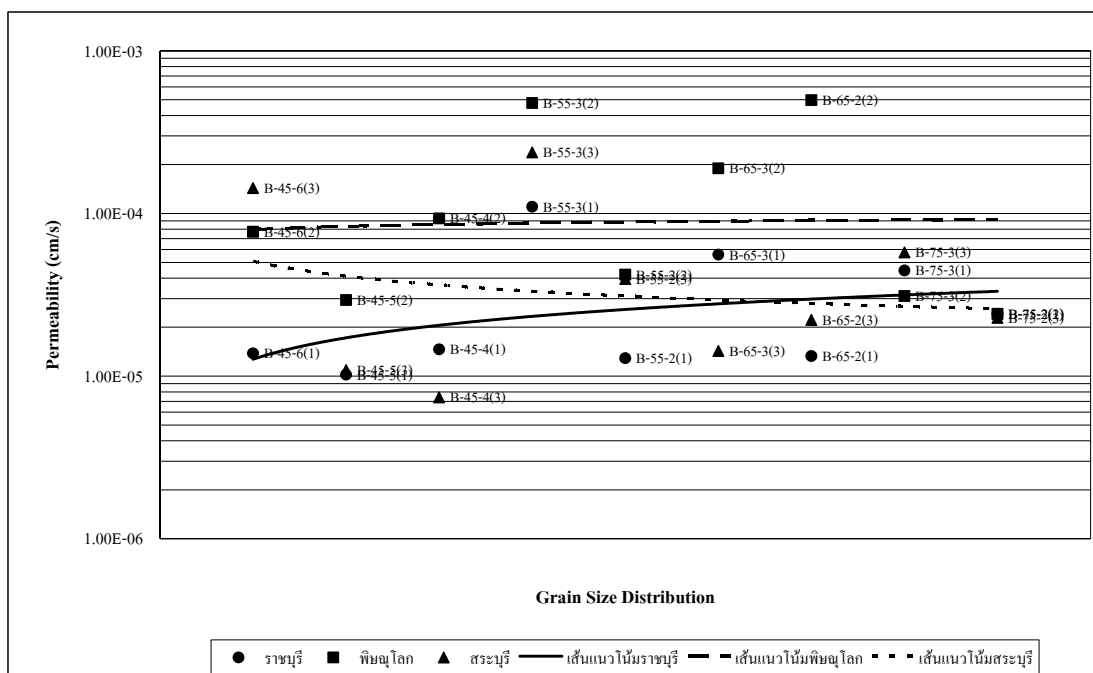
ภาพที่ 69 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ B-75



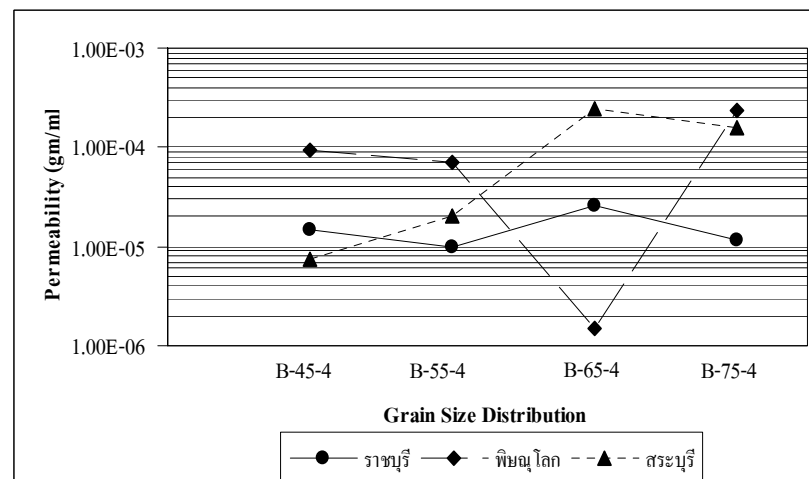
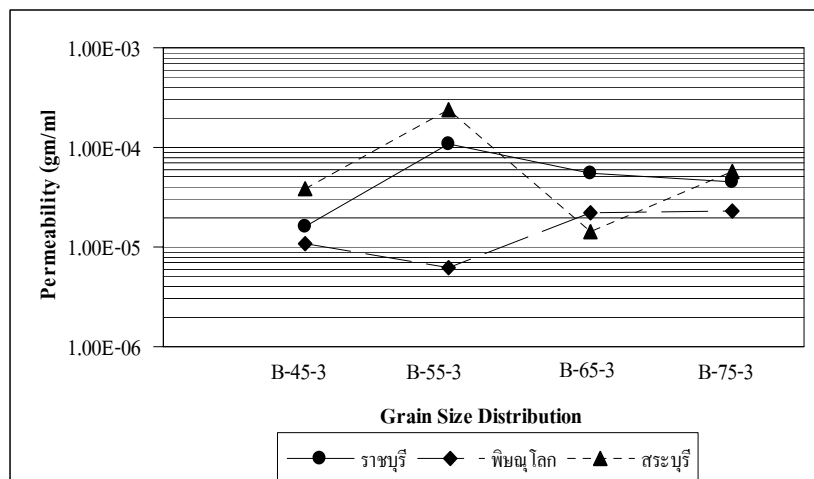
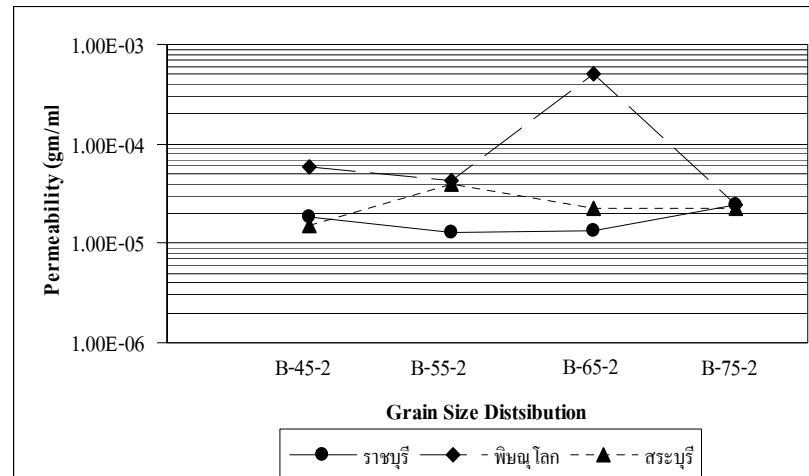
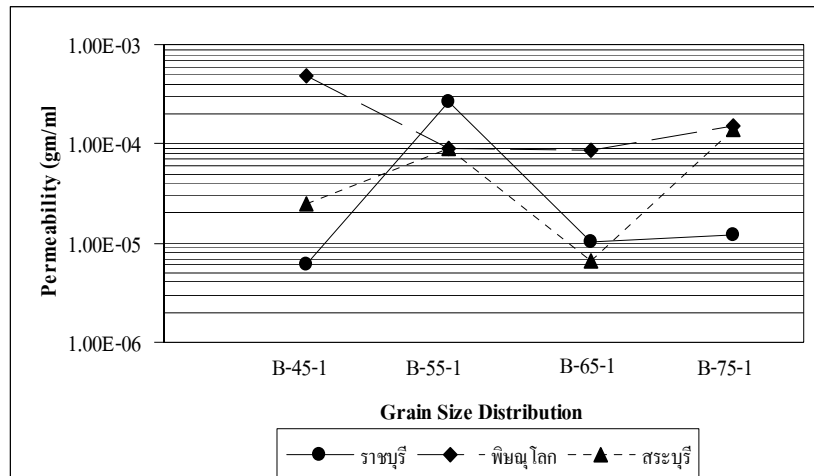
ภาพที่ 70 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ Poorly Graded



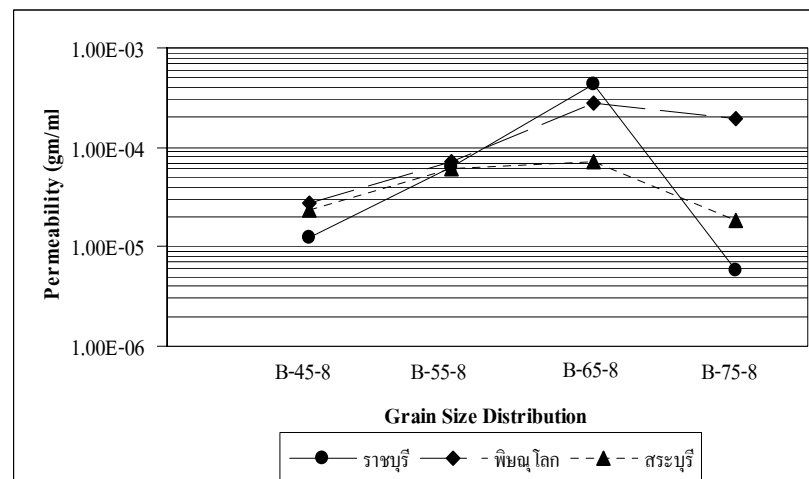
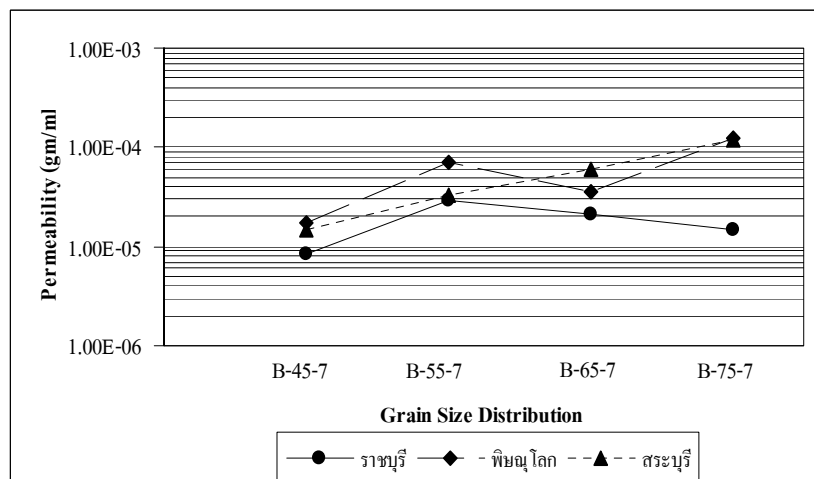
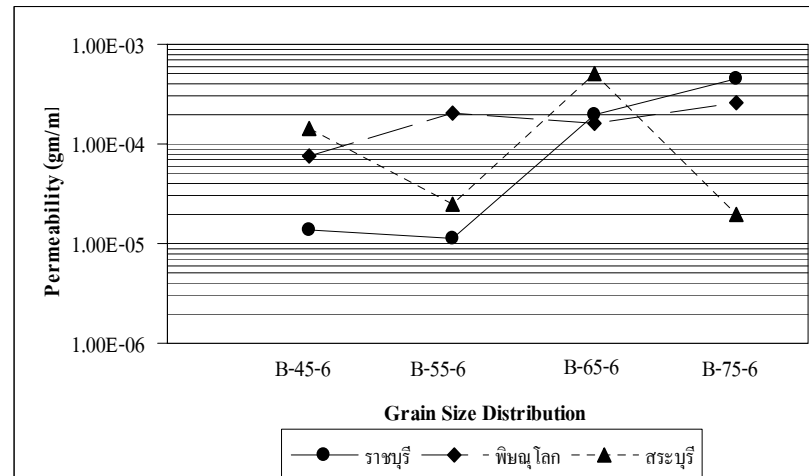
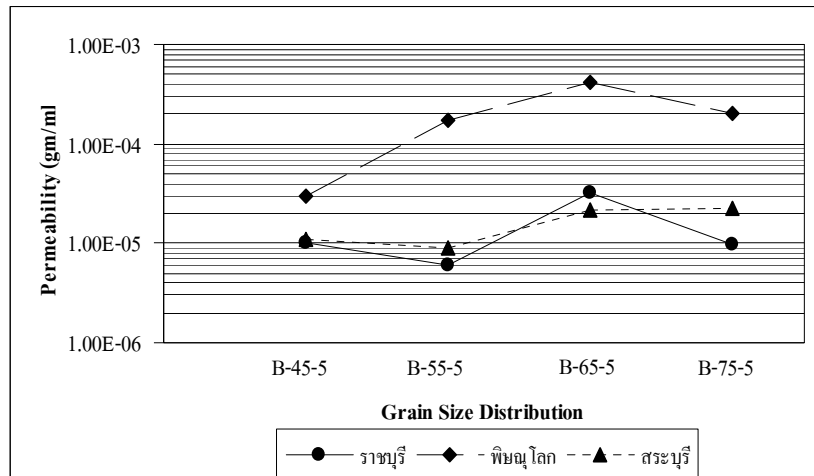
ภาพที่ 71 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ Gap Graded



