



การหาน้ำหนักดินแห้งโดยใช้เตาอบในห้องปฏิบัติการกับการให้ความร้อนโดยตรงในสนาม
THE DETERMINATION OF WEIGHT OF DRY SOIL BY OVEN DRY AND DIRECT HEATING

นายปองคุณ ศรีน้ำทอง

โครงการวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2559

การหาน้ำหนักดินแห้งโดยใช้เตาอบในห้องปฏิบัติการกับการให้ความร้อนโดยตรงในสนาม
THE DETERMINATION OF WEIGHT OF DRY SOIL BY OVEN DRY AND DIRECT HEATING

นายปองคุณ ศรีน้ำทอง

โครงการวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การหาน้ำหนักดินแห้งโดยใช้เตาอบในห้องปฏิบัติการกับการให้ความร้อนโดยตรงใน
สนาม
ปีการศึกษา 2559

โดย

นายปองคุณ ศรีน้ำทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.อัฐสิทธิ์ ศิริวิชิราภรณ์

บทคัดย่อ

การทดลองหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม ต้องนำดินที่ขุดได้ไปอบเพื่อหาปริมาณน้ำในห้องปฏิบัติการ แต่การทดลองหาความหนาแน่นของดินในสนาม นำเครื่องอบดินไปทำงานได้ไม่สะดวก ในทางปฏิบัติจึงเลือกที่จะใช้การให้ความร้อนโดยตรงแทนการอบแห้ง โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมและเปรียบเทียบการหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินในจากวิธีในห้องปฏิบัติการกับในสนาม โดยการนำดินทราย ดินลูกรัง และดินเหนียว มาทดลอง

ผลการทดสอบในตัวอย่างดินทราย ดินลูกรัง และดินเหนียวแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบการหาปริมาณน้ำในมวลดินในตัวอย่างดินทราย การให้ความร้อนโดยตรงกับตัวอย่างเป็นเวลา 5-10 นาทีจะได้ปริมาณน้ำในมวลดินใกล้เคียงกับการอบ การให้ความร้อนโดยตรงหลังจาก 10 นาทีปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยมาก ส่วนดินลูกรังการให้ความร้อนโดยตรงกับตัวอย่างเป็นเวลา 10-15 นาทีจะได้ปริมาณน้ำในมวลดินใกล้เคียงกับการอบ หลังจาก 15 นาทีหากยังให้ความร้อนอยู่ ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยมาก และดินเหนียวการให้ความร้อนโดยตรงกับตัวอย่างเป็นเวลา 45-50 นาทีจะได้ปริมาณน้ำในมวลดินใกล้เคียงกับการอบ การให้ความร้อนโดยตรงหลังจาก 50 นาทีปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากดินเหนียวเป็นดินเม็ดละเอียดมีพื้นที่ผิวมากทำให้มีความสามารถดึงดูดโมเลกุลของน้ำเข้ามารวมกันได้มาก อีกทั้งยังแสดงประจุลบออกมาบริเวณผิว ทำให้เกิดให้ Adsorbed Water และ Double-Layer Water เมื่อให้ความร้อนเข้าไป Double-Layer Water จะหมดไปก่อน และความร้อนจะเข้าไปทำให้ Adsorbed Water ภายหลัง ทำให้ดินเหนียวใช้เวลานานในการนำความชื้นออกจากมวลดิน

คำสำคัญ: การทดสอบหาความหนาแน่นในสนาม การให้ความร้อนโดยตรง

**THE DETERMINATION OF WEIGHT OF DRY SOIL BY OVEN DRY AND
DIRECT HEATING
Academic Year 2016**

By

Mister Pongkun Srinamthotng

Advisor

Attasit Sirivachiraporn, Dr.

Abstract

The field density testing in road or earth dam compaction must be determined the water content for soil sample. The water content determination by oven-dry is inconvenient to use the electric oven in field. The practical method for water content is direct heating to soil sample in field. This project objective is to compare the water content determination in field and in laboratory dry direct heating and oven-dried respective and study the optimized time for direct heat to samples.

The results revealed that the water content by oven-dried for sand, lateritic and clay sample were 9.08%, 10.12% and 35.05% respectively. By direct heating, sand sample was heated 5-10 minutes for water content as same as by oven. While lateritic and clay samples were here heated 10-15 minutes and 40-45 minutes respectively.

Keywords: Field density, direct heating

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณ อ.ดร. อัฐสิทธิ์ ศิริวิชิราภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนการชี้แนะในการหาคำตอบในปัญหาต่างๆ ระหว่างจัดทำโครงการนี้ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณรุ่งโรจน์ ฤกษ์หรรษา ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลให้กับคณะผู้จัดทำโครงการ ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณในความช่วยเหลือครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ท้ายที่สุดนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิศวกรรมนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ นำไปศึกษาไม่มากก็น้อยต่อไป ความดีและประโยชน์ใด ๆ จากโครงการวิศวกรรมนี้ ขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมด

ผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักการบดอัดดิน (Principle of Compaction)	3
2.2 การบดอัดดินของ Proctor (1930)	5
2.3 เส้นดินอิมตัว	7
2.4 การทดลองบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ (Compaction Testing in Laboratory)	8
2.4.1 การบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)	8
2.4.2 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)	11
2.5 การบดอัดดินในสนาม (Field Compaction)	14
2.6 ประเภทเครื่องมือบดอัดดินในสนาม	19
2.7 การหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม	21
2.7.1 การทดสอบแบบทำลายโครงสร้าง (Destructive Method)	21
2.7.2 การทดสอบแบบไม่ทำลายโครงสร้าง (Nondestructive Method)	23
2.8 การควบคุมการบดอัดในสนาม (Field Control of Compactions)	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	26
3.1 เครื่องมืออุปกรณ์	26
3.1.1 การทดลองหาขนาดมวลคละของดิน (Sieve Analysis)	26
3.1.2 การทดลองหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดิน	27
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	27
3.2.1 การทดลองหาขนาดมวลคละของดิน (Sieve Analysis)	27
3.2.2 การทดลองหาน้ำหนักน้ำในมวลดินจากการอบดิน	27
3.2.3 การทดลองหาน้ำหนักน้ำในมวลดินจากการคั่วดิน	28
3.3 ขั้นตอนการคำนวณที่ได้จากผลการทดลอง	29
3.3.1 คำนวณหาน้ำหนักของดินแห้ง	29
3.3.2 คำนวณหาน้ำหนักน้ำในมวลดิน	29
3.3.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง	30
4.1 การทดลองหาขนาดมวลคละของดิน (Sieve Analysis)	30
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินทราย	30
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินลูกรัง	31
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินเหนียว	32
4.2 ผลการทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการอบดิน	34
4.3 ผลการทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการคั่วร้อนดินเม็ดหยาบ	35
4.3.1 ผลการทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการคั่วร้อนดินทราย	35
4.3.2 ผลการทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการคั่วร้อนดินลูกรัง	35
4.4 ผลการทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการคั่วร้อนดินเม็ดละเอียด	35
4.5 ความแตกต่างของดินแต่ละชนิด	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.1.1 ผลการทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการคั่วร้อนดินเม็ดหยาบ	41
5.1.2 ผลการทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการคั่วร้อนดินเม็ดละเอียด	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)	12
2.2 วิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)	13
2.3 เครื่องจักรบดอัดดินในสนาม	19
2.4 แสดงเครื่องมือและวิธีการบดอัด	20
2.5 แสดงปริมาณดินที่เก็บไปหาปริมาณความชื้นต่อขนาดเม็ดดินและปริมาตรของหลุม	23
3.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในดินจากการอบ	28
4.1 ประเภทของดินทรายจากการจำแนกด้วยตะแกรงร่อน	31
4.2 ประเภทของดินลูกรังจากการจำแนกด้วยตะแกรงร่อน	32
4.3 ประเภทของดินลูกรังจากการจำแนกด้วยตะแกรงร่อน	33
4.4 แสดงน้ำหนักดินแห้งของดินจากการอบ	34
4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในดินจากการอบ	34
ก.1 แสดงการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินทราย	46
ก.2 แสดงการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินลูกรัง	47
ก.3 แสดงการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินเหนียว	48
ข.1.1 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 1	53
ข.1.2 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 2	54
ข.1.3 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 3	55
ข.1.4 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 4	56
ข.1.5 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 5	57
ข.1.6 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 6	58
ข.1.7 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 7	59
ข.1.8 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 8	60
ข.1.9 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 9	61
ข.1.10 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 10	62
ข.2.1 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 1	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการบดอัดดิน	3
2.2 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (Typical Compaction Curve)	5
2.3 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ	6
2.4 การบดอัดดิน	6
2.5 แสดงเส้นดินอิมิตัว	7
2.6 เครื่องมือการบดอัดแบบมาตรฐาน	10
2.7 เปรียบเทียบขนาดค้อนของการบดอัด	10
2.8 เส้นกราฟการบดอัดดินสำหรับการบดอัดดินแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน	11
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักแห้ง	14
2.10 ข้อเสนอแนะรูปแบบของการบดอัดบนแปลงทดสอบ	15
2.11 ตารางความหนาของชั้นบดอัด (เมตร) ที่มากที่สุดหลังจากการบดอัดสำหรับ เครื่องจักรชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้ในงานที่แตกต่างกัน	16
2.12 ลาดดินสำหรับหาความหนาแน่นที่เหมาะสมในแปลงทดสอบ	17
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นและพลังงานที่ต้องการ	18
2.14 การทดสอบแบบใช้กรวยทราย (Sand Cone Method)	22
2.15 การทดสอบแบบใช้ลูกโป่งยาง (Rubber Balloon Method)	22
2.16 การทดสอบแบบนิวเคลียร์ (Nuclear Density Method)	23
2.17 เครื่องมือทดสอบแบบใช้เครื่องมือแทงเหล็กกดดิน (Proctor Needle Method) และ การทดสอบแบบใช้เครื่องมือ แทงเหล็กกดดินในห้องปฏิบัติการ	24
2.18 แผงผังขั้นตอนการก่อสร้างดินคันทางหรือถนน	25
3.1 แสดงตะแกรงโลหะขนาดต่าง ๆ	26
3.2 เครื่องเขย่าตะแกรงโลหะ	26
3.3 นำดินตัวอย่างเตรียมไว้ใส่ภาคนำไปอบในเตาอบ	28
3.4 นำดินตัวอย่างเตรียมไว้ใส่กระทะแล้วคว่ำร้อน	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 Plasticity Chart	33
4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายทั้งหมด	36
4.3 กราฟน้ำหนักดินแห้งในดินทรายทั้งหมด	36
4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังทั้งหมด	37
4.5 กราฟน้ำหนักดินแห้งในดินลูกรังทั้งหมด	37
4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวทั้งหมด	38
4.7 กราฟน้ำหนักดินแห้งในดินเหนียวทั้งหมด	38
4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำเฉลี่ยในดินทั้งหมด	39
4.9 กราฟน้ำหนักดินแห้งในดินทั้งหมด	39
4.10 น้ำในอนุภาคดินเหนียว	40
ก.1 กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร้อนดินทราย	49
ก.2 กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร้อนดินลูกรัง	50
ก.3 กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร้อนดินเหนียว	51
ข.1.1.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 1	63
ข.1.1.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 1	63
ข.1.2.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 2	64
ข.1.2.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 2	64
ข.1.3.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายอย่างที่ 3	65
ข.1.3.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 3	65
ข.1.4.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 4	66
ข.1.4.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 4	66
ข.1.5.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 5	67
ข.1.5.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 5	67
ข.1.6.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 6	68
ข.1.6.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 6	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.1.7.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 7	69
ข.1.7.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 7	69
ข.1.8.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 8	70
ข.1.8.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 8	70
ข.1.9.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 9	71
ข.1.9.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 9	71
ข.1.10.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 10	72
ข.1.10.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 10	72
ข.2.1.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 1	83
ข.2.1.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 1	83
ข.2.2.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 2	84
ข.2.2.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 2	84
ข.2.3.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 3	85
ข.2.3.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 3	85
ข.2.4.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 4	86
ข.2.4.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 4	86
ข.2.5.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 5	87
ข.2.5.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 5	87
ข.2.6.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 6	88
ข.2.6.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 6	88
ข.2.7.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 7	89
ข.2.7.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 7	89
ข.2.8.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 8	90
ข.2.8.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 8	90
ข.2.9.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 9	91

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.2.9.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 9	91
ข.2.10.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 10	92
ข.2.10.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 10	92
ข.3.1.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 1	103
ข.3.1.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 1	103
ข.3.2.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 2	104
ข.3.2.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 2	104
ข.3.3.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 3	105
ข.3.3.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 3	105
ข.3.4.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 4	106
ข.3.4.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 4	106
ข.3.5.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 5	107
ข.3.5.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 5	107
ข.3.6.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 6	108
ข.3.6.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 6	108
ข.3.7.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 7	109
ข.3.7.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 7	109
ข.3.8.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 8	110
ข.3.8.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 8	110
ข.3.9.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 9	111
ข.3.9.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 9	111
ข.3.10.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 10	112
ข.3.10.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 10	112

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การก่อสร้างถนน สนามบิน เขื่อนดิน พื้นที่โรงงานหรืองานอื่น ๆ จะต้องบดอัดดินให้แน่นด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ตามชนิดและประเภทของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง หลังจากบดอัดได้ที่แล้วก็จะต้องมีการตรวจสอบผลของการบดอัดนั้นว่า มีความแน่นสามารถรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนด ที่ได้ออกแบบคำนวณไว้หรือไม่ เช่น งานชั้น รองพื้นทาง ชั้นพื้นทาง จะต้องบดอัดให้ได้ 95% วิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified) ตามมาตรฐานของ Proctor งานชั้นดินเดิม และดินถมจะต้องบดอัดให้ได้ 95% Modified Proctor เพราะงานในสนามซึ่งมีปัจจัยที่ควบคุมยากกว่าในห้องปฏิบัติการ เป็นไปได้ยากที่จะบดอัดให้ได้ 100% ตามที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ การบดอัดดินจะต้องมีการควบคุมความชื้นในดินและพลังงานที่จะใช้ในการบดอัดให้พอเพียงและประหยัดถ้าจำนวนเที่ยวที่บดอัดมากเกินไปก็จะสิ้นเปลืองทั้งค่าแรงงานและค่าน้ำมัน เชื้อเพลิง แต่ถ้าบดอัดน้อยไปก็จะได้ความแน่นที่ต้องการจะต้องกลับมาทำงานซ้ำอีก

การทดลองหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม โดยการชูดหลุมบริเวณบดอัดซึ่งน้ำหนักดินที่ชูดออกมาแล้วหารด้วยปริมาตรหลุม ก็จะได้ความหนาแน่นของดินในสนามการทดลองนี้เป็นวิธีการทดสอบหาความหนาแน่นแบบใช้กรวยทราย (Sand Cone Method) ซึ่งแบ่งขั้นตอนการแทนที่หลุมด้วยทราย ขั้นตอนการทดลองหาความหนาแน่นของดินในสนาม การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ การบันทึกข้อมูลการคำนวณหาความหนาแน่นของดิน เปรอร์เซ็นต์การบดอัดดินขึ้นเพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มาก เรียกว่าวิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ แต่การทดลองหาค่าความหนาแน่นของดินในสนามนำเครื่องอบดินไปทำงานได้ไม่สะดวก ในทางปฏิบัติจึงเลือกที่จะใช้การให้ความร้อนโดยตรงแทนการอบแห้ง จึงเพิ่มขั้นตอนการเปรียบเทียบความหนาแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์การบดอัดของดินในสนามกับความหนาแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์การบดอัดของดินห้องปฏิบัติการ ความแตกต่างของความหนาแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์การบดอัดของดินในสนามกับความหนาแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์การบดอัดของดินห้องปฏิบัติการ จะส่งผลต่องบประมาณและเวลาในการก่อสร้าง อาจส่งผลให้จำนวนเที่ยวในการบดอัดของเครื่องจักรมากขึ้น การสิ้นเปลืองงบประมาณและเสียเวลามากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เปรียบเทียบการหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินจากวิธีในห้องปฏิบัติการกับในสนาม