ภาพที่ 72 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability กับ Grain Size Distribution ของ Well Graded



ภาพที่ 73 อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” ที่มีต่อ.ความซึมน้ำ



ภาพที่ 73 (ต่อ)

ผลการทดสอบความชื้นน้ำ

พิจารณาภาพที่ 63 – 65 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบต่างๆของตัวอย่างดิน กับความชื้นน้ำ ในตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก มีค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำอยู่ระหว่าง 4.97×10^{-4} – 1.49×10^{-6} cm/sec ตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี มีค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำอยู่ระหว่าง 5.05×10^{-4} – 6.50×10^{-6} cm/sec ส่วนตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี มีค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำอยู่ระหว่าง 4.44×10^{-4} – 5.03×10^{-6} cm/sec

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำสูงที่สุด

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี และราชบุรี มีค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำที่ใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี มีค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

ดินตัวอย่างจากแหล่งราชบุรีมีค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำต่ำที่สุด อาจเป็นผลมาจาก ตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี มีค่า PI เป็น Non-Plastic ทำให้เมื่อมีการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างดิน ทำให้เม็ดดินเกิดการหลุดร่อนออก และไหลไปอุดช่องว่าง เป็นผลทำให้น้ำไม่สามารถไหลผ่านได้ เกิดการทึบน้ำ

พิจารณาอิทธิพลของ Grain Size Distribution

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี พิษณุโลก และสระบุรี

พิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน จากภาพที่ 63-65 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างดิน B-45, B-55, B-65 และ B-75 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบที่เพิ่มขึ้น ไม่พบว่ามีแนวโน้มใด ๆ ต่อความชื้นน้ำ ความชื้นน้ำของตัวอย่างดินจากทุกแหล่งค่อนข้างจะจัดกระจาย

พิจารณาอิทธิพลของรูปร่างของกลุ่มตัวอย่างดิน

พิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน จากภาพที่ 66-69 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบที่เพิ่มขึ้น ไม่พบว่ามีแนวโน้มใด ๆ ต่อความชื้นน้ำ ความชื้นน้ำของตัวอย่างดินจากทุกแหล่งค่อนข้างจะจัดกระจาย

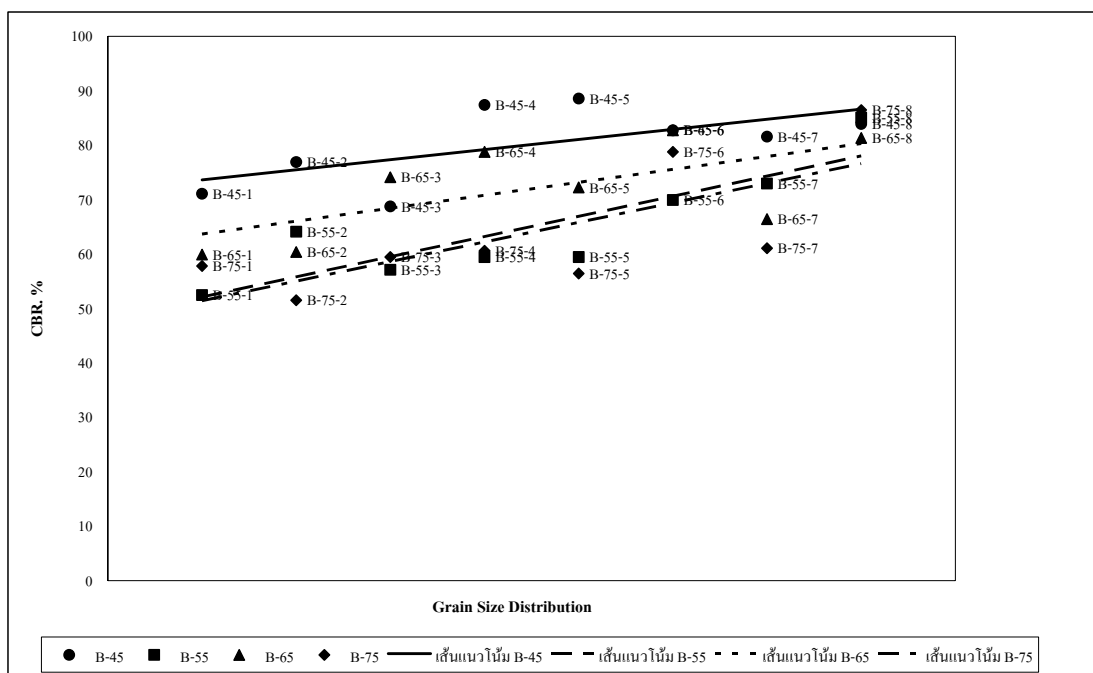
พิจารณาอิทธิพลของความหนาแน่นของเม็ดดิน

พิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน จากภาพที่ 66-69 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ ดังนี้

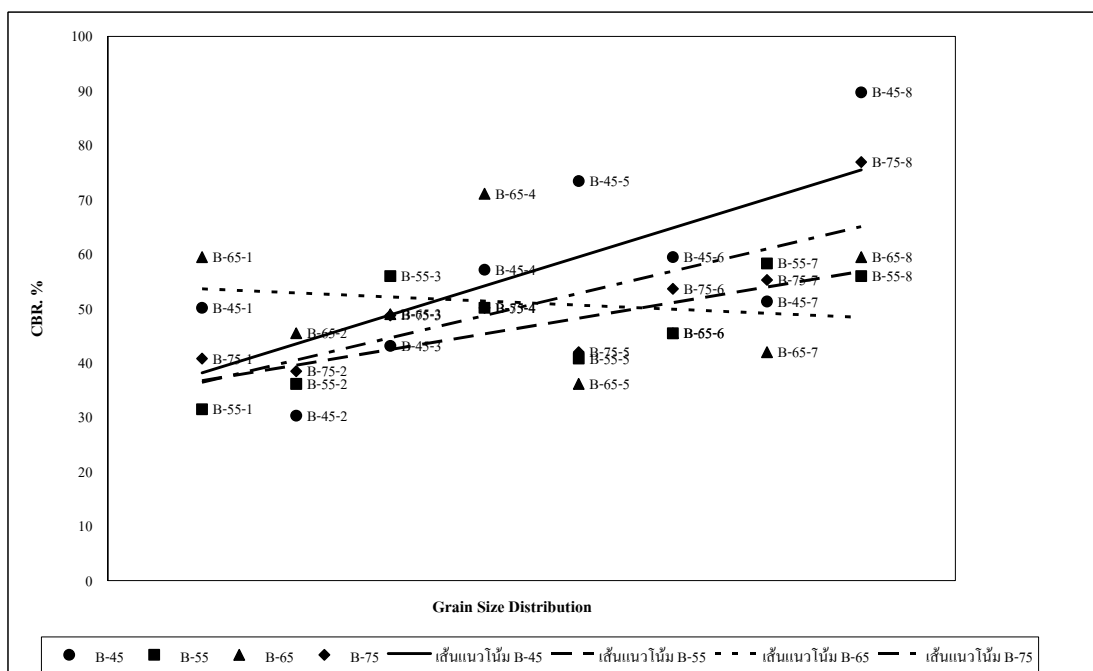
กลุ่มตัวอย่างดินทั้ง 3 ความหนาแน่น เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบที่เพิ่มขึ้น ไม่พบว่ามีแนวโน้มใด ๆ ต่อความชื้นน้ำ ความชื้นน้ำของตัวอย่างดินจากทุกแหล่งค่อนข้างจะจัดกระจาย

เปรียบเทียบอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8", 10 และ 40 ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำ

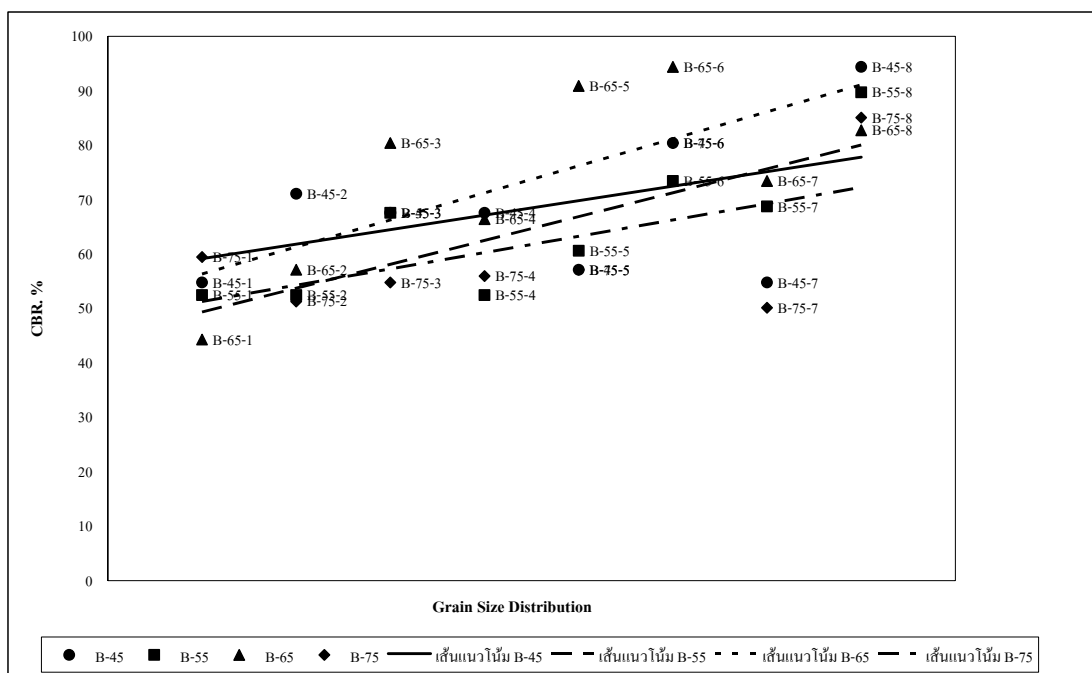
พิจารณาภาพที่ 73 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบต่างๆของตัวอย่างดินกับความชื้นน้ำ เมื่อพิจารณาผลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8" 10 และ 40 กับค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำ พบว่า ไม่มีแนวโน้มที่เห็นได้ชัดเจนว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำ จากผลการทดสอบมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8" 10 และ 40 ที่เห็นได้ชัดเจนเด่นชัดอย่างไรไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้



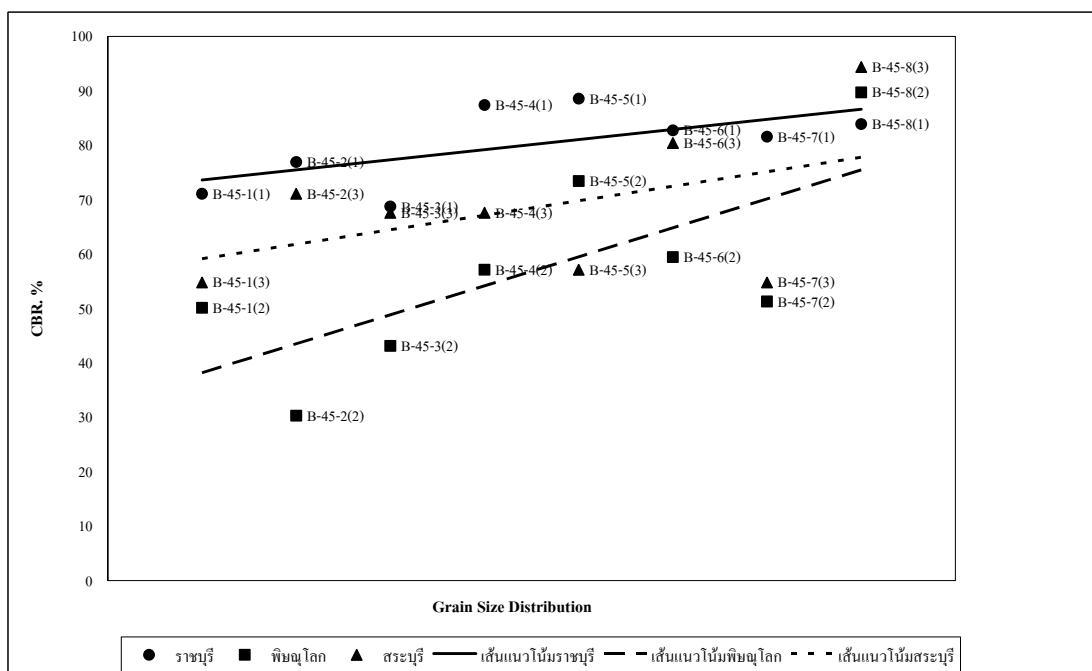
ภาพที่ 74 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของแหล่งราชบุรี



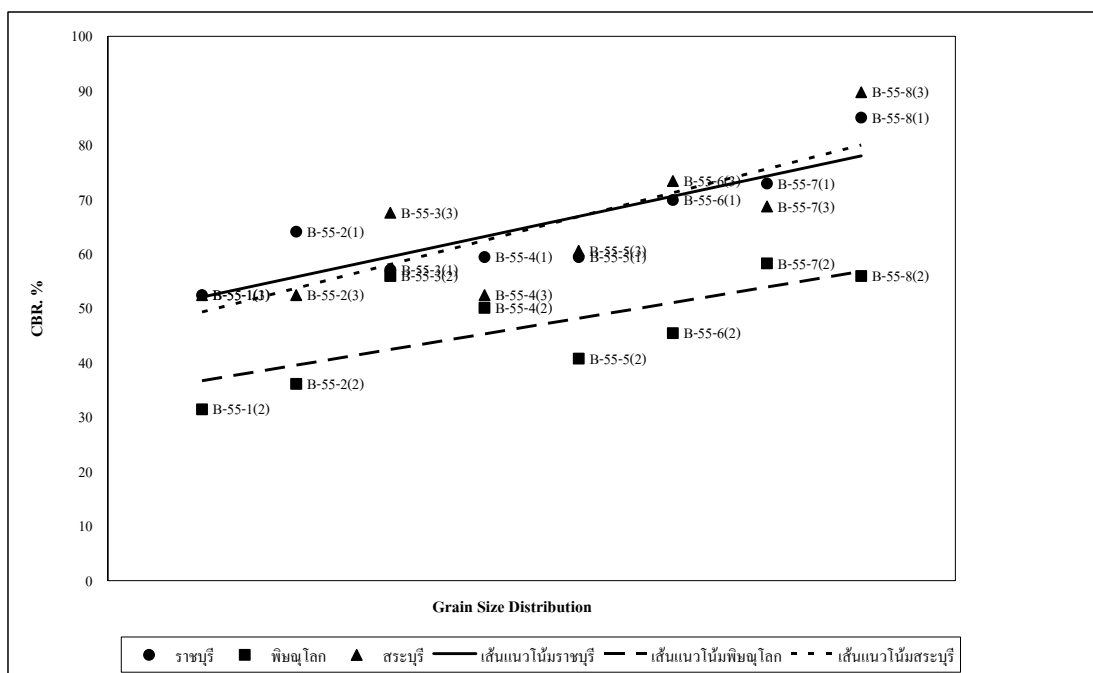
ภาพที่ 75 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของแหล่งพิษณุโลก



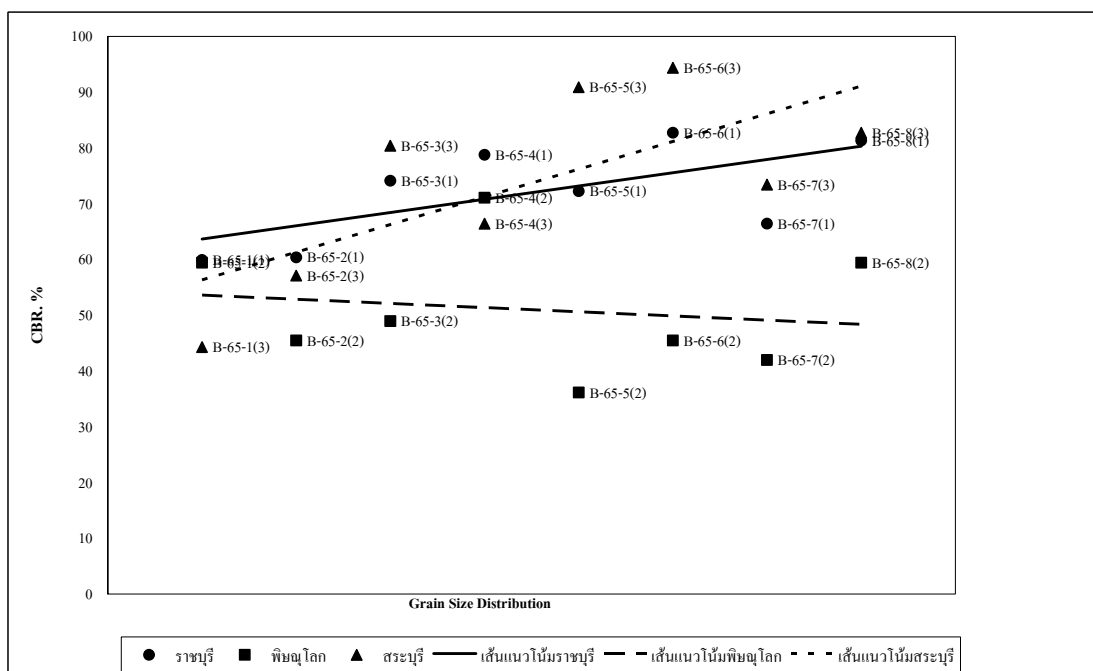
ภาพที่ 76 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของแหล่งสระบุรี



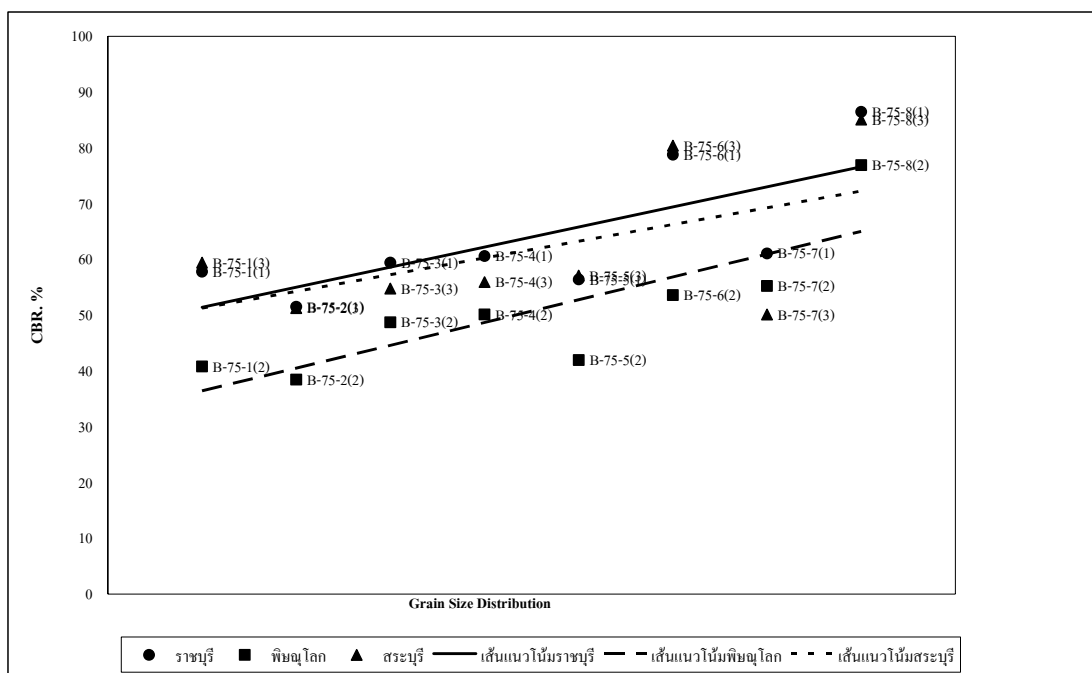
ภาพที่ 77 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ B-45