1.2.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหาน้ำหนักดินแห้งในสนามโดยการคว่ดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ตัวอย่างจากโครงการก่อสร้างภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

1.3.2 เปรียบเทียบเฉพาะน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินจากวิธีในห้องปฏิบัติการกับในสนาม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความถูกต้องแม่นยำในการหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินซึ่งนำไปสู่การหาความหนาแน่นแห้งของดินในสนาม

1.4.2 ทราบถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนโดยตรงกับดิน

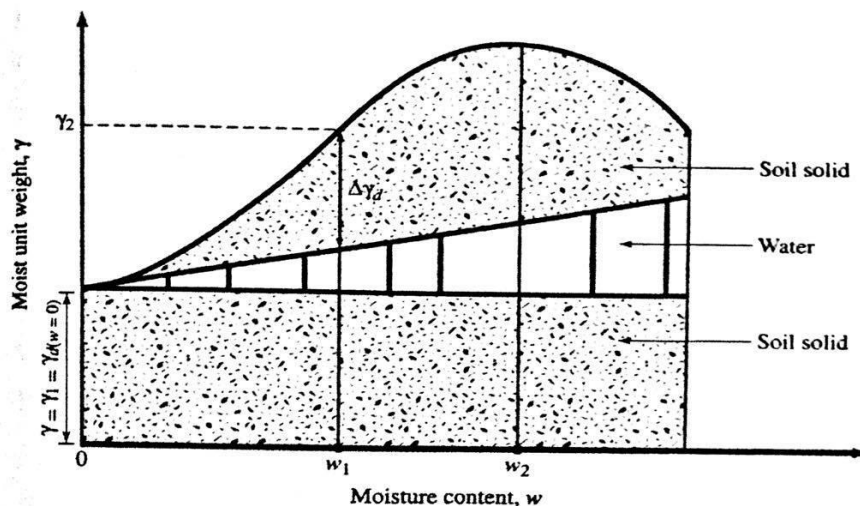
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 หลักการบดอัดดิน (Principle of Compaction)

การบดอัดดินคือการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกล เพื่อให้ดินแน่นขึ้นโดยการไล่อากาศออกไปจากดิน ซึ่งเป็นการปรับปรุงปริมาณความชื้นในมวลดินให้มีความเหมาะสมที่สุด และวัดปริมาณความหนาแน่นของดินในรูปของความหนาแน่นแห้ง เมื่อน้ำถูกเพิ่มเข้าไปในมวลดินระหว่างการบดอัด น้ำจะทำหน้าที่เหมือนสารหล่อลื่นซึ่งทำให้เม็ดดินเคลื่อนติดกันมากขึ้นและเข้าไปแทนที่ช่องว่างในมวลดิน เป็นผลให้ดินมีความหนาแน่นมากขึ้น จนถึงจุดที่มีความหนาแน่นสูงสุด และเมื่อน้ำที่เติมเข้าไปถูกเพิ่มมากขึ้นอีก ดินก็จะมีค่าความหนาแน่นลดลง เนื่องจากน้ำจะเข้าไปแทนที่เม็ดดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless Soil) จะต้องปรับปรุงคุณภาพดินโดยอาศัยการสั่นสะเทือน แต่สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) จะต้องอาศัยพลังงานในการบดอัดซึ่งสามารถทดสอบการบดอัดดินได้ในห้องปฏิบัติการโดยวิธีของ Proctor การบดอัดดินในสนามจะต้องเลือกใช้เครื่องจักรบดอัดชนิดต่าง ๆ กัน โดยพิจารณาความเหมาะสมตามชนิดของดิน เช่น รถบดล้อยาง (Pneumatic Roller) เหมาะกับดินทราย หรือรถบดอัดระบบสั่นสะเทือนเหมาะกับดินเม็ดหยาบที่หลวม เป็นต้น



รูปที่ 2.1 หลักการบดอัดดิน

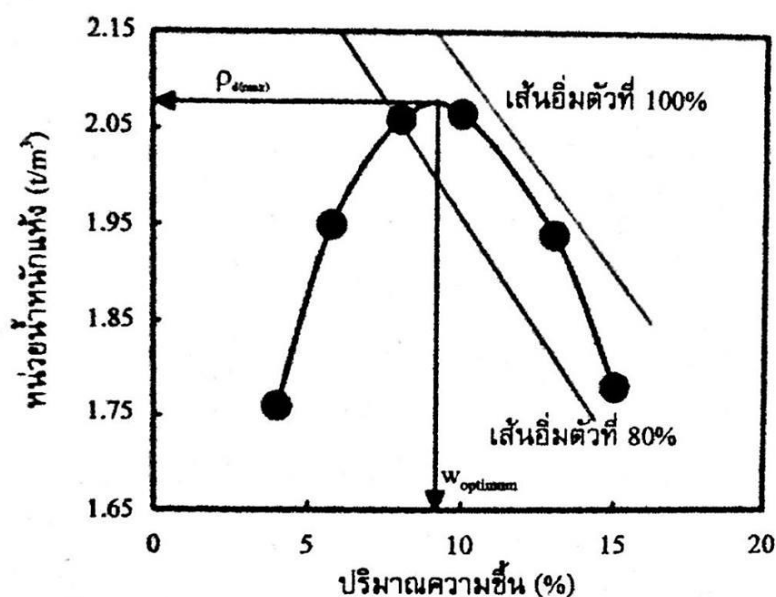
(ที่มา : วิชา ๖๖๒ อยู่วัย ๒๕๔๙. ปฐพีกลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี)

จุดประสงค์ของการบดอัดดิน การเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของมวลดิน ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์หลายข้อดังนี้

1. ลดการทรุดตัวของดิน เนื่องจากเมื่อดินถูกบดอัด จะทำให้ดินมีช่องว่างลดลง ดังนั้นจึงทำให้ดินมีการยุบอัดตัวลดลง
2. เพิ่งกำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน และปรับปรุงเสถียรภาพความลาดชัน (Slope Stability) เนื่องจากเมื่อเม็ดดินถูกบดอัด ทำให้ดินมีกำลังและแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ดินมีกำลังต้านทานแรงเฉือนเพิ่มขึ้น
3. ปรับปรุงกำลังแบกทานน้ำหนัก (Bearing Capacity) ของพื้นทาง เนื่องจากเมื่อดินถูกการบดอัด ทำให้ดินมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ดินมีกำลังแบกทานน้ำหนักเพิ่มขึ้น
4. ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร เช่น การบวมตัว (Swelling) และการหดตัว (Shrinkage) ของดิน การบดอัดดินทำให้ดินมีช่องว่างลดลงและมีความหนาแน่นมากขึ้น ดังนั้นมีน้ำเกิดการระเหยออกจากช่องว่าง ดินก็จะเกิดการหดตัวน้อยกว่าดินหลวม และเนื่องจากดินมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้น้ำซึมผ่านได้น้อยลง ดังนั้นก็จะช่วยลดการบวมตัวที่เกิดขึ้น
5. ลดการกระจายตัว การนำดินจากหลายๆ แหล่งมาใช้ในพื้นที่เดียวกัน เช่น ในการทำเขื่อนหรือถนน เมื่อดินผ่านกระบวนการบดอัด จะทำให้ดินมีความสม่ำเสมอมากขึ้น
6. ลดการซึมผ่านของน้ำในดิน เมื่อดินถูกบดอัด ทำให้ดินมีความหนาแน่นมากขึ้น มีความตึบน้ำมากขึ้น ดังนั้น จึงทำให้ค่าการซึมน้ำลดลง
7. ลดการเกิด Liquefaction การเกิด Liquefaction มักจะเกิดกับดินทรายในสภาพหลวม ดังเช่นในกรณีเกิดแผ่นดินไหว ดินจะถูกการสั่นทำให้เกิดแรงเค้นเฉือนแบบซ้ำ ๆ ขึ้น ซึ่งดินจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ และเกิดการยุบอัดตัวทำให้ช่องว่างของดินมีแนวโน้มลดลง แต่ในขณะเดียวกัน เนื่องจากดินทรายหลวม จึงมีช่องว่างในมวลดินมาก ดังนั้นเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากกระทำ ก็จะส่งถ่ายแรงไปยังน้ำที่อยู่ในช่องว่าง จึงทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินขึ้นมาก เนื่องจากน้ำไม่สามารถระบายออกทัน ซึ่งเมื่อแรงเค้นทั้งหมดยังคงเท่าเดิม แต่แรงดันน้ำเกิดสูงขึ้นมาก ก็ทำให้แรงเค้นประสิทธิผลลดลง ตามหลักของสมการแรงดันประสิทธิผล ที่ว่า $\sigma' = \sigma - u$ ซึ่งเมื่อแรงเค้นประสิทธิผลลดลง ก็ทำให้ดินมีกำลังต้านทานแรงเฉือนน้อยลงด้วย โดยเมื่อแรงดันดินส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับแรงเค้นทั้งหมด ก็จะทำให้แรงดันประสิทธิผลมีค่าเป็นศูนย์ ดินสูญเสียกำลังและมีสภาพเหมือนของเหลว ก็เป็นผลให้เกิดการวิบัติขึ้น ดังนั้นหากดินถูกบดอัดให้อยู่ในสภาพแน่น ก็จะทำให้ดินมีช่องว่างลดลง เมื่อเกิดแผ่นดินไหว ดินก็ยังคงสามารถส่งถ่ายแรงระหว่างเม็ดดินได้ จึงทำให้แรงเค้นประสิทธิผลไม่ลดลงมาก ในขณะที่แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นก็น้อยลง ซึ่งทำให้ดินยังมีกำลังต้านทานแรงเฉือนมากกว่าในสภาพหลวม ดังนั้นจึงช่วยลดการเกิด Liquefaction

2.2 การบดอัดดินของ Proctor (1930)

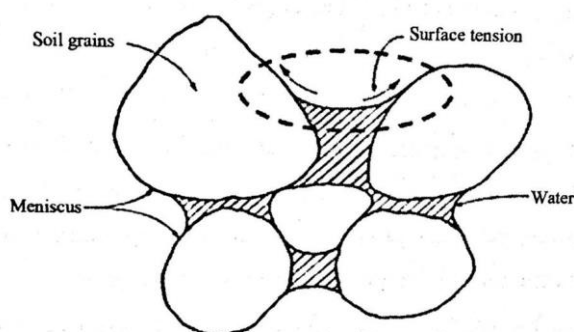
ทฤษฎีพื้นฐานการบดอัดดินสำหรับดินที่มีความชื้นแน่นได้ถูกสร้างความสัมพันธ์โดย R.R. Proctor (1930) โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering News-Record (Proctor, 1933) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test



รูปที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (Typical Compaction Curve)

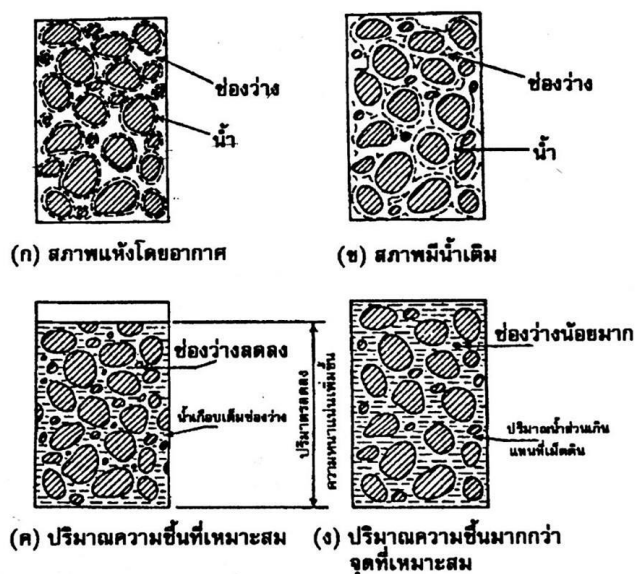
(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

Proctor ได้กล่าวถึงกลไกของการเกิดเส้นการบดอัดแสดงในรูปที่ 2.2 ไว้ว่า ประสิทธิภาพของการบดอัดดินถูกกำหนดโดยแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน โดยแบ่งการบดอัดดินเป็น 2 ด้านคือ ด้านแห้งและด้านเปียก สำหรับการบดอัดที่แห้งมาก ๆ ดินจะมีแรงเสียดทานที่สูงมาก เนื่องจากแรงดึงผิวที่เกิดจากความชื้นคาพิลลารี (Capillary Moisture) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นผลให้การบดอัดดินทำได้ยาก แต่เมื่อเติมน้ำเข้าไปในดินที่แห้งมาก ๆ น้ำจะไปลดแรงคาพิลลารีและเป็นผลให้แรงเสียดทานลดลงด้วย ถ้าเติมน้ำเข้าไปอีกเรื่อย ๆ จนน้ำไปสลายแรงเสียดทานได้แล้ว น้ำก็จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นที่ทำให้เม็ดดินจัดเรียงตัวกันใหม่ จนถึงปริมาณน้ำที่เต็มช่องว่างในช่วงหนึ่งที่จะทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยเรียกจุดที่ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดว่า Maximum Dry Density และเรียกปริมาณความชื้นที่จุดนี้ว่า Optimum Moisture Content หลังจากจุดนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่เนื้อดิน ทำให้เนื้อดินที่มีในปริมาตรเท่ากันลดลง อีกทั้งเกิดจากความถ่วงจำเพาะของน้ำน้อยกว่าดินในขณะที่ความหนาแน่นเปียกมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นในดินสูงมาก ๆ พบว่าดินจะอยู่ในสภาพอ่อนตัว ซึ่งไม่อยู่ในสภาพที่สามารถรับน้ำหนักได้อีกต่อไป



รูปที่ 2.3 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ
(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

ซึ่งดินในสภาวะแห้งโดยอากาศจะมีน้ำเคลือบผิวเม็ดดินเป็นลักษณะฟิล์มบาง ๆ เมื่อเติมน้ำเล็กน้อยลงในดินเพื่อการบดอัด ดินยังคงมีลักษณะแข็ง (Stiff) ไม่สามารถทำให้เม็ดดินเคลื่อนที่เข้าหากันได้มากนัก จนกระทั่งเมื่อปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าใกล้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม น้ำในดินจะช่วยหล่อลื่นทำให้เม็ดดินสามารถเคลื่อนเข้ากันมากขึ้นเมื่อบดอัด ซึ่งมีผลทำให้ปริมาตรของดินลดลง ความหนาแน่นแห้งของดินจึงสูงขึ้น ในขณะที่มีปริมาณน้ำในดินที่สูงเกินปริมาณน้ำที่เหมาะสม น้ำจะเข้าแทนที่เมื่อเม็ดดินทำให้เม็ดดินอยู่ห่างกันมากขึ้น ปริมาณดินเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นแห้งจึงลดลง