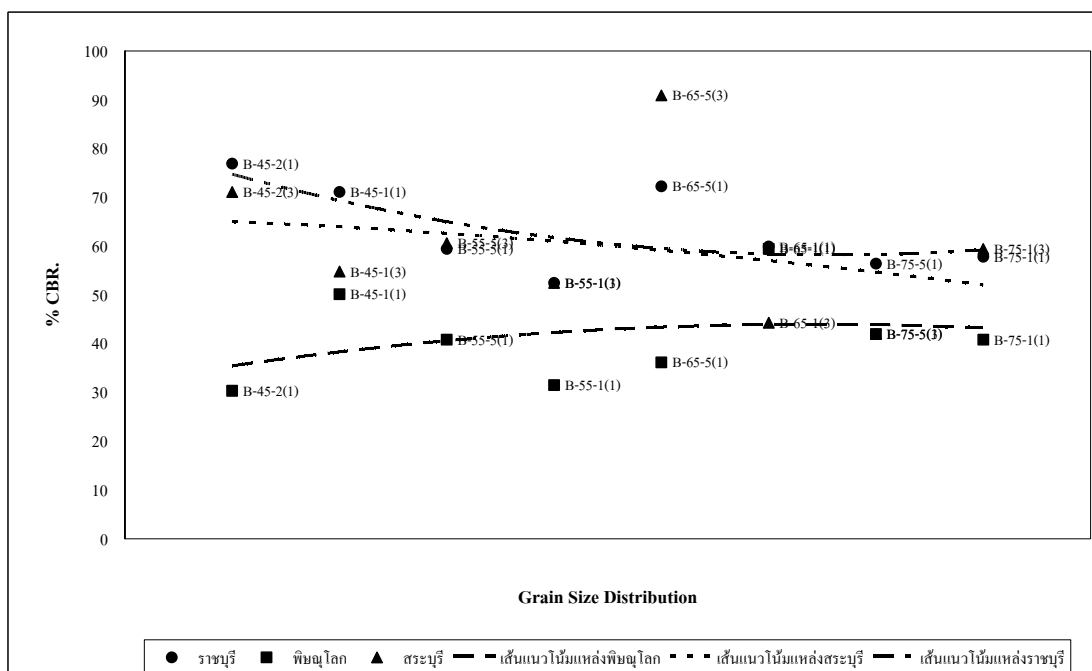
ภาพที่ 78 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ B-55



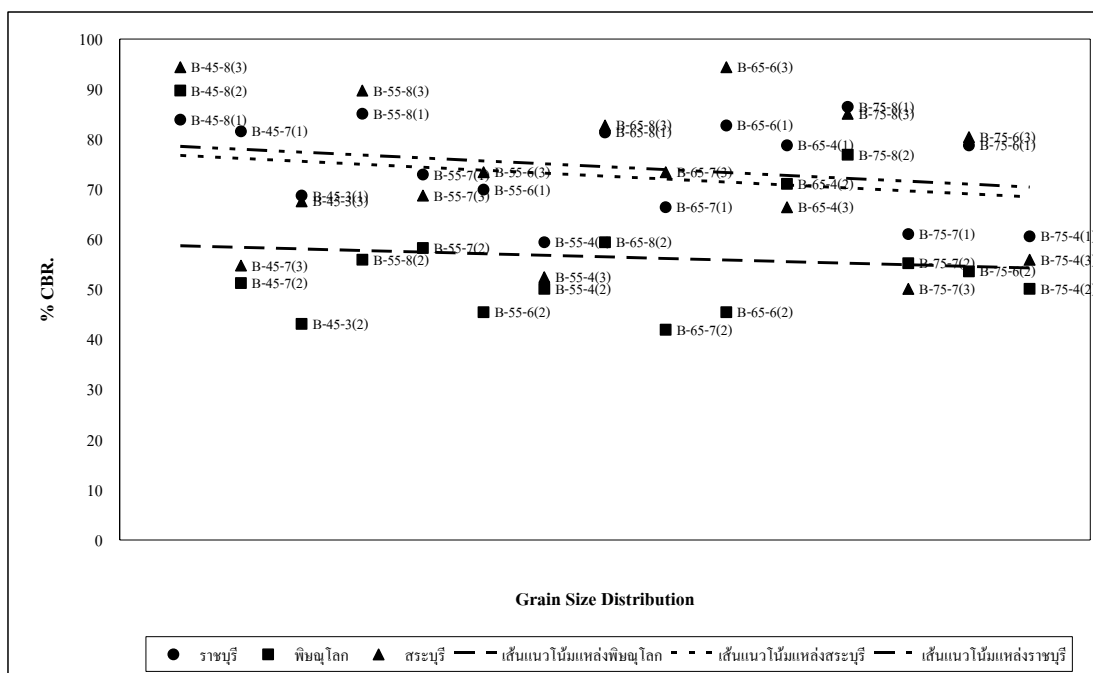
ภาพที่ 79 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ B-65



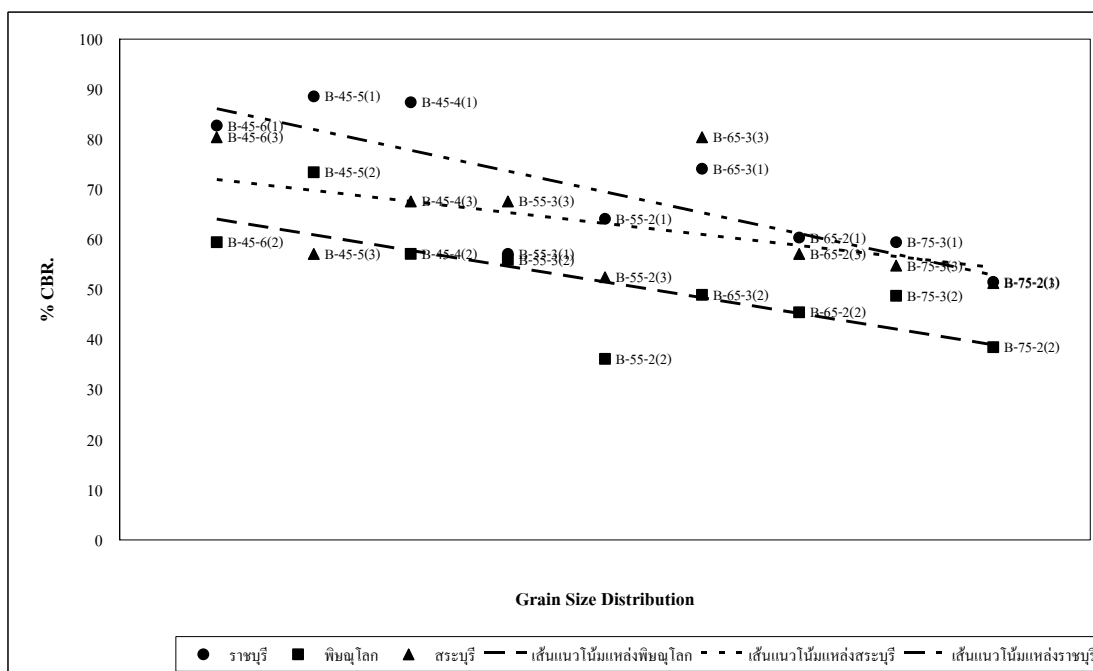
ภาพที่ 80 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ B-75



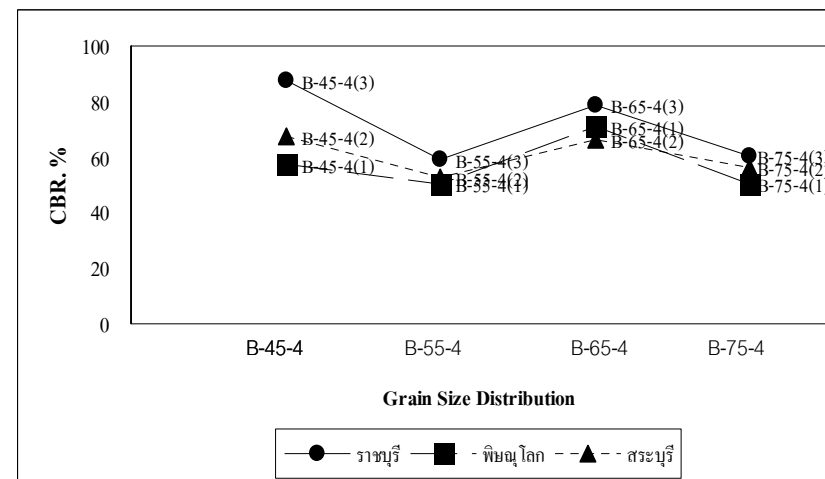
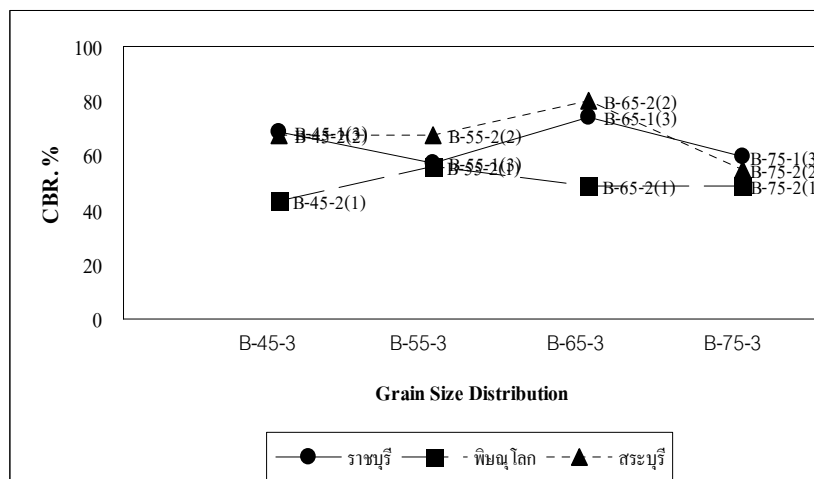
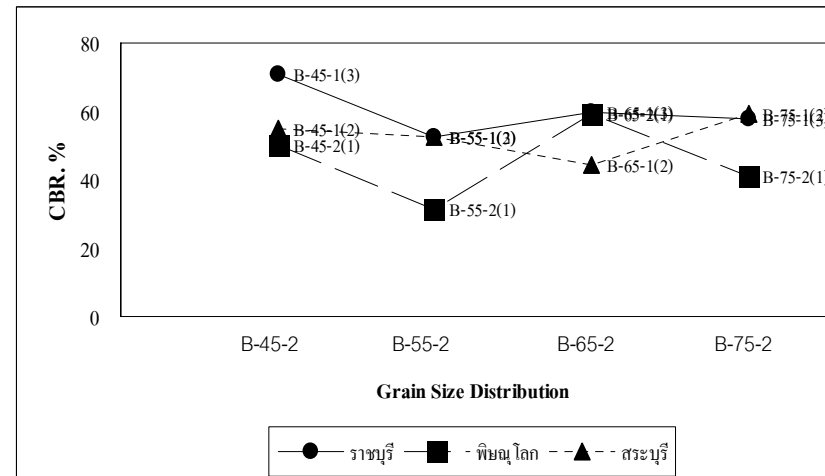
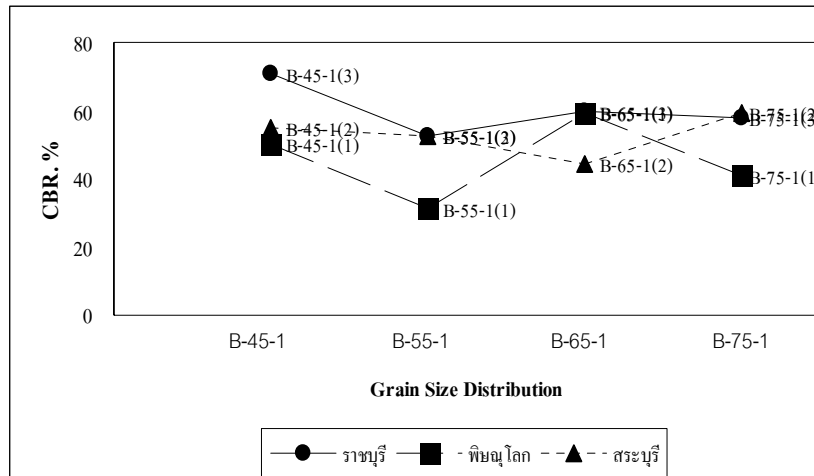
ภาพที่ 81 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ Poorly Graded