รูปที่ 2.4 การบดอัดดิน

(ที่มา : วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา 2549. ปฐพีกลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี)

การคำนวณการบดอัดดินจำเป็นต้องทราบความหนาแน่นแห้งของดินในการบดอัด ซึ่งโดยทั่วไปจะหาจากความหนาแน่นรวมของดิน ซึ่งความหนาแน่นรวมจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นแห้งของดิน ดังนี้

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+W} \quad (2.1)$$

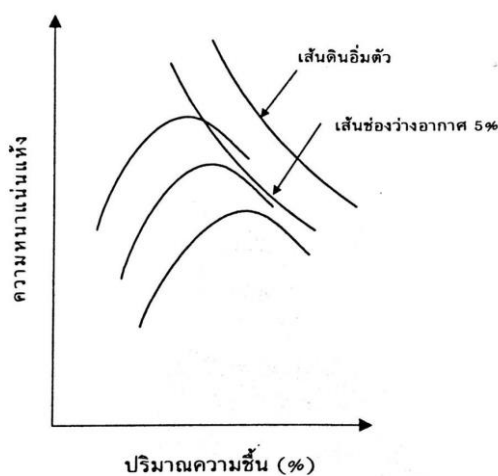
เมื่อ γ_d = ความหนาแน่นแห้งของดิน
 γ_t = ความหนาแน่นรวมของดิน
 W = ปริมาณน้ำในดิน

2.3 เส้นดินอิมตัว

เส้นดินอิมตัว หรือเส้นช่องว่างอากาศเป็นศูนย์ (Saturation Line หรือ Zero-Air-Voids Line) ที่แสดงในรูป 2.5 เป็นเส้นในทางทฤษฎีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน และความหนาแน่นแห้งของดินเมื่อดินมีตึกรความอิมตัวเท่ากับร้อยเปอร์เซ็นต์ โดยได้จากสมการ

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + \frac{W G_s}{S}} \quad (2.2)$$

เมื่อ γ_d = ความหนาแน่นแห้งของดิน
 G_s = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน
 γ_w = หน่วยน้ำหนักของดิน
 W = ปริมาณน้ำในดิน
 S = ตึกรความอิมตัว = 1.0 (100%)



รูปที่ 2.5 แสดงเส้นดินอิมตัว

(ที่มา : วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา 2549. ปฐพีกลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี)

ในทางปฏิบัติแล้วดินที่บดอัดจะมีดีกรีความอึดตัวไม่ถึง 100% เส้นดินอึดตัวจึงเหมือนเป็นเส้นขอบเขตสำหรับการบดอัดที่ไม่ว่าจะใช้พลังงานในการบดอัดดินเท่าไรจะได้กราฟการบดอัดที่อยู่ในตำแหน่งที่ไม่เกินเส้นนี้

ส่วนเส้นช่องว่างอากาศ 5% (Five-Air-Voids Line) หาได้จากการแทนค่าดีกรีความอึดตัวลงในสมการ (2.2) ด้วย $S = 0.95$ (95%)

2.4 การทดลองบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ (Compaction Testing in Laboratory)

การบดอัดแต่ละชนิดให้ความหนาแน่นสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมไม่เท่ากัน ขึ้นกับพลังงานที่ใช้ในการบดอัด การบดอัดในห้องทดลองจะใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการบดอัดดินในสนาม โดยมีอยู่ 2 มาตรฐานที่นิยมใช้กัน คือการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) และ การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) ซึ่งทั้งสองวิธีใช้พลังงานในการบดอัดดินไม่เท่ากัน จึงนำไปใช้ประโยชน์สำหรับงานต่างประเภทกัน โดยการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานใช้พลังงานในการบดอัดสูงกว่าจึงจะเหมาะสำหรับใช้ในการก่อสร้างที่ต้องการความแข็งแรง หรือต้องรับน้ำหนักมาก ๆ เช่น งานบดอัดวัสดุพื้นทางหรือรองพื้นทางสำหรับรันเวย์เครื่องบิน เป็นต้น ส่วนการบดอัดดินแบบมาตรฐานเหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่รับน้ำหนักไม่มากนัก เช่น งานบดอัดวัสดุสำหรับถนนทั่ว ๆ ไป เป็นต้น

Proctor อธิบายว่า การบดอัดดินมักมีตัวแปรควบคุมอยู่ 4 ตัวคือ (1) ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) (2) ปริมาณความชื้น (Water Content) (3) พลังงานในการบดอัด (Compaction Energy) และ (4) ชนิดของดิน (Soil Type) ในพื้นที่จริง พลังงานที่ใช้ในการบดอัดเปรียบได้กับจำนวนครั้งที่เครื่องจักรบดอัดวิ่งผ่าน แต่สำหรับห้องปฏิบัติการทดลอง จะถูกเปลี่ยนมาเป็นการกระทุ้งตามวิธีการทดลองของ Proctor โดยค่าพลังงานในการบดอัดนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักของค้อนกระทุ้ง (Hammer) ความสูงของระยะปล่อยตก (High) จำนวนชั้นดิน (Layers) จำนวนครั้งที่กระทุ้ง (Blows) และปริมาตรของโมล (Mold) หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{พลังงานในการบดอัด} = \frac{\text{น้ำหนักค้อน} \times \text{ระยะยก} \times \text{จำนวนชั้น}}{\text{ปริมาตรของโมล}}$$

2.4.1 การบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

เป็นวิธีที่เสนอโดย Proctor, 1933 โดยในครั้งนั้นใช้สำหรับมาตรฐานในการควบคุมงานก่อสร้างเขื่อนดินที่มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เครื่องมือที่ใช้แสดงในรูปที่ 2.6 ประกอบด้วย

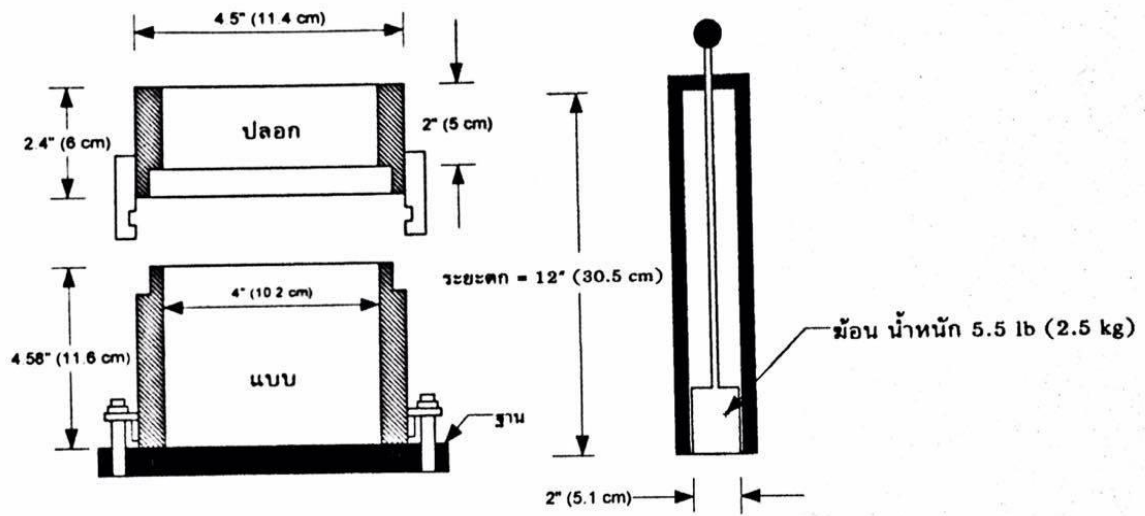
- (ก) แบบ (Mould) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว (10.2 cm.) ความสูง 4.85 นิ้ว (11.6 cm.) ปริมาตรของแบบประมาณ $1/30 \text{ ft}^3$ (944 cm^3)
- (ข) ปลอก (Collar) ซึ่งใช้สวมลงบนแบบแล้วยึดเข้าด้วยกันในระหว่างการบดอัดดิน
- (ค) ฐาน (Base Plate) ซึ่งจะยึดติดกับแบบและใช้รองเป็นฐานในระหว่างการบดอัดดิน
- (ง) ค้อน (Hammer) มีน้ำหนัก 5.5 lb (2.5 kg) มีระยะตก 12 นิ้ว (30.5) ใช้บดอัดดินที่อยู่ในแบบ การทดลองมีขั้นตอนคร่าว ๆ คือ

- 1) เตรียมตัวอย่างดินประมาณ 3 kg
- 2) ผสมตัวอย่างดินด้วยน้ำด้วยปริมาณหนึ่งแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน (โดยทั่วไปสำหรับดินเม็ดหยาบ ควรใช้ประมาณ 4% และ 10% สำหรับดินเม็ดละเอียด)
- 3) นำดินไปบดอัดในแบบที่ประกอบเข้ากับฐานและปลอกแล้ว โดยเติมดินเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นจะกระทุ้งด้วยค้อนจำนวน 25 ครั้ง
- 4) ถอดแบบออกจากฐาน และปลอก โดยต้องปาดให้ดินส่วนเกินจากแบบออกให้เสมอกับระดับของแบบ
- 5) ชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักดินในแบบได้เท่ากับ W
- 6) คำนวณหาความหนาแน่นรวม (γ_t)

$$\gamma_t = \frac{W}{V} \quad (2.3)$$

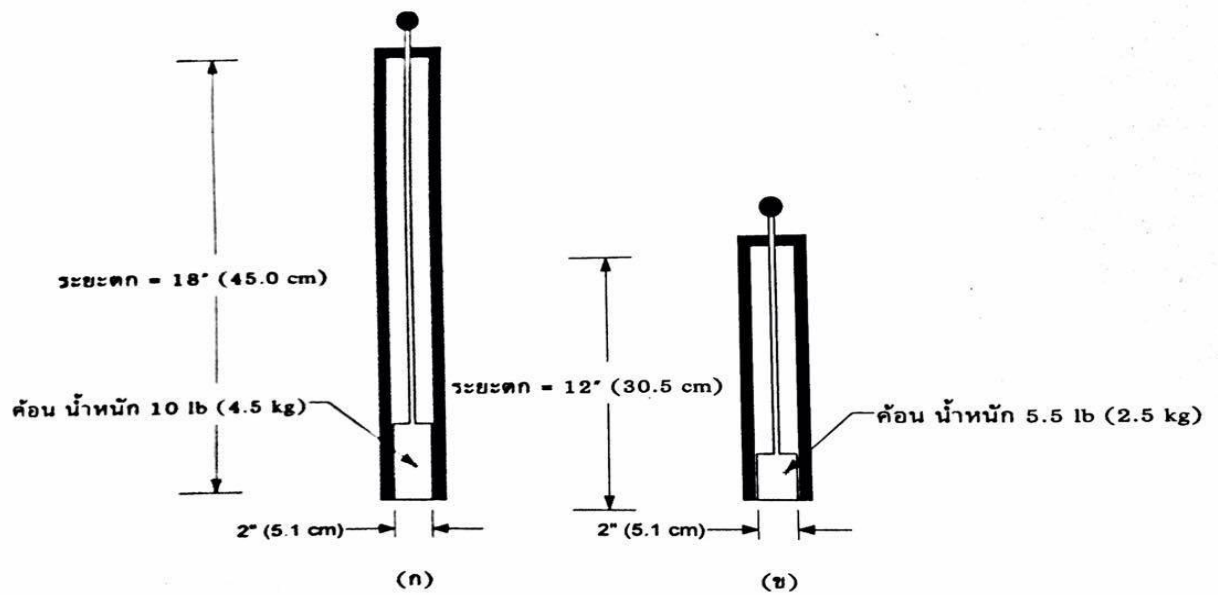
เมื่อ V = ปริมาตรของดินในแบบ

- 7) นำบางส่วนของดินไปหาปริมาณน้ำในดินได้เท่ากับ W
- 8) คำนวณหาความหนาแน่นแห้งของดิน (γ_d) จากสมการ (2.1)
- 9) นำดินมาทดลองซ้ำอีก 4 ถึง 6 ตัวอย่างโดยเพิ่มปริมาณน้ำที่ผสมในการบดอัดดินขึ้นอีกครั้งละประมาณ 2% ถึง 4%
- 10) พล็อตเส้นกราฟการบดอัดดินเพื่อหาความหนาแน่นสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสม



รูปที่ 2.6 เครื่องมือการบดอัดแบบมาตรฐาน

(ที่มา : วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา 2549. ปฐพีกลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี)



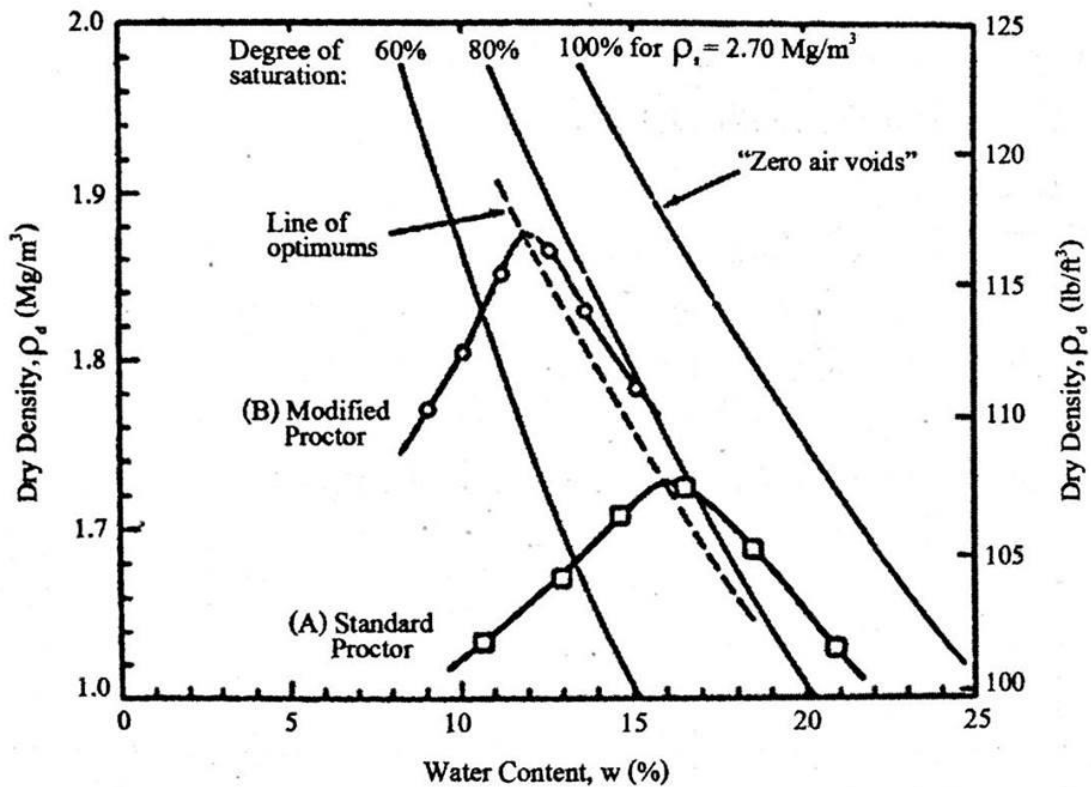
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบขนาดค้อนของการบดอัด

(ก) แบบสูงกว่ามาตรฐาน (ข) แบบมาตรฐาน

(ที่มา : วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา 2549. ปฐพีกลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี)

2.4.2 การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

เป็นวิธีการทดลองที่พัฒนาจากการบดอัดแบบมาตรฐาน แต่พลังงานในการบดอัดสูงกว่า โดยใช้ค้อนที่มีน้ำหนัก 10 lb (4.50 kg) และมีระยะตก 18 นิ้ว (45 cm.) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนแบบที่ใช้มีขนาดเท่ากัน คือมีปริมาตร $1/30 \text{ ft}^3$ โดยการบดอัดดินจะบดอัดทั้งหมดจำนวน 5 ชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟในการบดอัดดินจากทั้งสองวิธีการแสดงให้เห็นว่าการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานจะให้ความหนาแน่นแห้งสูงกว่าในขณะที่ใช้ปริมาณที่เหมาะสมน้อยกว่าสำหรับดินชนิดเดียวกัน



รูปที่ 2.8 เส้นกราฟการบดอัดดินสำหรับการบดอัดดินแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน

(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

สำหรับการทดสอบโดยวิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) (มาตรฐาน AASHTO (1978) T99 และมาตรฐาน ASTM (1980) D698) และวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor) [มาตรฐาน AASHTO (1978) T180 และมาตรฐาน ASTM (1980) D1557 สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

ลำดับที่	วิธีการ		
	A	B	C
1. ขนาดของโมล	4 in (101.6 mm)	4 in (101.6 mm)	6 in (152.4 mm)
2. ความสูงของโมล	4.584 in (116.43mm)	4.584 in (116.43 mm)	4.584 in (116.43mm)
3. ปริมาตรของโมล	0.0333 ft ³ (944 cm ³)	0.0333 ft ³ (944 cm ³)	0.075 ft ³ (2124 cm ³)
4. น้ำหนักของค้อน	5.5 lb (2.5 kg)	5.5 lb (2.5 kg)	5.5 lb (2.5 kg)
5. ระยะยก	12.0 in (304.8 mm)	12.0 in (304.8 mm)	12.0 in (304.8 mm)
6. จำนวนชั้น	3	3	3
7. จำนวนครั้งที่ กระทุ้งต่อชั้น	25	25	25
8. พลังงานในการ บดอัด	12,375 ft-lb/ft ³ (600 kN-m/m ³)	12,375 ft-lb/ft ³ (600 kN-m/m ³)	12,375 ft-lb/ft ³ (600 kN-m/m ³)
9. วัสดุดิน	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 mm) อาจใช้กับ ดินที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20%	ผ่านตะแกรงขนาด 3/8 in (9.5 mm) อาจใช้กับ ดินที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า 20% และดิน ค้ำตะแกรงขนาด 3/8 in น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20%	ผ่านตะแกรงขนาด 3/4 in (19 mm) อาจใช้กับ ดินที่ค้ำตะแกรงขนาด 3/8 in มากกว่า 20% และดินค้ำตะแกรง ขนาด 3/4 in น้อยกว่า 30%

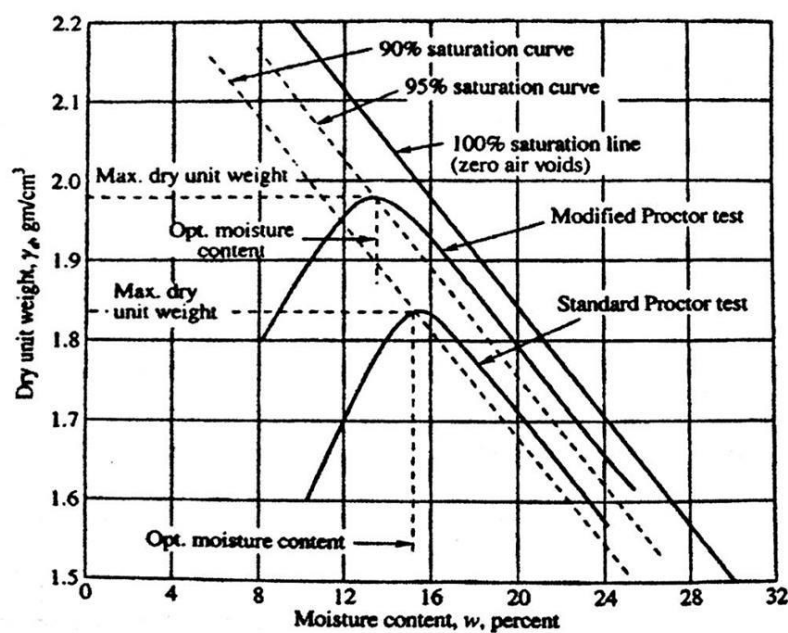
ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ

ตารางที่ 2.2 วิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

ลำดับที่	วิธีการ		
	A	B	C
1. ขนาดของโมล	4 in (101.6 mm)	4 in (101.6 mm)	6 in (152.4 mm)
2. ความสูงของโมล	4.584 in (116.43 mm)	4.584 in (116.43 mm)	4.584 in (116.43 mm)
3. ปริมาตรของโมล	0.0333 ft ³ (944 cm ³)	0.0333 ft ³ (944 cm ³)	0.075 ft ³ (2124 cm ³)
4. น้ำหนักของค้อน	10 lb (4.54 kg)	10 lb (4.54 kg)	10 lb (4.54 kg)
5. ระยะยก	18.0 in (457.2 mm)	18.0 in (457.2 mm)	18.0 in (457.2 mm)
6. จำนวนชั้น	5	5	5
7. จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น	25	25	25
8. พลังงานในการบดอัด	56,250 ft-lb/ft ³ (2700 kN-m/m ³)	56,250 ft-lb/ft ³ (2700 kN-m/m ³)	56,250 ft-lb/ft ³ (2700 kN-m/m ³)
9. วัสดุดิน	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 mm) อาจใช้กับดินที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20%	ผ่านตะแกรงขนาด 3/8 in (9.5 mm) อาจใช้กับดินที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า 20% และดินค้ำตะแกรงขนาด 3/8 in น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20%	ผ่านตะแกรงขนาด 3/4 in (19 mm) อาจใช้กับดินที่ค้ำตะแกรงขนาด 3/8 in มากกว่า 20% และดินค้ำตะแกรงขนาด 3/4 in น้อยกว่า 30%

ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ

เมื่อทราบค่าความหนาแน่นแห้งของดินแต่ละตัวอย่างการทดสอบแล้วนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้น จะได้เส้นกราฟที่พล็อตระหว่างจุด ซึ่งเรียกว่า Compaction Curve ดังเส้นกราฟในรูปที่ 2.9 สำหรับการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน ข้อมูลแต่ละจุดบนเส้นกราฟแทนการทดสอบในแต่ละครั้ง โดยทั่วไปจะทำการทดสอบกับดินตัวอย่างเดียวกัน 4-5 ครั้ง จนกระทั่งน้ำหนักของดินที่การบดอัดมีน้ำหนักลดลง ลักษณะเส้นกราฟที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน วิธีการทดสอบ และพลังงานในการบดอัด จุดสูงสุดของเส้นกราฟเป็นจุดที่ให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) เมื่อใช้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมซึ่งเรียกว่า Optimum Moisture Content (OMC) ซึ่งค่านี้คือค่าที่จะนำไปใช้ในการบดอัดในพื้นที่จริง



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักแห้ง
(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

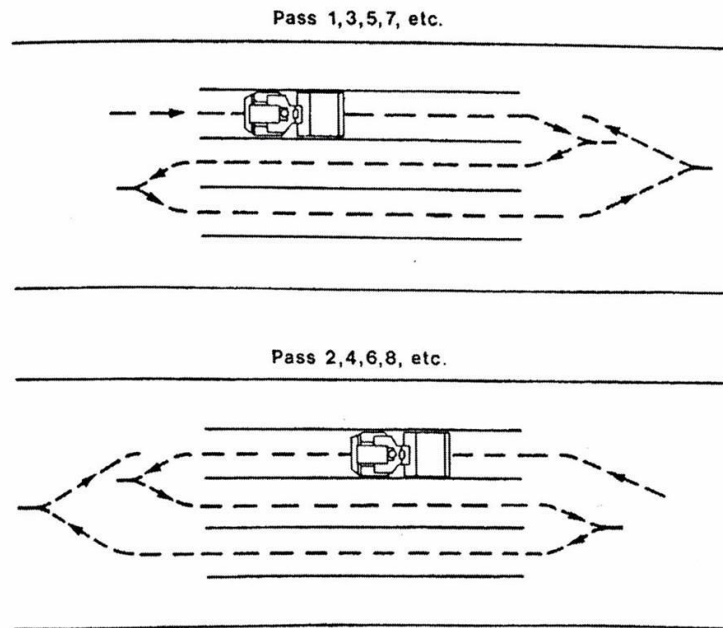
2.5 การบดอัดดินในสนาม (Field Compaction)

การบดอัดดินในสนามนั้นขึ้นอยู่กับประเภทงานและชนิดของดินที่นำมาเป็นวัสดุบดอัดซึ่งในแต่ละงานจะมีความแตกต่างกัน สำหรับงานทั่วไปแล้วอาจใช้การบดอัดตามข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานทั่วไป ถ้าเป็นงานขนาดใหญ่ ก่อนบดอัดจริงต้องมีการทดสอบการบดอัดในแปลงทดสอบก่อน โดยการใช้เครื่องจักรบดอัดที่แตกต่างกัน เพื่อความเหมาะสมของความหนาของแต่ละชั้นดินบดอัด และจำนวนเที่ยวในการบดอัด

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของการบดอัดดินในสนาม ควรมีการทดสอบการบดอัดดินในแปลงทดสอบตามข้อแนะในการทำงานดังนี้

1. ชั้นดินที่ทดสอบบดอัดควรวางอยู่บนชั้นดินที่บดอัดแล้ว ซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน โดยความหนาแน่นของชั้นดินข้างใต้อย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับความหนาแน่นที่ต้องการ

2. พื้นที่ที่จะทดสอบบดอัดอย่างน้อยที่สุดควรมี 3 เลน สำหรับรถบดเพื่อการบดอัด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ระยะซ้อนทับของแต่ละเลนควรประมาณ 10% ของความกว้างของรถบด ทั้ง 3 เลนต้องมีจำนวนเที่ยวของการบดอัดเท่ากัน และการทดสอบความหนาแน่นควรกระทำที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแต่ละเลน พื้นที่นอกพื้นที่บดอัดควรเป็นไหล่ทางที่มีความกว้างอย่างน้อยอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ ความกว้างของรถบดอัดเพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างของวัสดุ



รูปที่ 2.10 ข้อเสนอแนะรูปแบบของการบดอัดบนแปลงทดสอบ
(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

3. ความเร็วในการขับเคลื่อนรถบดควรดำเนินการหา ก่อนที่จะทดสอบ และต้องตรวจสอบอย่างระมัดระวัง ความเร็วในการขับเคลื่อนสำหรับรถบดแบบสันสะเทือนในการบดอัดดินหรือหินถมคือ 4 กม./ชม. ถ้าเป็นงานที่บดอัดยากเพื่อให้ได้ความหนาแน่นตามต้องการ อาจทดสอบบดอัดด้วยความเร็วขับเคลื่อนที่น้อยกว่าหรือในทำนองกลับกัน
4. ความเหมาะสมของจำนวนเที่ยวของการบดอัดสามารถหาได้หลังจากการทดสอบความหนาแน่นแล้วปกติจะใช้ 4 6 และ 8 เที่ยว โดยเฉพาะดินเม็ดละเอียด จำนวนเที่ยวบดอัดไม่ควรพิจารณาในช่วงเวลาหลังบดอัดเสร็จ เนื่องจากเวลาผ่านไป ความหนาแน่นจะสูงขึ้นเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำของดิน ควรพิจารณาหลังการบดอัดผ่านไปอย่างน้อย 1 ชั่วโมง สำหรับดินตกตะกอนสามารถบดไล่อากาศที่มีอยู่บางส่วนได้ โดยการหยุดพักเป็นช่วง ๆ เพื่อให้เกิดแรงดันระหว่างการบดอัด

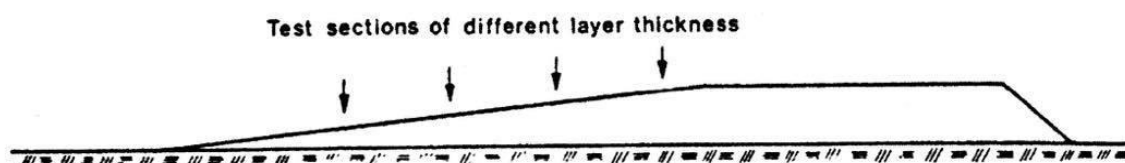
5. สำหรับดินทุกชนิด สิ่งสำคัญที่สุดคือ การเติมน้ำให้ได้ใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินบดอัดที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ ปกติ $\pm 2\%$
6. การทดสอบความหนาแน่นของดินในสนามปกติจะใช้วิธีแทนที่ด้วยทราย (Sand-Replacement Method) หรือการแทนที่ด้วยน้ำ (Water-balloon Method) แต่อาจใช้วิธีอื่นได้ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดในรายละเอียดการออกแบบ การทดสอบควรเลือกจุดที่คิดว่าบดอัดไม่ดีและควรลึกลงในใต้ชั้นบดอัด 15 ซม. สำหรับบริเวณพื้นผิวที่มีความหนาแน่นต่ำ เช่น การบดอัดทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ หรือเมื่อใช้รถบดดินเกาะ การทดสอบต้องเริ่มที่ความลึกต่ำลงไปในพื้นที่ดิน
7. ความเหมาะสมของความหนาแน่นของแต่ละชั้นบดอัดขึ้นอยู่กับขนาดของรถบดและชนิดของวัสดุ ค่าแนะนำสำหรับความหนาแน่นของแต่ละชั้นบดอัดสำหรับเครื่องจักรชนิดต่าง ๆ ดังแสดงรูปที่ 2.11 มักพบว่าความหนาแน่นที่เหมาะสมต้องทดสอบเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแต่ละชั้น 2 ถึง 3 ค่า พื้นฐานการบดอัดโดยใช้แรงสั่นสะเทือนมักจะใช้ความหนาแน่นของชั้นบดอัดเท่ากับ ความหนาแน่นทั้งหมดของชั้นทาง

ROLLER TYPE STATIC WEIGHT (drum module weights in brackets)	EMBANKMENT				SUB- BASE	BASE
	Rock fill 1)	Sand, gravel	Silt	Clay		
Towed vibr. rollers						
6 ton	0.75	●0.60	●0.45	0.25	●0.40	●0.30
10 "	●1.50	●1.00	●0.70	●0.35	●0.60	●0.40
15 "	●2.00	●1.50	●1.00	●0.50	●0.80	—
6 " padfoot	—	0.60	●0.45	●0.30	0.40	—
10 " "	—	1.00	●0.70	●0.40	0.60	—
Self-propelled vibr. rollers						
7 (3) ton	—	●0.40	●0.30	0.15	●0.30	●0.25
10 (5) "	0.75	●0.50	●0.40	0.20	●0.40	●0.30
15 (10) "	●1.50	●1.00	●0.70	●0.35	●0.60	●0.40
8 (4) " padfoot	—	0.40	●0.30	●0.20	0.30	—
11 (7) " "	—	0.60	●0.40	●0.30	0.40	—
15 (10) " "	—	1.00	●0.70	●0.40	0.60	—
Vibr. tandem rollers						
2 ton	—	0.30	0.20	0.10	0.20	●0.15
7 "	—	●0.40	0.30	0.15	●0.30	●0.25
10 "	—	●0.50	●0.35	0.20	●0.40	●0.30
13 "	—	●0.60	●0.45	0.25	●0.45	●0.35
18 " padfoot	—	0.90	●0.70	●0.40	0.60	—