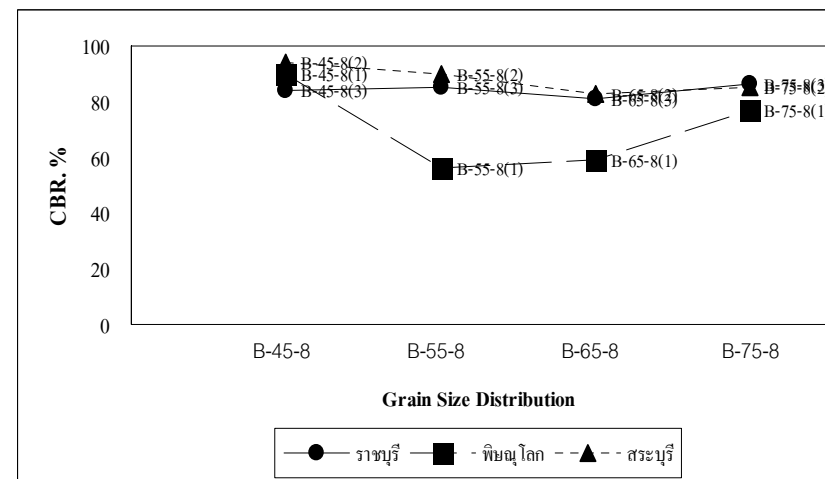
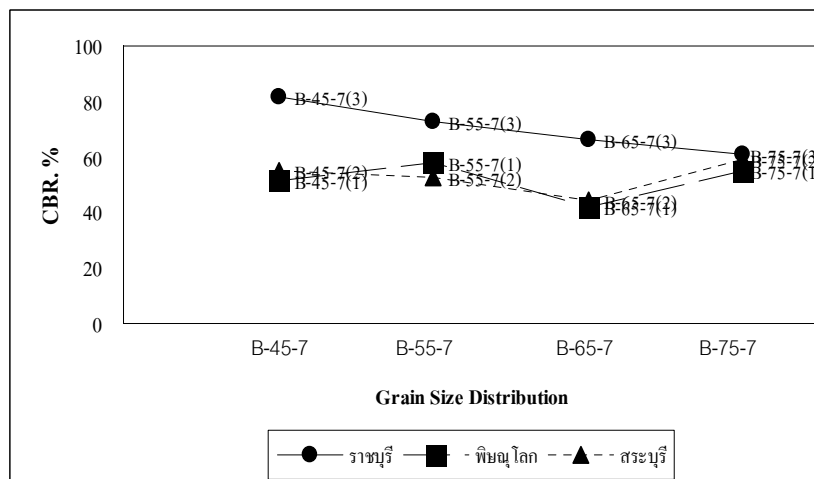
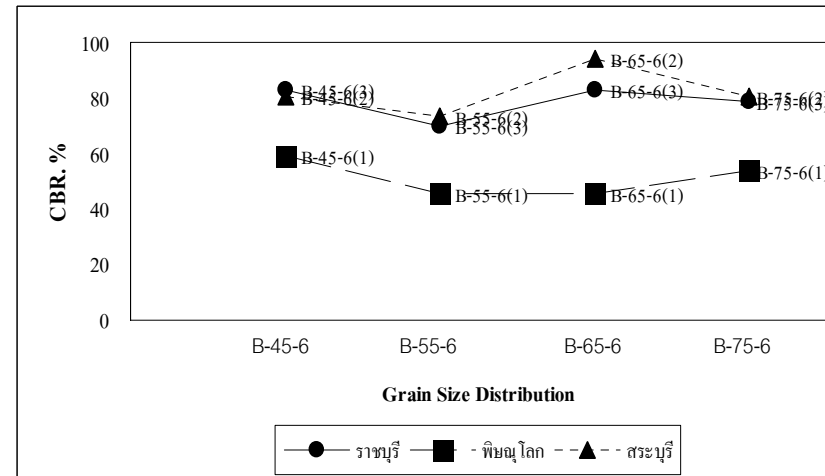
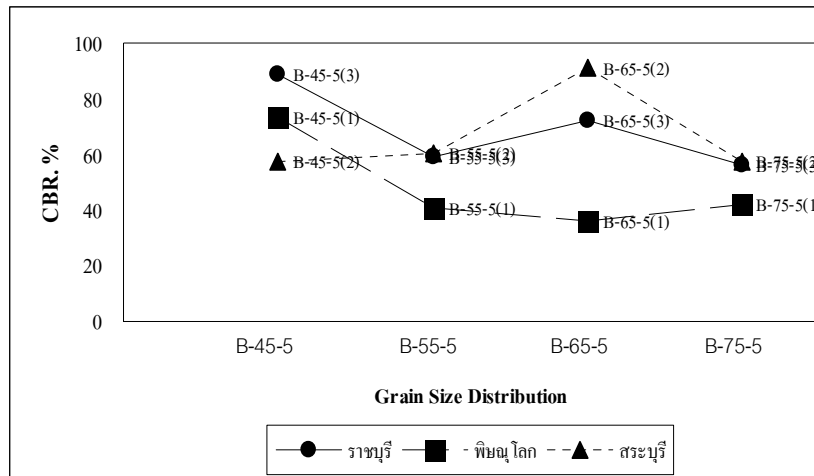
ภาพที่ 82 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ Gap Graded



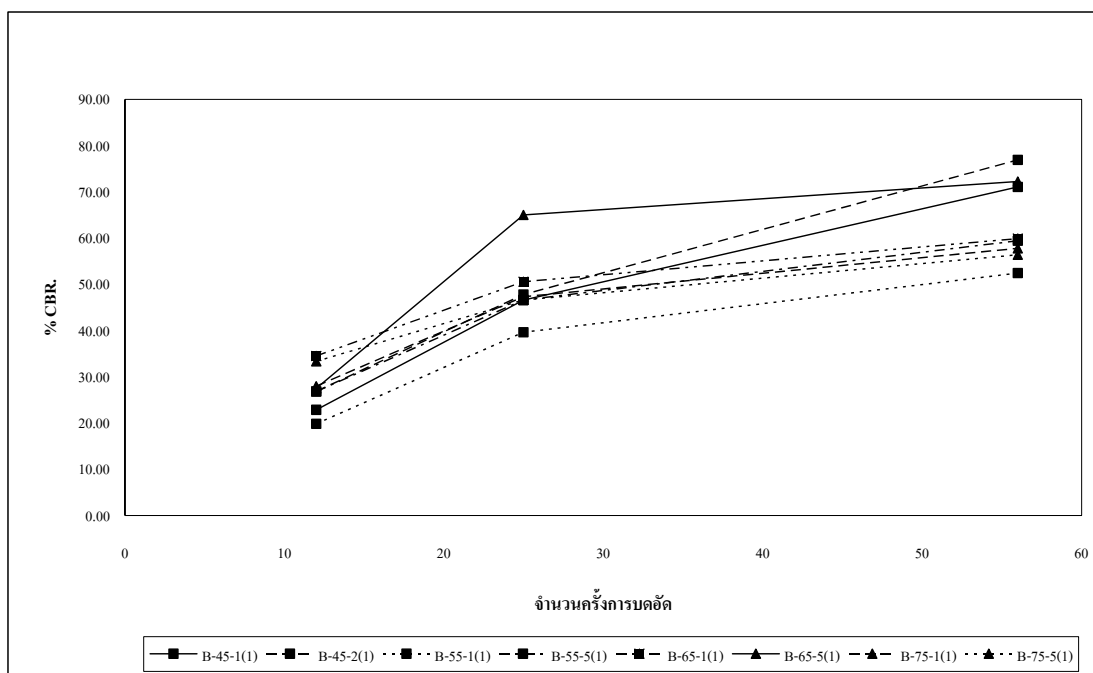
ภาพที่ 83 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ Grain Size Distribution ของ Well Graded



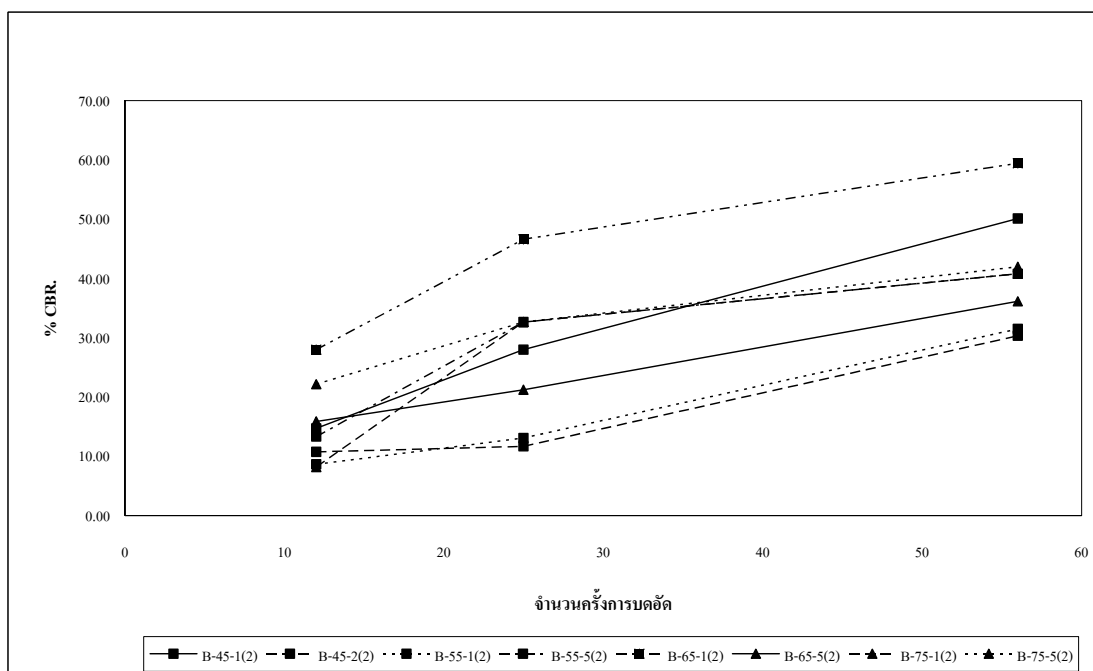
ภาพที่ 84 อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” ที่มีต่อ CBR