1) For rock fill only rollers especially designed for this purpose
Note: Most suitable applications marked ●

รูปที่ 2.11 ตารางความหนาแน่นของชั้นบดอัด (เมตร) ที่มากที่สุดหลังจากการบดอัดสำหรับเครื่องจักรชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้ในงานที่แตกต่างกัน
(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

8. บางครั้งการหาความหนาของชั้นบดอัดที่เหมาะสมในแปลงทดสอบ อาจใช้วิธีการเกลี่ยลาดดินให้มีความหนาลดหลั่นกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยความหนาที่เหมาะสมที่มีค่ามากที่สุดสามารถพิจารณาได้จากผลการทดสอบความหนาแน่นของดินในสนาม



รูปที่ 2.12 ลาดดินสำหรับหาความหนาแน่นที่เหมาะสมในแปลงทดสอบ

(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

การบดอัดดินโดยทั่วไปนั้น ขั้นตอนแรกต้องพิจารณาเลือกเครื่องจักรที่จะใช้ในการบดอัดให้เหมาะสม ถ้าต้องการบดอัดสำหรับการสร้างเขื่อนดิน อาจพิจารณาจากจำนวนเที่ยวของการบดอัดเพื่อให้ได้ความหนาแน่นตามที่ต้องการ ที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยสามารถหาได้จากการทดสอบด้วยวิธีนี้

ดินจะถูกผสมกับน้ำด้วยปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีการฉีดน้ำเข้าไปในดินที่มีความหนาแน่นปกติ 15-22.5 ซม. ส่วนจำนวนเที่ยวของการบดอัดด้วยเครื่องจักรบดอัดนั้นถูกกำหนดด้วยความหนาแน่นของดินที่ได้จากการทดสอบในสนามหลังจากการบดอัดเสร็จสิ้น โดยจะทดสอบทุกความหนาที่แตกต่างกันของชั้นดินบดอัด

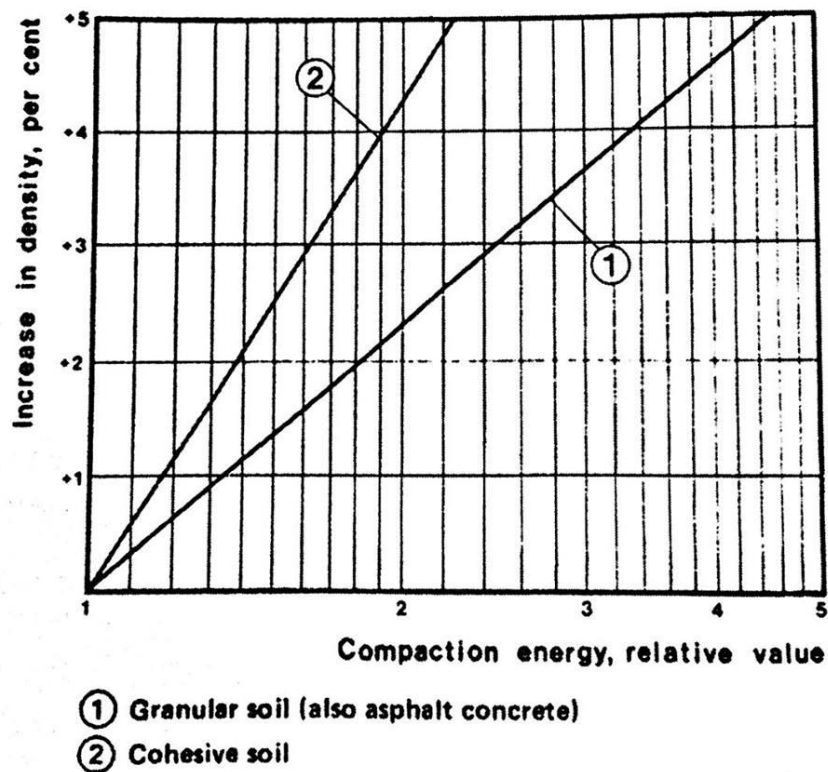
สำหรับดินที่มีความเชื่อมหนาแน่น ความหนาแน่นที่ต้องการคือ 95% ของค่าบดอัดแบบมาตรฐาน ปกติจะเลือกรถบดอัดแบบตีนแกะเป็นเครื่องจักรในการบดอัด ถ้าต้องการความหนาแน่นที่สูงขึ้นต้องใช้ความหนาแน่นที่ 95% ของค่าการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน หากต้องการใช้รถบดอัดแบบล้อยาง น้ำหนักของล้อที่เหมาะสมคือ 100 kN และแรงดันล้อ 600 kN/m² จึงจะได้ประสิทธิภาพที่ดี

สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น รถบดแบบสันสะเทือนเป็นเครื่องจักรที่ให้ประสิทธิภาพได้ดี โดยสามารถให้ความหนาแน่นได้สูงถึง 100% ของค่าการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ถ้าต้องการให้ความหนาแน่นเกิน 100% ค่าการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ในกรณีพื้นทางสนามบินที่ถูกใช้งานหนักและเส้นทางขนาดใหญ่ สำหรับรถบดล้อยางต้องใช้น้ำหนักล้อ 130 kN หรือสูงกว่า และแรงดันล้อ 1,000 kN/m² โดยจะทำให้ได้ความหนาแน่นสูงถึง 103-104% ของค่าการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ถ้าหากหลังจากบดอัดไปแล้วไม่ได้ความหนาแน่นตามข้อกำหนด ต้องเพิ่มพลังงานงานในการบดอัดให้มากขึ้น โดยสามารถกระทำได้ดังนี้

- 1) เพิ่มจำนวนเที่ยวของการบดอัด
- 2) ลดความเร็วขับเคลื่อนของเครื่องจักร
- 3) ลดความหนาแน่นของชั้นดินบดอัด

ทั้ง 3 ตัวแปรนี้จะส่งผลต่อพลังงานในการบดอัด เมื่อพลังงานในการบดอัดเพิ่มขึ้น ระดับการบดอัด (Degree of Compactions) สามารถหาได้จากรูป 2.13 ความเหมาะสมในการเพิ่มพลังงานในการบดอัด โดยการปรับตัวแปรใดตัวหนึ่งหรือทั้งหมดนั้น ต้องพิจารณาในแต่ละกรณีไป ซึ่งปกติมักพิจารณาปริมาณงานที่ทำได้มากที่สุดในช่วงหนึ่งชั่วโมงของเครื่องจักรเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นและพลังงานที่ต้องการ
(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

2.6 ประเภทเครื่องมืออัดดินในสนาม

การบดอัดดินแต่ละชนิดให้ค่าความหนาแน่นตามข้อกำหนด จะต้องใช้เครื่องจักร ทำการบดอัด เครื่องจักรแต่ละชนิดจะต้องมีความเหมาะสมสำหรับบดอัดดินแต่ละชนิดดังสรุปไว้ในตาราง 2.3 ซึ่งสามารถแบ่งเครื่องจักรบดอัดออกได้เป็น 3 ประเภทหลักดังนี้

- 2.6.1 ประเภทบดไปมา (Rollers) เช่น รถบดล้อเหล็ก (Steel Roller) รถบดล้อยาง (Pneumatic Roller) รถบดตีนแกะ (Sheepsfoot Roller)
- 2.6.2 ประเภทสั่นสะเทือนหรือเขย่า (Vibrators) เช่น รถบดสั่นสะเทือนแบบบดไปมา (Vibrator Roller) เครื่องสั่นแบบแผ่นแบน (Vibrating Plate Compactor) เครื่องสั่นแบบกระแทก (Vibrotamper)
- 2.6.3 ประเภททุบ (Rammers) เช่น สองเกลด สามเกลด (Weight Dropping Rammer) กบกระโดด หรือเครื่องทุบที่ใช้กำลังจากเครื่องเครื่องหรือลม (Power Rammer)

ตารางที่ 2.3 เครื่องจักรบดอัดดินในสนาม

เครื่องจักร	เหมาะสำหรับดิน
รถบดตีนแกะ (Sheepsfoot Roller)	ดินเม็ดละเอียด ดินเม็ดหยาบปนเม็ดละเอียด
รถบดล้อยาง (Pneumatic Roller)	ดินเม็ดหยาบ ดินเม็ดละเอียด
รถบดล้อเหล็กผิวเรียบ (Smooth Steel Roller)	ทราย - กรวดผสมที่มีความคละกัันดี
รถบดล้อเหล็กสั่นสะเทือน (Vibrator Roller)	ดินเม็ดหยาบ
เครื่องบดอัดขนาดเล็ก	บดอัดดินในสถานที่คับแคบ

ที่มา : วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา 2549. ปรุพีทกลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี

ตารางที่ 2.4 แสดงเครื่องมือและวิธีการบดอัด

ชนิดของ เครื่องมือ	การ ประยุกต์ใช้	ความหนาแน่นสูงสุด 95 ถึง 100% ด้วยวิธีมาตรฐาน			ความ แปรปรวนของ เครื่องมือ
		ความหนา ใน การบดอัด	จำนวน เที่ยวใน การบดอัด	มิติและน้ำหนัก ของเครื่องมือ	
เครื่องบด อัด ชนิด แผ่น สั่นสะเทือน	สำหรับดินเม็ด หยาบที่มี เปอร์เซ็นต์ผ่าน ตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 12% โดยเฉลี่ย ให้มีความชื้น สม่ำเสมอ	8 นิ้วถึง 10 นิ้ว	3 เที่ยว	แผ่นบดอัดมี น้ำหนักไม่น้อยกว่า 200 ปอนด์ หรือ อาจใช้เครื่องจักร ถ้ามีพื้นที่บดอัด เพียงพอสำหรับ มวลเม็ดหยาบ สะอาดความถี่ใน การบดอัดไม่ควร น้อยกว่า 1,600 รอบต่อนาที	อาจเป็นสาม เกลียวหรือหก กระโดดที่มี ความกว้าง 1.5 ฟุต - 12 ฟุต แต่ในพื้นที่ กว้างควรใช้รถ บด
รถ แทรกเตอร์ (การบดไป มา)	ใช้ได้ดีในดิน เม็ดหยาบที่มี เปอร์เซ็นต์ผ่าน ตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 4 ถึง 8% โดย เฉลี่ยให้มีความ ชื้น สม่ำเสมอ	10 นิ้วถึง 12 นิ้ว	3 ถึง 4 เที่ยว	ขนาดต้องไม่น้อย กว่า D8 พร้อม ใบมีด น้ำหนัก 34,500 ปอนด์ สำหรับการบดอัดที่ ต้องการความ หนาแน่นสูง	รถแทรกเตอร์ น้ำหนักถึง 60,000 ปอนด์

ที่มา : <http://krumanit.cmtc.ac.th/main/images/stories/6.pdf>

การเลือกใช้เครื่องจักรเครื่องมือชนิดไหนให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลากหลาย เช่น ลักษณะงาน ชนิดของดิน สภาพบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง ข้อกำหนด คุณภาพดินบดอัดที่ต้องการ

เครื่องจักรประเภทบดอัดไปมานั้น จะเหมาะกับงานก่อสร้างที่มีบริเวณสร้างและยาว เช่น ถนน สนามบิน เขื่อนดิน เป็นต้น เพราะสามารถบดอัดได้รวดเร็วและให้พลังงานการบดอัดสูง สามารถบดอัดอัดได้ปริมาณมาก เครื่องจักรเหล่านี้มีทั้งชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองและต้องลากจูงโดยแทรกเตอร์

โดยทั่วไปรถบดดินแกละจะเหมาะกับดินพวกเม็ดละเอียด (Fines) ที่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินเหนียว ปนดินตะกอน (Silty Soil) และดินเหนียว (Clayey Soil) รถบดล้ออย่างเหมาะกับทั้งดินพวกกรวด-ทราย (Granular Material) ที่ที่ดินเม็ดละเอียดปนอยู่บ้างเล็กน้อย และพวกดินเหนียว ดินเหนียวปนดินตะกอน รถบดล้อเหล็กเหมาะกับงานพื้นที่และงานปรับพื้นผิวให้เรียบ

เครื่องจักรประเภทสันสะเทือนจะเหมาะกับดินพวกที่ไม่มีความเชื่อมแน่น เช่น กรวด ทราย ถ้าเป็นบริเวณกว้าง ยาว ใช้รถบดอัดแบบสันสะเทือนบดไปมา ถ้าเป็นบริเวณที่ไม่กว้างมากมั่ง หรือบริเวณใกล้ชิดกับอาคารคอนกรีต ใช้เครื่องสันแบบแผ่นแบนหรือแบบกระแทก

ส่วนบริเวณพื้นที่แคบ ๆ และจำกัดซึ่งเครื่องจักรเครื่องมืออื่นไม่สามารถทำงานได้บริเวณรอบ ๆ หรือชิดติดอาคาร ก็ต้องใช้เครื่องมือประเภทกระทุ้ง เช่น สองเกลอ สามเกลอ หรือกบกระโดด เป็นต้น

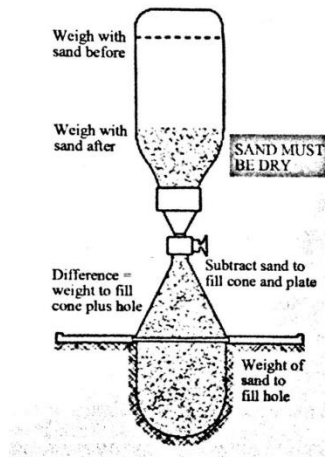
การเลือกใช้เครื่องมือทั้งการบดอัด ที่ถูกต้องเหมาะสม จะทำการบดอัดดินเป็นไปอย่าง รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 2.4

2.7 การหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม

ในการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ

2.7.1 การทดสอบแบบทำลายโครงสร้าง (Destructive Method)

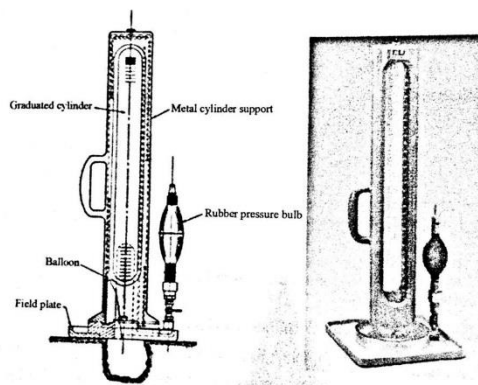
2.7.1.1 การทดสอบแบบใช้กรวยทราย (Sand Cone Method) วิธีนี้อาศัยทรายช่วยในการหาปริมาตรของหลุมโดยทรายที่ใช้คือ ทรายอ็อตตาวา (Ottawa Sand) ซึ่งขนาดของเม็ดทรายจะมีลักษณะกลมและมีขนาดเท่า ๆ กันหรือจะใช้ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างตะแกรงเบอร์ 30 ก็ได้ เพื่อที่จะให้ผลของความหนาแน่นที่ เท่ากันโดยตลอดและไม่เกิดการแยกตัวของเม็ดหยาบและเม็ดเล็กขณะทำการทดสอบ