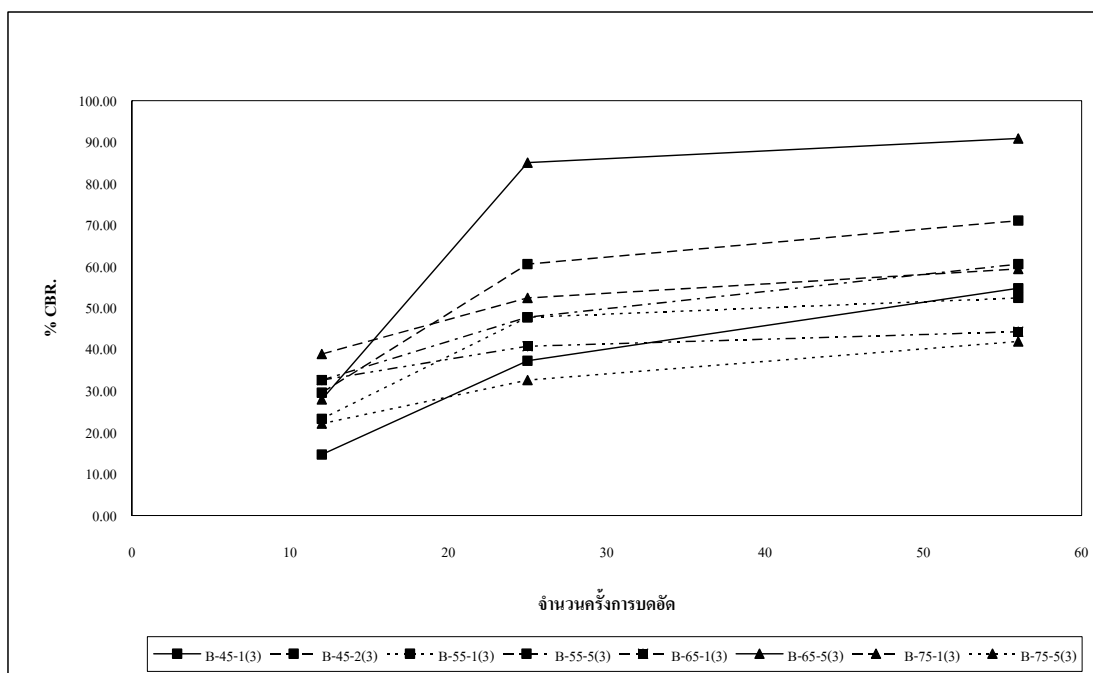
ภาพที่ 84 (ต่อ)



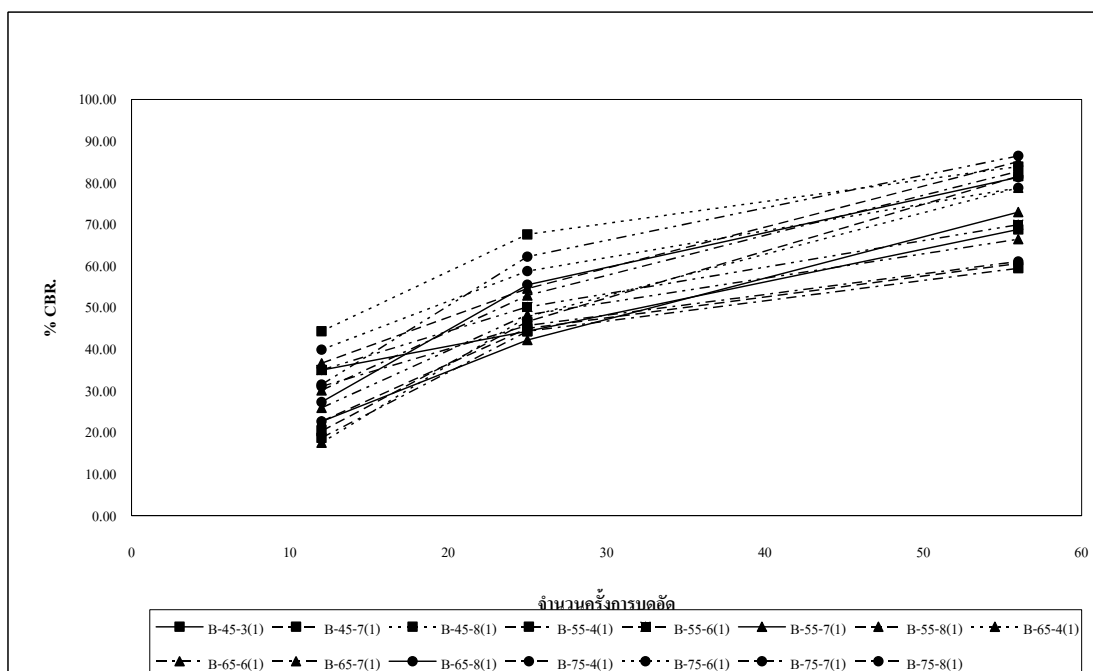
ภาพที่ 85 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Poorly Graded แหล่งราชบุรี



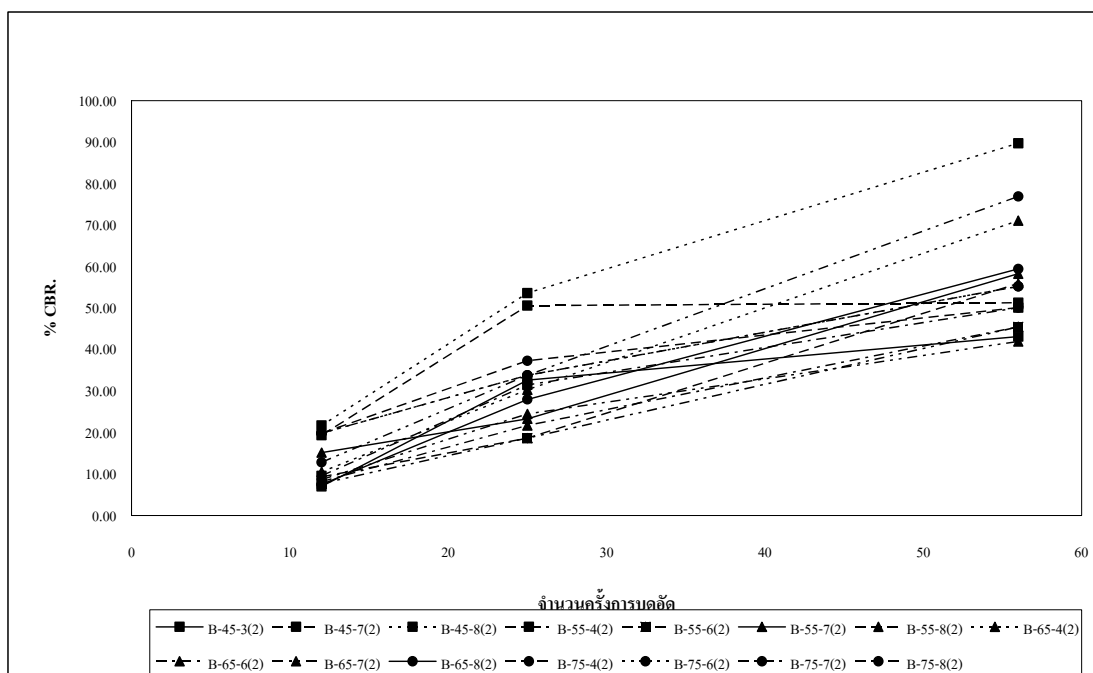
ภาพที่ 86 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัดของ Poorly Graded แหล่งพิบูลโลก



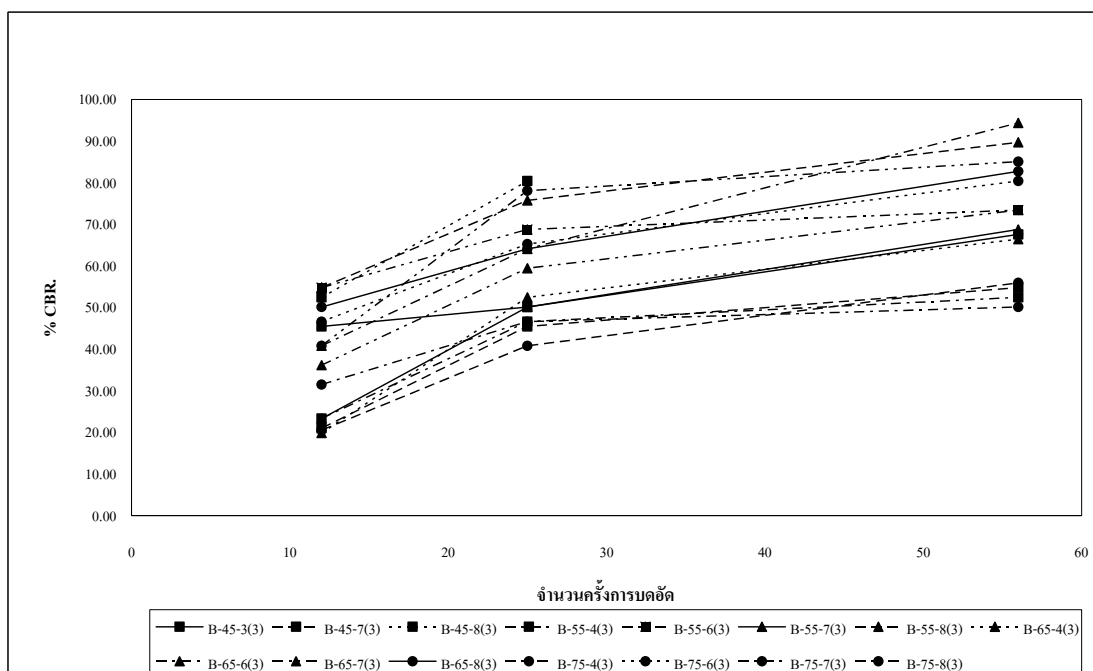
ภาพที่ 87 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Poorly Graded แหล่งสระบุรี



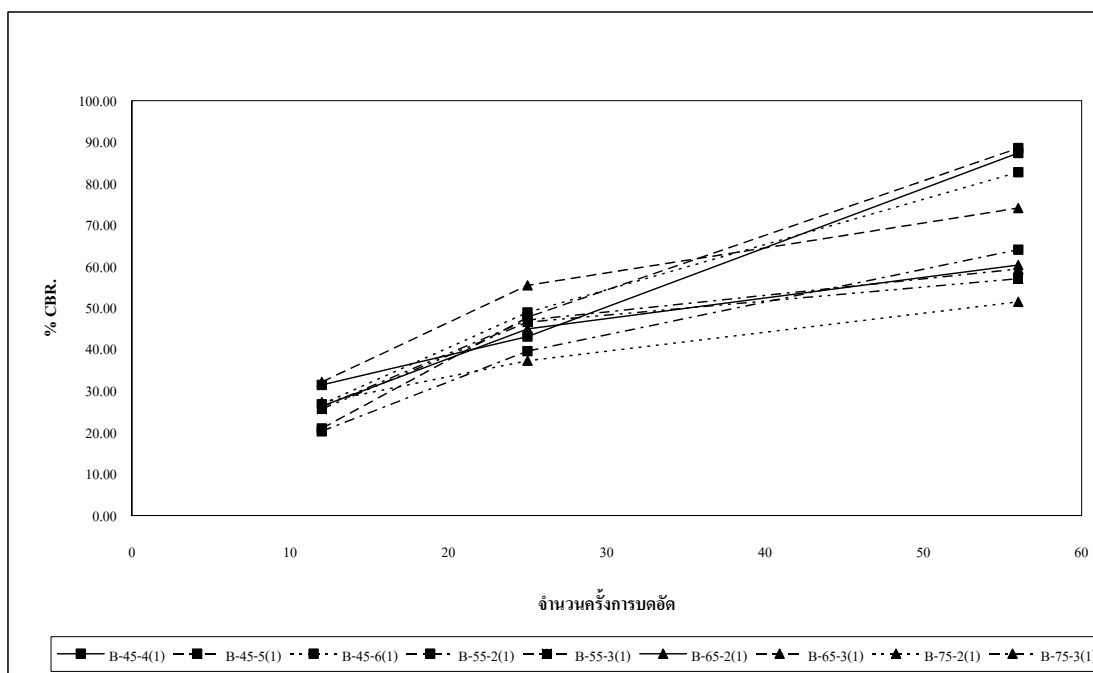
ภาพที่ 88 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Gap Graded แหล่งราชบุรี



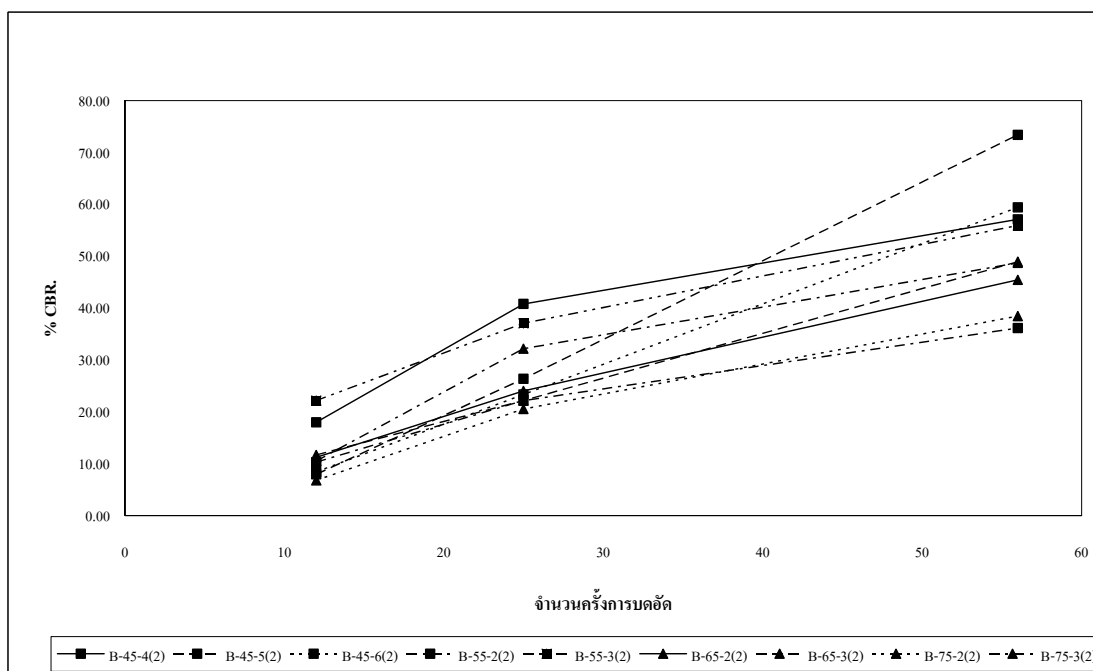
ภาพที่ 89 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Gap Graded แหล่งพิษณุโลก



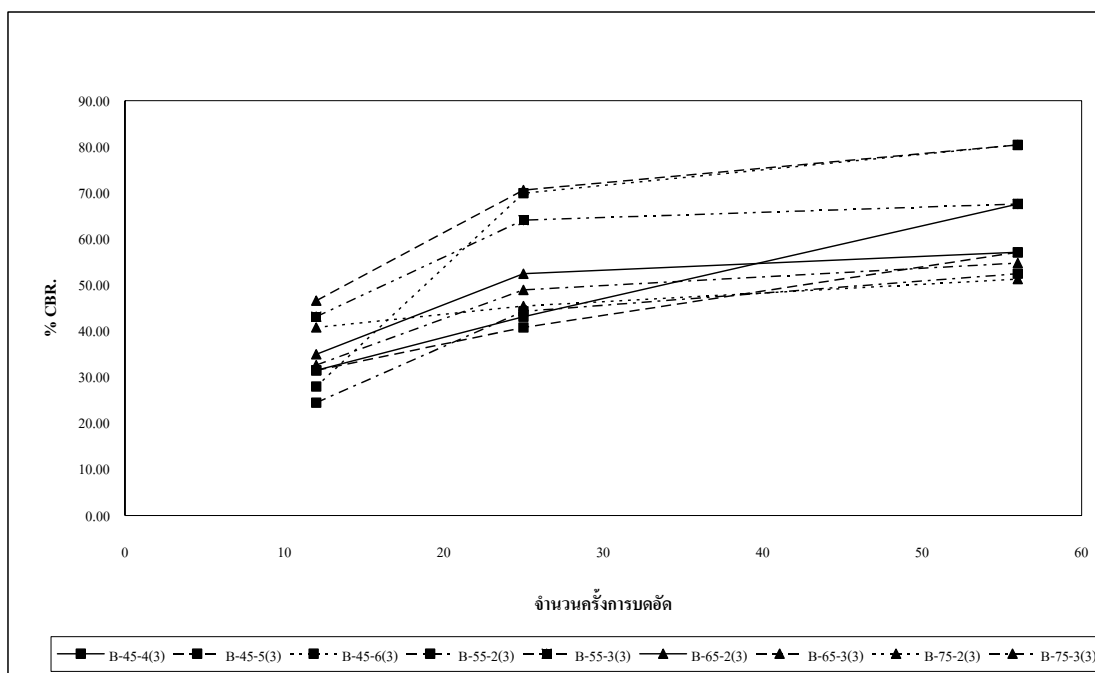
ภาพที่ 90 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Gap Graded แหล่งสระบุรี



ภาพที่ 91 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Well Graded แหล่งราชบุรี



ภาพที่ 92 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Well Graded แหล่งพิบูลย์โลก



ภาพที่ 93 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ จำนวนครั้งการบดอัด ของ Well Graded แหล่งสระบุรี

ผลการทดสอบ CBR

ในตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี มีค่าCBR อยู่ระหว่าง 51.51-88.55 % ตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลกมีค่าCBR อยู่ระหว่าง 30.32-89.71 % ส่วนตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี มีค่าCBR อยู่ระหว่าง 44.29-94.37 %

พิจารณาอิทธิพลของ Grain Size Distribution

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี

จากภาพที่ 74 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างดิน B-45, B-55, B-65 และ B-75 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Graded จากภาพที่ 81 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า CBR มีค่าลดลง

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Gap Graded จากภาพที่ 82 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มที่ค่า CBR มีค่าลดลงเล็กน้อย

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well Graded จากภาพที่ 83 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มที่ค่า CBR มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก

จากภาพที่ 78 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างดิน B-45, B-65 และ B-75 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น กลุ่มตัวอย่างดิน B-55 มีแนวโน้มที่ CBR มีค่าลดลง

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Graded จากภาพที่ 81 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Gap Graded จากภาพที่ 82 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าลดลงเล็กน้อย

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well Graded จากภาพที่ 83 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าลดลง

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี

จากภาพที่ 76 พบว่า มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างดิน B-45, B-55, B-65 และ B-75 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Graded จากภาพที่ 81 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า CBR มีค่าลดลง

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Gap Graded จากภาพที่ 82 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าลดลง

พิจารณาการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well Graded จากภาพที่ 83 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน มีปริมาณของส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าลดลง

พิจารณาอิทธิพลของรูปร่างของกลุ่มตัวอย่างดิน

จากภาพที่ 77 กลุ่มตัวอย่างดิน B-45 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น

จากภาพที่ 78 กลุ่มตัวอย่างดิน B-55 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วน
หยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น

จากภาพที่ 79 กลุ่มตัวอย่างดิน B-65 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วน
หยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีรูปกลมมน และเหลี่ยมคม มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น
ตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมมน มีแนวโน้มที่ CBR ลดลง

จากภาพที่ 80 กลุ่มตัวอย่างดิน B-75 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วน
หยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น

จากภาพที่ 81-83 กลุ่มตัวอย่างดิน Poorly, Gap และ Well Graded การกระจายตัวของ
ขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินทั้ง 3 รูปร่าง มีแนวโน้มทำให้ CBR มี
ค่าลดลง

พิจารณาอิทธิพลของความทนทานของเม็ดดิน

จากภาพที่ 77 กลุ่มตัวอย่างดิน B-45 เมื่อการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วน
หยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินทั้ง 3 ความทนทาน มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น

จากภาพที่ 78 กลุ่มตัวอย่างดิน B-55 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วน
หยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินทั้ง 3 ความทนทาน มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น

จากภาพที่ 79 กลุ่มตัวอย่างดิน B-65 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วน
หยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่มีความทนทานสูงและต่ำ มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น ตัวอย่าง
ดินที่มีความทนทานปานกลาง มีแนวโน้มที่ CBR ลดลง

จากภาพที่ 80 กลุ่มตัวอย่างดิน B-75 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วน
หยาบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินทั้ง 3 ความทนทาน มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าสูงขึ้น

จากภาพที่ 81-83 กลุ่มตัวอย่างดิน Poorly, Gap และ Well Graded การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มทำให้ CBR มีค่าลดลง

เปรียบเทียบอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” ที่มีต่อค่า CBR

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี และพิษณุโลก

พิจารณาภาพที่ 84 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบต่างๆของตัวอย่างดินกับ CBR พบว่า กลุ่มตัวอย่างดิน B-1, B-2, B-3 และ B-4 ค่า CBR สูงสุดจะมีอัตราส่วนของเปอร์เซ็นต์ ค้างตะแกรงเบอร์ 3/8” และ 10 โดยจะมี ค้างตะแกรงเบอร์ 3/8” จะมากกว่า ค้างตะแกรงเบอร์ 10 อยู่ไม่มาก จะเห็นว่า กลุ่มดินตัวอย่าง B-45 มีเปอร์เซ็นต์ค้ำตะแกรงต่างกันมาก จึงไม่ให้ค่า CBR ที่สูงมากนัก

กลุ่มตัวอย่างดิน B-4, B-5, B-6, B-7 และ B-8 ค่า CBR ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างดินจะไม่แตกต่างกันมากนัก ค่า CBR ก่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน ไม่พบว่า เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” มีอิทธิพลที่ชัดเจนอย่างไร

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี

พบว่า ทุกกลุ่มตัวอย่างดิน มีค่า CBR ใกล้เคียงกัน ไม่พบว่า เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8” มีอิทธิพลแต่อย่างใด

เปรียบเทียบอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10, 40 ที่มีต่อค่า CBR

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งราชบุรี,พิษณุโลก และสระบุรี

พบว่า ในทุกกลุ่มตัวอย่างดินที่มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ที่ต่างกัน แต่ล้วนผ่านตะแกรงเบอร์อื่น ๆ มีเปอร์เซ็นต์ผ่านที่เท่ากัน จะเห็นว่า ที่มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 น้อยกว่า จะมีแนวโน้ม ค่า CBR ที่สูงกว่า