รูปที่ 2.14 การทดสอบแบบใช้กรวยทราย (Sand Cone Method)

(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

2.7.1.2 การทดสอบแบบใช้ลูกโป่งยาง (Rubber Balloon Method) วิธีนี้ใช้น้ำช่วยในการหาปริมาณของหลุม ซึ่งสะดวกและ รวดเร็วกว่าวิธีแรก ในการทดสอบต้องอาศัยลมจากลูกบอลบีบอัดลงไปตรงส่วนบนของผิวน้ำในหลอดแก้วของเครื่องมือเพื่อทำให้น้ำในหลอดแก้วถูกดันออกไปในลูกโป่งยางและไหลลงไปหลุมทดสอบที่ขุดเอาไว้ใต้แผ่นรองลมที่อัดลงไปนี้มีส่วนช่วยให้น้ำในลูกโป่งยางอับแนบสนิทกับกันหลุม ทำให้ได้ค่าปริมาตรของหลุมที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น ทั้งสองวิธีนี้ต่างก็อาศัยหลักอันเดียวกัน คือ ชั้นแรกจะต้องขุดดินบริเวณที่จะทำการทดสอบให้เป็นหลุม เล็ก ๆ และนำดินที่ขุดออกมาทั้งหมดไป ชั่งหาน้ำหนัก หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและหาปริมาตรของหลุมที่ขุดดินออกมาเพื่อที่จะให้ได้ผลการ ทดลองที่ถูกต้องเหมาะสมตามความต้องการปริมาตรของหลุมที่เจาะทดลองและตัวอย่างดินที่เก็บไป หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะต้องขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินดังนี้



รูปที่ 2.15 การทดสอบแบบใช้ลูกโป่งยาง (Rubber Balloon Method)

(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

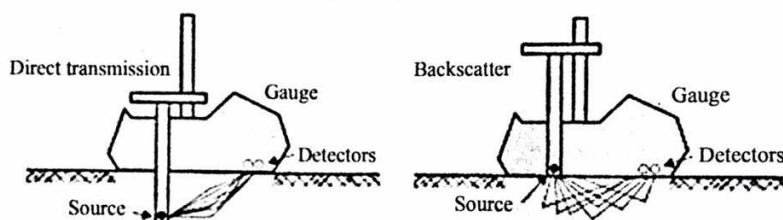
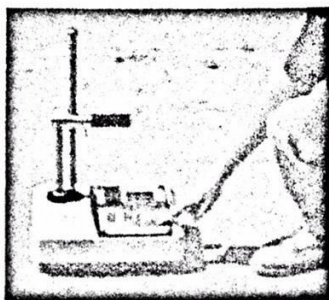
ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณดินที่เก็บไปหาปริมาณความชื้นต่อขนาดเม็ดดินและปริมาตรของหลุม

ขนาดใหญ่ที่สุดของเม็ดดิน	ปริมาตรของหลุมอย่างน้อย(ฟ ³ .)	น้ำหนักของดินอย่างน้อย(กรัม)
No.4	0.025	100
½ นิ้ว	0.050	250
1 นิ้ว	0.075	500
2 นิ้ว	0.100	1000

ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ

2.7.2 การทดสอบแบบไม่ทำลายโครงสร้าง (Nondestructive Method)

2.7.2.1 การทดสอบแบบนิวเคลียร์ (Nuclear Density Method) วิธีนี้เป็นการหาค่าความหนาแน่นของดินและปริมาณความชื้นของดินบดอัดแน่น หาค่าความหนาแน่นเปียกของดินโดยใช้รังสีแกมมา (Gamma Ray) ส่งผ่านดินที่ต้องการ ก่อนที่จะไปหาเครื่องรับรังสี ถ้ารังสีสะท้อนกลับไปเครื่องรับมาก แสดงว่าดินมีความหนาแน่นสูง ส่วนการหาปริมาณความชื้นใช้นิวตรอน (Neutron) ส่งผ่านเข้าไปในดินและสะท้อนไปยังเครื่องรับอนุภาคของนิวตรอนจะไปชนกับอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำ ถ้านิวตรอนสะท้อนกลับเข้าเครื่องรับจะแสดงว่าปริมาณน้ำในมวลดินมีมาก วิธีนี้จะสะดวกและรวดเร็วให้ผลเป็นที่น่าพอใจแต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง

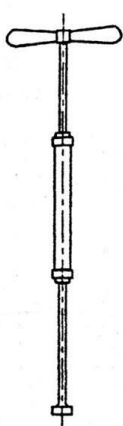


รูปที่ 2.16 การทดสอบแบบนิวเคลียร์ (Nuclear Density Method)

(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

2.7.2.2 การทดสอบแบบใช้เครื่องมือแทงเหล็กกดดิน (Proctor Needle Method) วิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งซึ่งได้จากการพัฒนาให้สามารถหาค่าปริมาณความชื้นของดินได้อย่างรวดเร็ว ประกอบด้วยแทงกดดินซึ่งยึดติดกับสปริงแทนน้ำหนัก ส่วนการเหล็กที่ใช้กดเป็นตัวปรับค่าที่ใช้ปรับค่าในการอ่านแรงต้านทานการกดของแทงเหล็ก แทงเหล็กจะถูกรองรับด้วยพื้นผิวต้านทานการกด ซึ่งมีหลายขนาด ได้แก่ 0.05 0.10 0.25 0.5 และ 1 นิ้ว

ซึ่งแต่ละวิธีก็เหมาะสมกับชนิดของงานในแต่ละงาน ซึ่งในโครงการ นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีที่ นิยมกันแพร่หลายคือวิธีการทดสอบแบบใช้กรวยทราย (Sand Cone Method) เท่านั้น



รูปที่ 2.17 เครื่องมือทดสอบแบบใช้เครื่องมือแทงเหล็กกดดิน (Proctor Needle Method) และ การทดสอบแบบใช้เครื่องมือแทงเหล็กกดดินในห้องปฏิบัติการ
(ที่มา : ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ 2554. ปฐพีกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

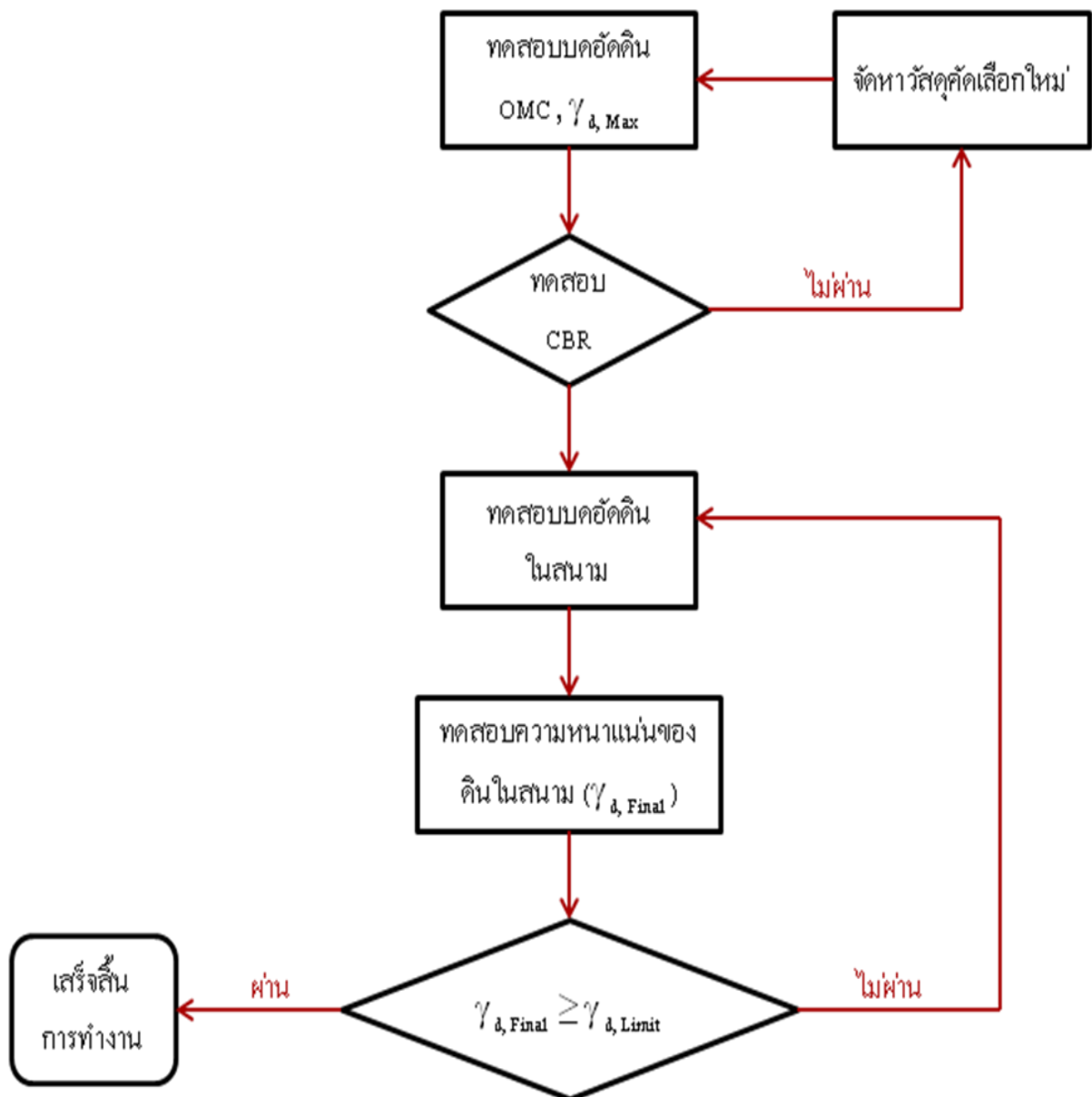
2.8 การควบคุมการบดอัดในสนาม (Field Control of Compactions)

การบดอัดดินในสนามจะได้ความหนาแน่นตามต้องการหรือไม่นั้นต้องอาศัยการคัดเลือกวัสดุบดอัดให้ได้มาตรฐาน และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของวัสดุนั้น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววิศวกรสนามเป็นผู้ตรวจสอบค่าความหนาแน่นโดยพิจารณาจากผลการทดสอบดังนี้

- 1) พิจารณาจากการวัดค่าความหนาแน่นแห้ง
- 2) พิจารณาจากการวัดปริมาณความชื้น

เมื่อพิจารณาขั้นตอนในการทำงานก่อสร้างคันดินถมหรือถนน สามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่

2.18



รูปที่ 2.18 แผนผังขั้นตอนการก่อสร้างดินคันทางหรือถนน
(ที่มา : ชูศักดิ์ คีรีรัตน์ 2554. ปรุพีทกลศาสตร์. ท้อป. กรุงเทพฯ)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

การทดสอบความหนาแน่นของดินในสนาม วิศวกรสนามไม่สะดวกนำเครื่องอบแห้งดินไปในสนามเพื่อหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินซึ่งนำไปสู่การหาความหนาแน่นของดินในสนามได้ โดยความหนาแน่น คือ น้ำหนักต่อปริมาตร งานวิจัยเปรียบเทียบกับเฉพาะน้ำหนัก เพราะปริมาตรของดินจากการอบและปริมาณดินจากการคั่วร้อนมีค่าเท่ากัน ในทางปฏิบัติจึงใช้วิธีหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินซึ่งนำไปสู่การหาความหนาแน่นแห้งดินในสนามโดยการให้ความร้อนโดยตรงแทนซึ่งมีมาตรฐาน ASMT D 4959-89 กำหนดเป็นแนวทางปฏิบัติ แต่การคั่วร้อนที่ไฟแรงไปอาจทำให้ดินไหม้จนปริมาณความชื้นผิติดเกินไป หรือ การคั่วร้อนที่ใช้ไฟอ่อนอาจทำให้ดินที่ทดสอบมีความชื้นมากกว่าความจริง ปริมาณความชื้นที่ได้แตกต่างจากการอบแห้งดินในห้องปฏิบัติการ อาจส่งผลให้จำนวนเที่ยวในการบดอัดของเครื่องจักรมากขึ้น การสิ้นเปลืองงบประมาณและเสียเวลามากขึ้น

3.1 เครื่องมืออุปกรณ์

3.1.1 การทดสอบหาขนาดมวลคละของดิน (Sieve Analysis)

- ก. ดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ดินทราย (ดินเม็ดหยาบ) ดินลูกรัง (ดินเม็ดหยาบ) ดินเหนียว (ดินเม็ดละเอียด) ชนิดละประมาณ 500 กรัม
- ข. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.10 กรัม ถึง 10 กิโลกรัม
- ค. เครื่องเขย่าตะแกรงโลหะ
- ง. ตะแกรงโลหะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. เบอร์ 3/8" , 4 , 10 , 20 , 40 , 100 , 200 และ ถาดรองตะแกรง พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง
- จ. แปรงลวดทองเหลือง แปรงพลาสติก และแปรงขน สำหรับทำความสะอาดตะแกรง



รูปที่ 3.1 แสดงตะแกรงโลหะขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 3.2 เครื่องเขย่าตะแกรงโลหะ

3.1.2 การทดสอบหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดิน

- ก. ดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ดินทราย(ดินเม็ดหยาบ) ดินลูกรัง(ดินเม็ดหยาบ) ดินเหนียว(ดินเม็ดละเอียด) ชนิดละประมาณ 6 กิโลกรัม
- ข. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.10 กรัม ถึง 10 กิโลกรัม
- ค. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 105 ± 5 องศาเซลเซียส
- ง. เตาแก๊สพร้อมกระทะ สำหรับการคั่วร้อนดิน
- จ. กระจกใสตัวอย่างดิน
- ฉ. ภาตใส่ดิน

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การทดสอบหาขนาดมวลคละของดิน (Sieve Analysis)

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ ASTM D 422 Standard Test Method of Particle Size Analysis of Soils

- ก. ทำความสะอาดตะแกรงทั้งหมดด้วยแปรงทำความสะอาดแล้วทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่เบอร์บันทึกค่า
- ข. นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีขนาดช่องใหญ่อยู่บน แล้วเรียงขนาดเล็ก ตามลำดับดังนี้ เบอร์ 3/8" 4 10 20 40 100 200 และ Pan
- ค. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้เทใส่ลงบนตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า ใช้เวลา ในการเขย่าอย่างน้อย 10 นาที แล้วนำตะแกรงแต่ละอันไปชั่งน้ำหนักจะได้ น้ำหนักตะแกรงรวมกับดินที่ค้างบนตะแกรง

3.2.2 การทดสอบหาน้ำหนักน้ำในมวลดินจากการอบดิน

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ ASTM D 1556-00 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method

- ก. นำภาตแต่ละภาตไปชั่ง แล้วจดบันทึกค่า
- ข. นำดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมไว้ ประมาณ 500.0 กรัมใส่ภาตนำไปอบในเตาอบ ใช้เวลาอบ 24 ชั่วโมง
- ค. จดค่าที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 นำดินตัวอย่างเตรียมไว้ใส่ถาดนำไปอบในเตาอบ

ตารางที่ 3.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในดินจากการอบ

ชนิดของดิน	ดินทราย	ดินเหนียว	ดินลูกรัง
น้ำหนักดินก่อนอบ (กรัม)			
น้ำหนักดินหลังอบ (กรัม)			
น้ำหนักดินน้ำ (กรัม)			
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ (%)			