อัตราส่วนของเปอร์เซ็นต์ค่าแรงเบอร์ 10 ที่มากกว่าเปอร์เซ็นต์ค่าแรงเบอร์ 40 ในอัตราส่วนที่มาก ซึ่งหมายความว่ายังมีเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันของเปอร์เซ็นต์ค่าเบอร์ 10 และ 40 สูง จะให้เปอร์เซ็นต์ CBR ที่สูงกว่า

ผลของจำนวนครั้งการบดอัดที่มีผลต่อค่า CBR

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งพิษณุโลก

พิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Grade

พบว่า ที่จำนวน 12 ครั้งการบดอัด จากนั้นเพิ่มเป็น 25 ครั้ง โดยส่วนใหญ่จะมีค่า CBR ที่เพิ่มขึ้นมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่จำนวนครั้งการบดอัด 25 ครั้ง จากนั้นเพิ่มเป็น 56 ครั้ง

พิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Gap Grade

พบว่า การเพิ่มจำนวนครั้งการบดอัดจาก 12 ครั้ง เป็น 25 และ 56 ครั้ง ในแต่ละช่วงจะมีค่า CBR เพิ่มขึ้นมากบ้างน้อยบ้าง ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน

พิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well Grade

พบว่า การเพิ่มจำนวนครั้งการบดอัดจาก 12 ครั้ง เป็น 25 และ 56 ครั้ง ในแต่ละช่วงจะมีค่า CBR เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงที่ใกล้เคียงกัน

กลุ่มตัวอย่างดินจากแหล่งสระบุรี

ในทุกการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน พบว่า จำนวนครั้งการบดอัดที่ 12 ครั้ง จากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 25 ครั้ง มีค่า CBR ที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง แต่ที่จำนวนครั้งการบดอัดที่ 25 และ 56 ครั้ง ปรากฏว่า มีค่า CBR ที่ 56 ครั้ง มีค่าสูงกว่าค่า CBR ที่ 25 ครั้ง เพียงเล็กน้อย ทั้งที่พลังงานต่างกันถึง

2 เท่า ดังนั้น ในการบดอัดในสนามของแหล่งสระบุรี ควรควบคุมการบดอัดในสนาม เพราะอาจจะเกิด Over Compaction ได้ง่าย

สรุป

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเมื่อมีส่วนปริมาณส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น มีแนวโน้มให้ผลการทดสอบการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 28 แสดงแนวโน้มผลการทดสอบ

คุณสมบัติทางวิศวกรรม	ราชนบุรี	พิษณุโลก	สระบุรี
ความแน่นแห้งสูงสุด	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ไม่ชัดเจน
ปริมาณความชื้นเหมาะสม	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ไม่ชัดเจน
ความชื้นน้ำ	ไม่ชัดเจน	ไม่ชัดเจน	ไม่ชัดเจน
CBR.	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น

1. ความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน กับคุณสมบัติทางวิศวกรรม สามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 กลุ่มตัวอย่างดินแหล่งราชนบุรี

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

1.2 กลุ่มตัวอย่างดินแหล่งพิษณุโลก

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มลดลง ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

1.3 กลุ่มตัวอย่างดินแหล่งสระบุรี

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจากความแน่นแห้งค่อนข้างแตกต่างกันไม่มาก ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจาก ปริมาณความชื้นเหมาะสมแตกต่างกันไม่มาก ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

2. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของตัวอย่างดิน กับ คุณสมบัติทางวิศวกรรม สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 กลุ่มตัวอย่างดินที่มีรูปร่างกลมมน

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

กลุ่มตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมมน

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มลดลง ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

2.3 กลุ่มตัวอย่างดินที่มีรูปร่างเหลี่ยมคม

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจากความแน่นแห้งค่อนข้างแตกต่างกันไม่มาก ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจาก ปริมาณความชื้นเหมาะสมแตกต่างกันไม่มาก ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงทนทานของตัวอย่างดิน กับ คุณสมบัติทางวิศวกรรม สามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 กลุ่มตัวอย่างดินที่มีความทนทานสูง

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

3.2 กลุ่มตัวอย่างดินที่มีความทนทานปานกลาง

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มลดลง ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

3.3 กลุ่มตัวอย่างดินที่มีความทนทานต่ำ

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมีปริมาณของส่วนหยาบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแน่นแห้ง มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจากความแน่นแห้งค่อนข้างแตกต่างกันไม่มาก ปริมาณความชื้นเหมาะสม มีแนวโน้มไม่ชัดเจน เนื่องจาก ปริมาณความชื้นเหมาะสมแตกต่างกันไม่มาก ความชื้นน้ำมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และ CBR มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

4. สำหรับการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินในมาตรฐานชั้นรองพื้นฐานวัสดุมวลรวม (Grade B) ของกรมทางหลวง สามารถแบ่งออกเป็น Well, Gap and Poorly Graded จากผลการทดสอบนั้น ทุกกลุ่มตัวอย่างดินที่มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Well และ Gap Graded จะให้ผลการทดสอบทางวิศวกรรมที่ดีกว่า กลุ่มตัวอย่างดินที่มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินแบบ Poorly Graded ถ้าพิจารณาจากความแข็งแรงทนทานของวัสดุที่สูงถึงปานกลาง ถึงแม้ว่าจะให้ค่า CBR ที่สูง แต่เมื่อใช้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ 95% ของความแน่นแห้งสูง กลับมีหลายตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในส่วนของวัสดุที่มีความทนทานต่ำที่มาตรฐานของกรมทางหลวงสามารถผ่านเกณฑ์ได้ทั้งหมด แต่ควรระวังในการนำไปใช้ เพราะ ค่า CBR ที่ 25 ครั้งการบดอัด กับ

ที่ CBR 56 ครั้งการบดอัด มีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้น เมื่อนำไปใช้ในงานถ้าเกิดบดอัดมากเกินไป ความแน่นแข็งสูงสุดอาจเกิด Over Compaction ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาถึงรูปร่างเมล็ดดินที่แตกต่างกันแต่มีความแข็งแรงทนทานของเมล็ดดินที่เท่ากัน
2. ควรมีการศึกษาถึงรูปร่างเมล็ดดินที่เหมือนกันแต่มีความแข็งแรงทนทานของเมล็ดดินที่แตกต่างกัน
3. ควรมีการศึกษาในหัวข้อนี้กับ Grade C-E

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2529. การออกแบบทาง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 423 น.

วุฒิชัย วัชวุฒิกเกียรติ. การศึกษาคุณสมบัติและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า, กรุงเทพฯ.

ธนัช ชยางกูร ณ อยุธยา. 2544. ผลของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินที่มีต่อ สมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังบดอัด. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 74น.

สำนักวิเคราะห์ห้วยจี้และพัฒนางานทาง. 2539. มาตรฐานงานทาง. กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ. 420น.

สำนักวิเคราะห์ห้วยจี้ และ พัฒนางานทาง. 2541. มาตรฐานวิธีการทดลอง. กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ. 398 น.

Aberg, B. 1992. **Void ratio of non-cohesive soils and similar materials**. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 118 (9) : 1315-1334.

_____. 1996. **Grain-size distribution for smallest possible void ratio**. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 122 (1) : 74-77

_____. 1996. **Void sie in granular soils**. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 122 (3) : 236-239

American Associate of State Highway Officials. 1971. **Highway materials**. pp. 21-22.

Baldovin, G. 1969. **The shear strength of lateritic soils**. Proc. Spec. Session Eng. Properties Lateritic Soils 1 : 129-142

Bauer, M. 1898. **Beitrage zur geologie der seyschellen insbeson dere zur kenntnis des laterites**, pp. 168-219.

Buchanan, F. 1807. **A journey from Madras thorough the countries of Mysore, Canara and Malabor**. 2d ed., East Indian Company, London 560 p.

Femor, LL 1911. **What is laterite?**. Geol.Mag. 5 (8) : 453-566.

Holland, T.H. 1903. **The constitution, origin and dehydration of laterite**. Goel. Mag. 14(10) : 59-69.

Hongnoi, M. 1969. **Effect of method of preparation on the compaction and strength characteristic of lateritic soils**. Asian Institute of Technology, Bangkok. 108 p.

Korfiatis, G.P. and C.N. Manikopoulos. 1982. **Correlation of maximum dry density and grain size**. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 108 (GT9) : 1171-1176

Lacroix, A. 1913. **Les Laterites de la guinea et les products d' alte' ration qui leur sont associe's**, pp. 255-356. In MD Gidigas. Laterite soil engineering. Elsevier Sci. Pub. Co., New York. 544 p.

Lambe, T.W. 1958. **The engineering behavior of compacted clays**. J. Soil Mech. Found. Divis. Asce. 84 : 56-67.

Mallet, F.R. 1883. **Laterite and other manganese are occurring at Gosolpur, Jabalpur distret**. Rec. Geol. Surv. 16 : 103-118.

Markwick, A.H.D. and F.A. Shergold. 1946. **The Aggregate Crushing on abrasion and soundness characteristics of aggregate**. Eng. Geol. Vol. 15 : 195-203.

- Martin, F.J. and H.C. Doyné. 1927. **Laterite and lateritic soil in Sierra Leone**. J. Agri.Sci. 17 : 530-546.
- Morh, F.C.J. and F.A. Van Baren. 1954. **Tropical Soils**. Interscience, London. 498 p.
- Morin, W.J. and P.C. Todor. 1975. **Laterite and Lateritic Soils and Other problem Soils of the Tropics**, Lyon Associates and Road Research, London. 192 p.
- Morrison, H.J. 1965. **Report on research and development program for laterite, lateritic soils and highway construction in the kingdom of Thailand**. J.E. Greiner, Baltimore. 45 p.
- Newill, D. 1959. **An investigation into the relation for Ghanian soils between organic matter content content and the strength of soil cement**. Brit. Rd. Res. Lab. Note. No. 3572 102 p.
- Pendleton ,R.L. and S. Sharasuva. 1946. **Analysis of some Siamese lateries**. Soil Sci. 62(6) : 423-440
- Remillon, A. 1967. **Les recherches rontie' res enterprise en Afrique d' expression francaise**, pp. 231-388.
- Road Research Laboratory. 1962. **Bituminous Materials in Road Construction**. Department of Scientific and Industrial Research, London. 432 p.
- Russel, L.C. 1889. **Sub aerial decay of rock and origin of the red colour in certain formations**. U.S. Geol. Surv. Bull. No. 52. 65 p.
- Shergold, F.A. 1948. **A review of available information of the significance of roadstone test**. Road Research Laboratory Technical Paper No. 10 : 1-14.

Shergold, F.A. and F.V. Lewis. 1949. **A study of the aggregate impact test.** Road Research Laboratory Paper No. 1098 : 1-40.

Vasilyeva, A.S. and G.L. Tkachenko. 1978. **Influence of aggregate in voids on strength of gravelly soil.** Proceedings of GEOCON, India 1 : 120-123.

Vallerga, A.A. and N. R.ananand. 1969. **Stabilization of material by compaction.** Papers in Geotech. Eng. 554 p.

Yoder,E.J. 1946. **Compaction and strength characteristics of soil aggregate mixtures.** Highway Res. Bd.Proc. 26 : 511-520.

Zeigler,E. J. 1948. **Effect of material retained on a No. 4 sieve on compaction test of soils.** Highway Res.Bd.Proc. 28 : 409-414.