3.2.3 การทดลองหาน้ำหนักน้ำในมวลดินจากการให้ความร้อนโดยตรง

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ ASMT D 4959-89 Standard Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil By Direct Heating Method

- ก. นำกระชวยไปชั่ง แล้วจดบันทึกค่า
- ข. นำดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ ประมาณ 500.0 กรัมไปใส่กระชวยนำไปคั่วร้อนเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปชั่ง จะได้น้ำหนักดินกับกระชวย นำดินไปคั่วต่ออีก 5 นาที (รวมเวลา 10 นาที) แล้วนำไปชั่ง จดบันทึกค่า ทำซ้ำจนได้เวลารวม 60 นาที
- ค. ทำซ้ำข้อ ก. เป็นจำนวน 10 ครั้งของดินแต่ละชนิด
- ง. นำค่ามาพล็อตกราฟ แล้วนำค่าน้ำหนักน้ำในดินจากการคั่วร้อน มาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักดินจากการอบ



รูปที่ 3.4 นำดินตัวอย่างเตรียมไว้ใส่กระทะแล้วคั่วร้อน

3.3 ขั้นตอนการคำนวณที่ได้จากผลการทดลอง

3.3.1 คำนวณหาน้ำหนักของดินแห้ง

$$W_3 = W_1 - W_2 \quad (3.1)$$

เมื่อ W_3 = น้ำหนักของดินแห้งหน่วยเป็นกรัม

W_1 = น้ำหนักของดินแห้ง + น้ำหนักกระทะมีหน่วยเป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของกระทะมีหน่วยเป็นกรัม

3.3.2 คำนวณหาน้ำหนักน้ำในมวลดิน

$$W_4 = W_5 - W_6 \quad (3.2)$$

เมื่อ W_4 = น้ำหนักของน้ำในดินมีหน่วยเป็นกรัม

W_5 = น้ำหนักของดิน + น้ำหนักกระทะก่อนคั่วมีหน่วยเป็นกรัม

W_6 = น้ำหนักของดิน + น้ำหนักกระทะหลังคั่วมีหน่วยเป็นกรัม

3.3.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ} = \frac{W_4}{W_3} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ W_3 = น้ำหนักของดินแห้งหน่วยเป็นกรัม

W_4 = น้ำหนักของน้ำในดินมีหน่วยเป็นกรัม

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากตัวอย่างดินบดอัดทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ดินทราย(ดินเม็ดหยาบ) ดินลูกรัง(ดินเม็ดหยาบ) ดินเหนียว (ดินเม็ดละเอียด) ที่นำมาทดลองในครั้งนี้ จะได้ผลจากการจำแนกประเภทดิน น้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองหาขนาดมวลละเอียดของดิน (Sieve Analysis)

การหาขนาดของเม็ดดินโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง จะใช้ตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิด แตกต่างกันไป สำหรับเบอร์ตะแกรงที่นิยมใช้กันก็คือขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4 10 20 40 100 และ 200 โดยเบอร์ตะแกรงที่จะขาดไม่ได้ก็คือ เบอร์ 4 และ 200 ซึ่งตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุดจะอยู่ด้านบนและไล่ตามลำดับลงมา ดินหรือหินที่เล็กกว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะหล่นลงมาในชั้นต่อไป ดินที่ใหญ่กว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะค้างอยู่บนตะแกรง แต่ก็ไม่แน่เสมอไปเพราะว่าตะแกรงนั้นไม่สามารถแบ่งแยกความแบนความยาวได้ บางครั้งหินหรือดินเม็ดเล็ก แต่มีความยาวกว่าขนาดของตะแกรงก็สามารถค้างอยู่บนตะแกรงนั้นได้ การหาขนาดและการกระจายของเม็ดดินอาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลาย คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

4.1.1 ดินทราย

จากการนำดินทรายไปทดลองด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เพื่อจำแนกประเภทดิน ผลการทดลองปรากฏว่า ดินทรายผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 50% พิจารณาว่าเป็นดินเม็ดหยาบ เพราะไม่มีเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เลย จัดเป็นดินประเภทกลุ่ม G หรือ S และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า 50% ของดินส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ จึงเป็นทรายเพราะขนาดที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 มีเท่ากับ 67.24 % มีค่า $C_u = 2.60$ (น้อยกว่า 6) $C_c = 1.12$ (1 ถึง 3) แสดงถึงการกระจายของเม็ดดินที่คละกันดี ดังนั้นดินทรายนี้เป็นดินประเภท SW (ทรายที่คละกันดี) ดังตารางที่ 4.1 ประเภทของดินทรายจากการจำแนกด้วย ตะแกรงร่อน

ตารางที่ 4.1 ประเภทของดินทรายจากการจำแนกด้วยตะแกรงร่อน

การพิจารณา	ลักษณะดิน
1. เปอร์เซ็นต์ดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200	เป็นดินหยาบ G หรือ S มีปริมาณดินผ่านตะแกรง 0.00 % (น้อยกว่า 50 %)
2. เปอร์เซ็นต์ดินผ่านตะแกรงเบอร์ 4	เป็นดินทราย S มีปริมาณดินผ่านตะแกรงสะสม 67.24 % (มากกว่า 50 % ของดินส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ)
3. การกระจายของเม็ดดิน	การกระจายของเม็ดดินคละกันดี W $C_u = 2.60$ (น้อยกว่า 6) $C_c = 1.12$ (1 ถึง 3)
4. สรุปลินทรายเป็นดินประเภท	SW

4.1.2 ดินลูกรัง

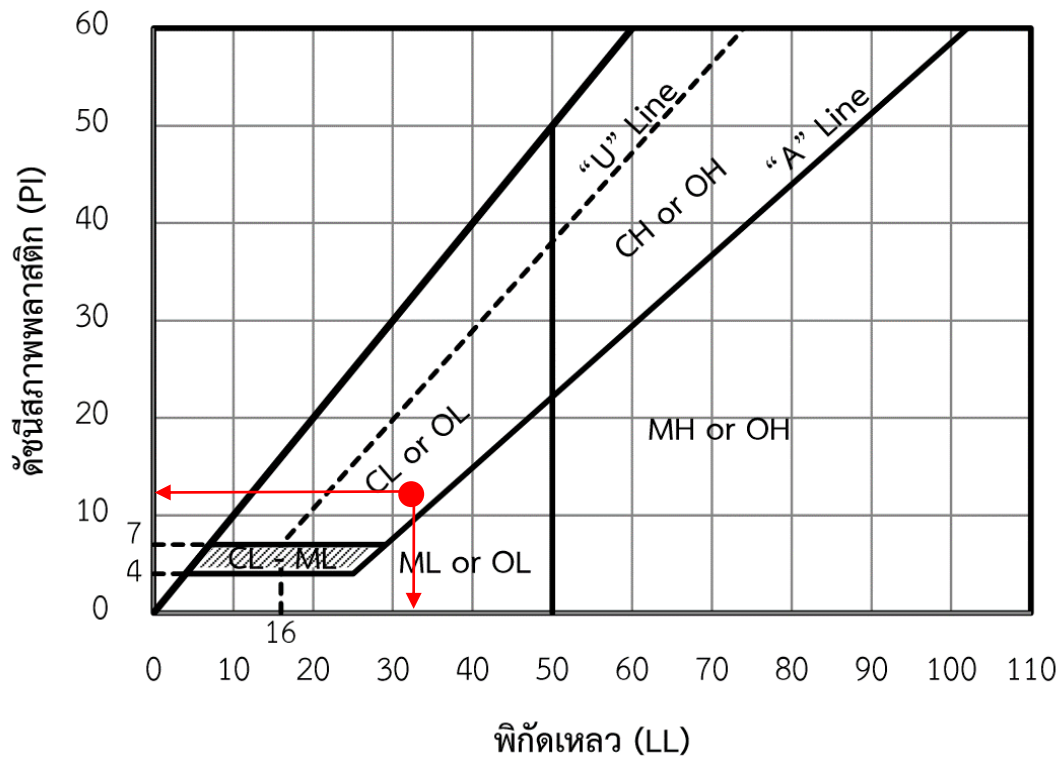
จากการนำดินลูกรังไปทดลองด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เพื่อจำแนกประเภทดิน ผลการทดลองปรากฏว่า ดินลูกรังผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 50% พิจารณาว่าเป็นดินเม็ดหยาบ เพราะมีขนาดเม็ดดินที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 20 เท่ากับ 0.17% จัดเป็นดินประเภทกลุ่ม G หรือ S และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่า 50% ของดินส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ เป็นกรวดเพราะมีเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มีเท่ากับ 41.90 % มีค่า $C_u = 10.13$ (มากกว่า 6) , $C_c = 2.73$ (1 ถึง 3) แสดงถึงการกระจายของเม็ดดินที่คละกันไม่ดี ดังนั้นดินทรายนี้นี้เป็นดินประเภท GS (กรวดที่คละกันไม่ดี) ดังตารางที่ 4.2 ประเภทของดินลูกรังจากการจำแนกด้วยตะแกรงร่อน

ตารางที่ 4.2 ประเภทของดินลูกรังจากการจำแนกด้วยตะแกรงร่อน

การพิจารณา	ลักษณะดิน
1. เปอร์เซ็นต์ดินค้ำตะแกรงเบอร์ 200	เป็นดินหยาบ G หรือ S มีปริมาณดินผ่านตะแกรง 0.17 % (น้อยกว่า 50 %)
2. เปอร์เซ็นต์ดินค้ำตะแกรงเบอร์ 4	เป็นกรวด G มีปริมาณดินผ่านตะแกรงสะสม 41.90 % (น้อยกว่า 50 %ของดินส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ)
3. การกระจายของเม็ดดิน	การกระจายของเม็ดดินคละไม่กั้นดี P $C_u = 10.13$ (มากกว่า 6) $C_c = 2.73$ (1 ถึง 3)
4. สรุปลูกรังเป็นดินประเภท	GP

4.1.3 ดินเหนียว

จากการนำดินเหนียวไปทดลองด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เพื่อจำแนกประเภทดิน ผลการทดลองปรากฏว่า ดินเหนียวผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50% พิจารณาว่าเป็นดินเม็ดละเอียด เพราะขนาดเม็ดดินที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 มีถึง 63.09% จัดเป็นดินประเภทกลุ่ม M หรือ C เป็นดินตะกอนทรายและดินเหนียวเพราะมีเม็ดดินขนาดที่เล็กผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีเท่ากับ 63.09 % มีค่าของ Liquid Limit (LL.) ต่ำเพราะมีค่า LL.= 36.51% น้อยกว่า 50% ทำให้ได้ค่า Plasticity Index (PI.) เท่ากับ 12.89% จะอยู่เหนือเส้น A-line ของ Plasticity Chart ดังรูปที่ 4.1 ดังนั้นดินเหนียวนี้เป็นดินประเภท CL (ดินเหนียวที่มีขีดความเหนียวต่ำ) ดังตารางที่ 4.3 ประเภทของดินเหนียวจากการจำแนกด้วยตะแกรงร่อน



รูปที่ 4.1 Plasticity Chart

(ที่มา: <http://nfile.snru.ac.th/download.aspx.pdf>)

ตารางที่ 4.3 ประเภทของดินเหนียวจากการจำแนกด้วยตะแกรงร่อน

การพิจารณา	ลักษณะดิน
1. เปอร์เซ็นต์ดินค้ำตะแกรงเบอร์ 200	เป็นดินละเอียด M หรือ C มีปริมาณดินผ่านตะแกรง 63.09 % (มากกว่า 50 %)
2. Liquid Limit ของดิน	Liquid Limit ต่ำ L.L. = 36.51 % น้อยกว่า 50 %
3. ตำแหน่งใน Plasticity Chart	อยู่เหนือเส้น A-line ของ Plasticity Chart L.L. = 36.51 % และ P.I. = 12.89 %
4. สรุปลักษณะดินเหนียวเป็นดินประเภท	CL

4.2 ผลการทดลองน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินจากการอบดิน

จากการทดลองการอบดินนี้ทำตามมาตรฐาน ASTM D 1556-00 ซึ่งเป็นวิธีปกติทั่วไปที่ใช้หาปริมาณความชื้นในดิน โดยการนำดินไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิในการอบ 105 ± 5 องศาเซลเซียส ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักดินแห้งของดินจากการอบ

ชนิดของดิน	ดินทราย	ดินเหนียว	ดินลูกรัง
น้ำหนักภาค (กรัม)	356.1	356.9	356.1
น้ำหนักดินก่อนอบ (กรัม)	500.0	500.1	506.0
น้ำหนักดินก่อนอบ+ภาค (กรัม)	814.6	857.0	815.6
น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	458.5	370.3	459.5

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในดินจากการอบ

ชนิดของดิน	ดินทราย	ดินเหนียว	ดินลูกรัง
น้ำหนักดินก่อนอบ (กรัม)	500.0	500.1	506.0
น้ำหนักดินหลังอบ (กรัม)	458.5	370.3	459.5
ปริมาณน้ำในมวลดิน (กรัม)	41.5	129.8	46.5
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ (%)	9.05	35.05	10.12

4.3 ผลการทดลองหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินจากการให้ความร้อนโดยตรงของดินเม็ดหยาบ

4.3.1 ดินทราย

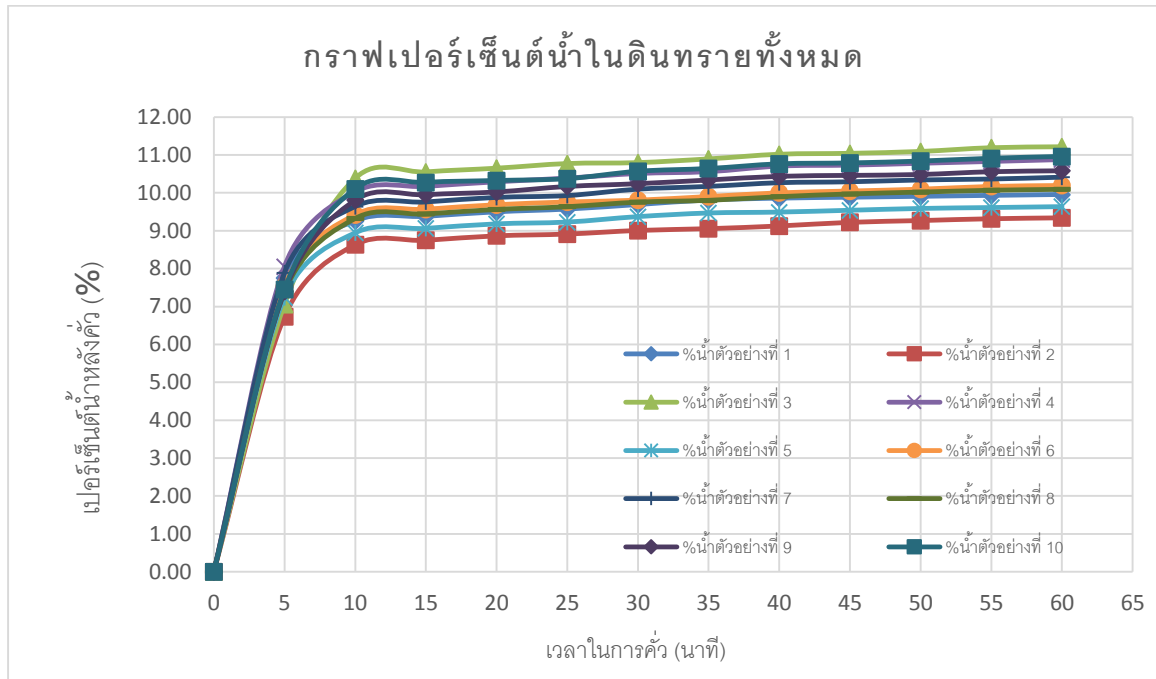
จากการทดลองนำดินทราย 10 ตัวอย่าง น้ำหนักเฉลี่ยตัวอย่างละ 500.48 กรัม อุณหภูมิในการให้ความร้อนโดยตรงเฉลี่ย 145.1 องศาเซลเซียส ผลที่ได้คือ ในการคั่ว 5 นาที เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำจากการให้ความร้อนโดยตรงยังต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำจากการอบ แต่ที่ 10 นาที เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำจากการคั่วจะใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำจากการอบ คือมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำเฉลี่ย 8.54 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักดินแห้งเฉลี่ย 456.84 กรัม เมื่อคั่วถึง 15 นาทีขึ้นไปดินหนักดินแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำเริ่มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายทั้งหมด และรูปที่ 4.3 กราฟน้ำหนักดินแห้งในดินทรายทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าหลังจากคั่วร้อน 10 นาทีขึ้นไปปริมาณน้ำที่ได้เพิ่มขึ้นไม่มาก (เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ) ดังนั้นดินทรายควรให้ความร้อนโดยตรงเพียง 10 นาที

4.3.2 ดินลูกรัง

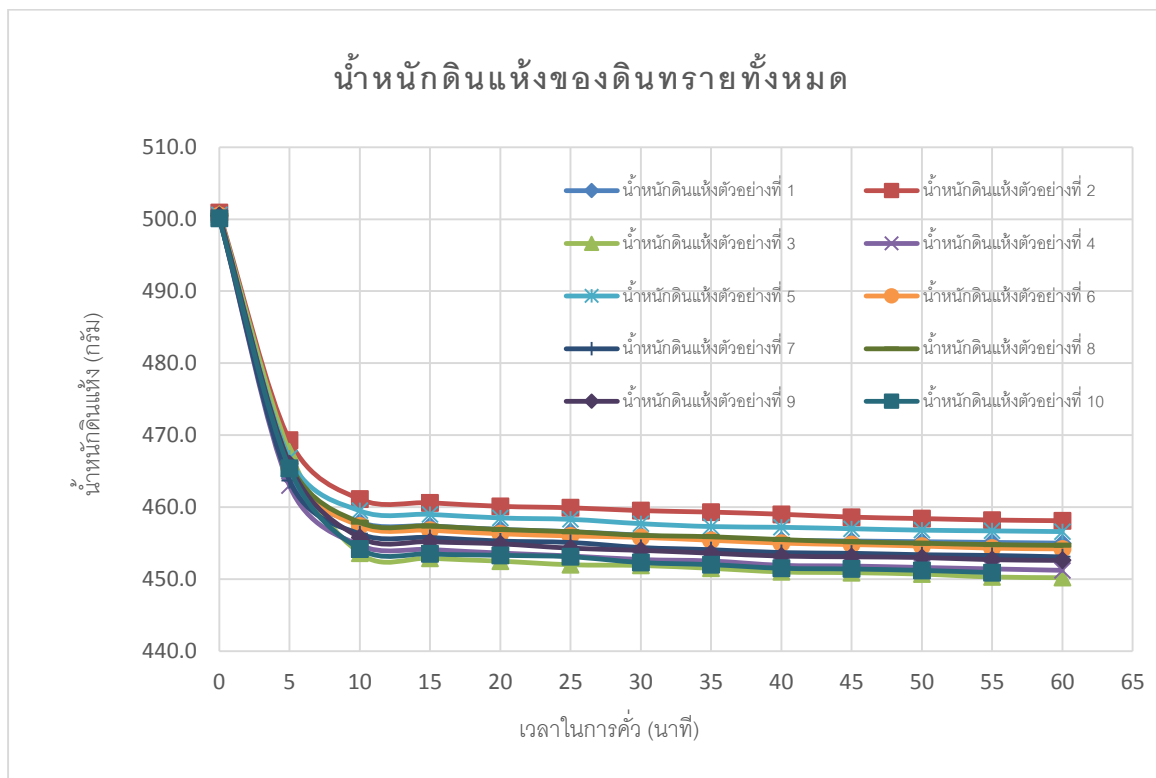
จากการทดลองนำดินลูกรัง 10 ตัวอย่าง น้ำหนักเฉลี่ยตัวอย่างละ 501.85 กรัม อุณหภูมิในการให้ความร้อนโดยตรงเฉลี่ย 138.3 องศาเซลเซียส ผลที่ได้คือ ในการคั่ว 10 นาที สีส้มอำเสมอกัน และเมื่อคั่ว 10-15 นาที เปอร์เซ็นต์น้ำจากการให้ความร้อนโดยตรงจะใกล้เคียงกับน้ำหนักน้ำจากการอบ คือมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำเฉลี่ย 10.52 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักดินแห้งเฉลี่ย 454.15 กรัม เมื่อคั่วถึง 20 นาทีขึ้นไปดินหนักดินแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำเริ่มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังทั้งหมด และรูปที่ 4.5 กราฟน้ำหนักดินแห้งในดินลูกรังทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าหลังจากคั่วร้อน 10-15 นาทีขึ้นไปปริมาณน้ำที่ได้เพิ่มขึ้นไม่มาก (เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ) ดังนั้นดินลูกรังควรให้ความร้อนโดยตรงเพียง 10-15 นาที

4.4 ผลการทดลองหาน้ำหนักดินแห้งและปริมาณน้ำในมวลดินจากการให้ความร้อนโดยตรงของดินเม็ดละเอียด

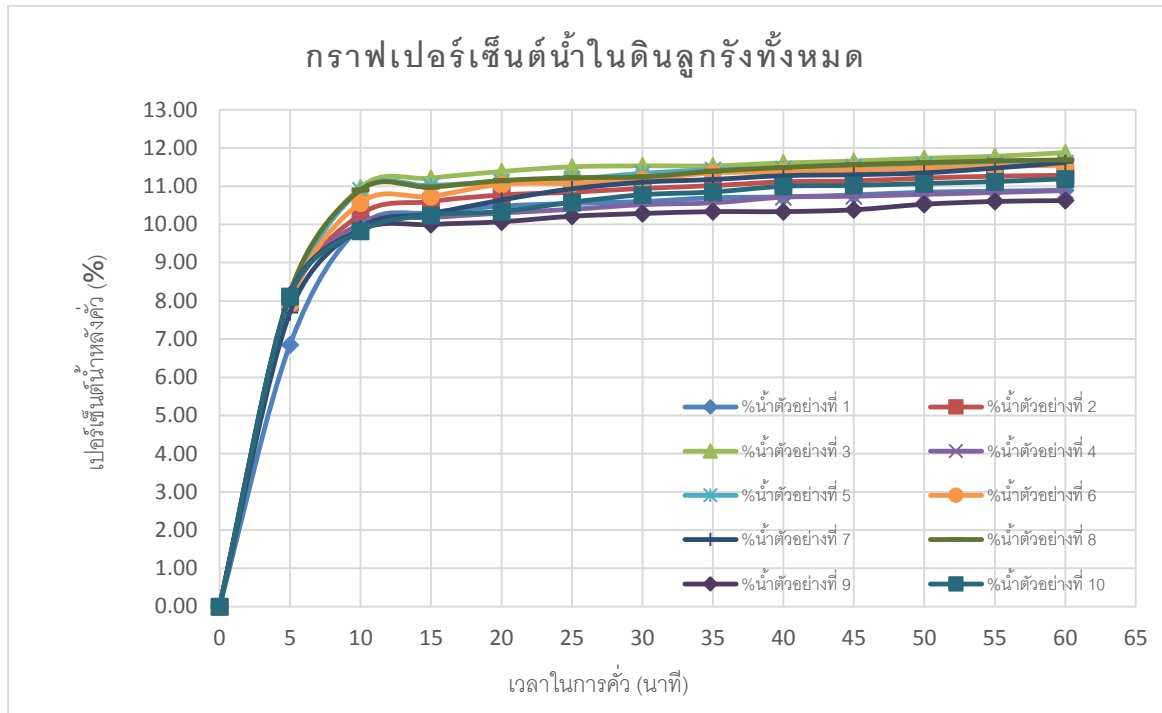
จากการทดลองนำดินเหนียว 10 ตัวอย่าง น้ำหนักเฉลี่ยตัวอย่างละ 501.98 กรัม อุณหภูมิในการให้ความร้อนโดยตรงเฉลี่ย 138.3 องศาเซลเซียส ผลที่ได้คือ เมื่อคั่วถึง 15-20 นาทีสีของดินเริ่มเปลี่ยนเริ่มแห้ง คั่ว 30-35 นาที สีส้มอำเสมอกัน และเมื่อคั่ว 35-45 นาที เปอร์เซ็นต์น้ำจากการให้ความร้อนโดยตรงจะใกล้เคียงกับน้ำหนักน้ำจากการอบ คือมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำเฉลี่ย 35.52 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักดินแห้งเฉลี่ย 371.15 กรัม เมื่อคั่ว 60 นาทีขึ้นไปปริมาณน้ำยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวทั้งหมด และรูปที่ 4.7 กราฟน้ำหนักดินแห้งในดินเหนียวทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าหลังจากคั่วร้อน 35-45 นาทีขึ้นไปปริมาณน้ำใกล้เคียงกับปริมาณน้ำของดินเหนียวจากการอบ



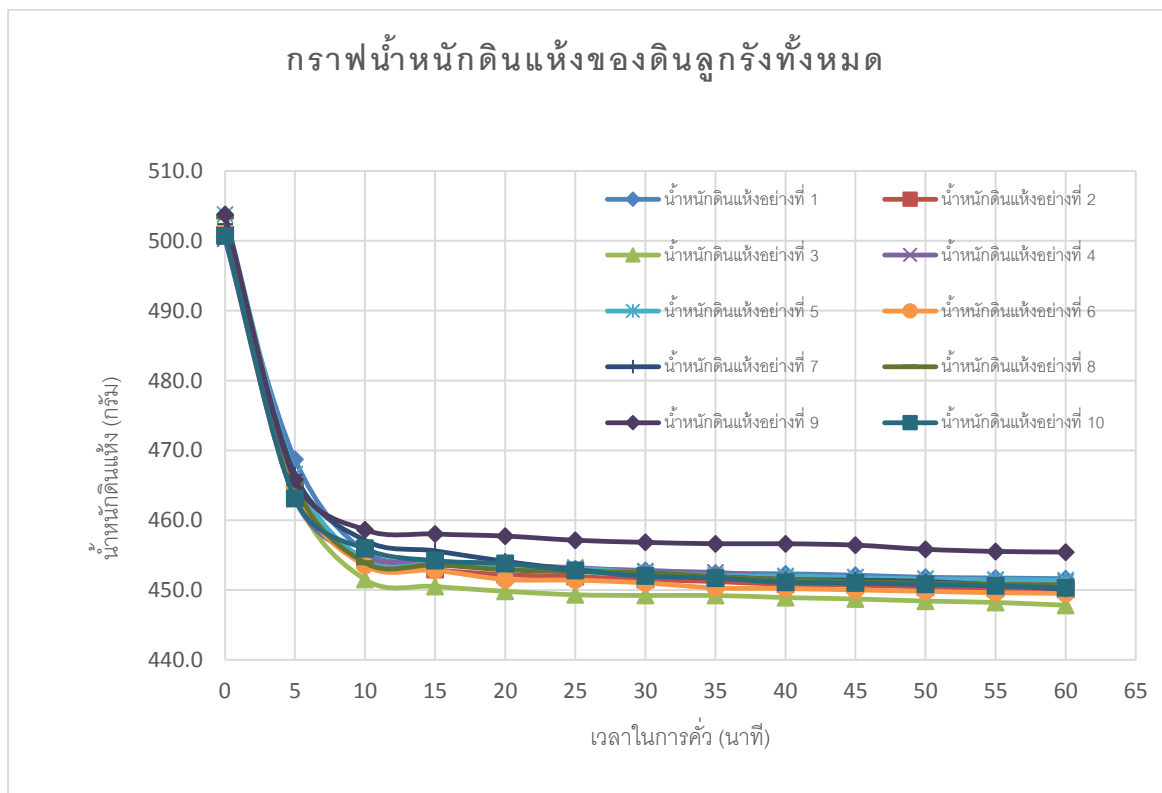
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายทั้งหมด



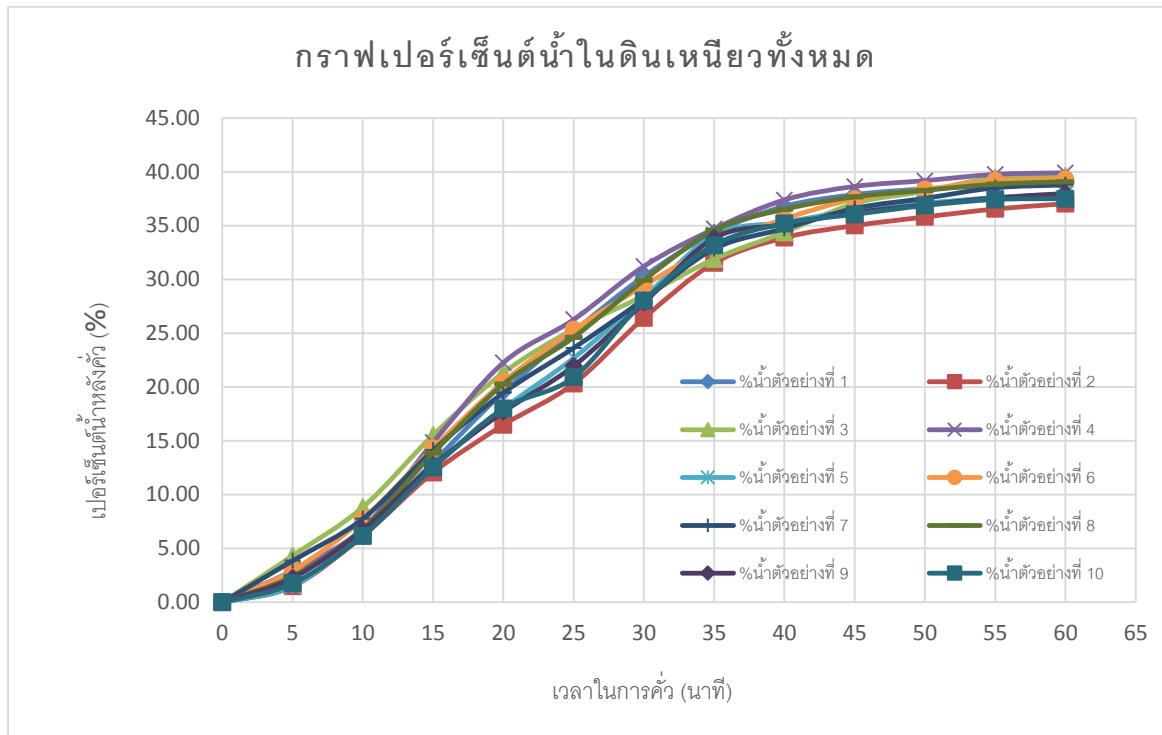
รูปที่ 4.3 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายทั้งหมด



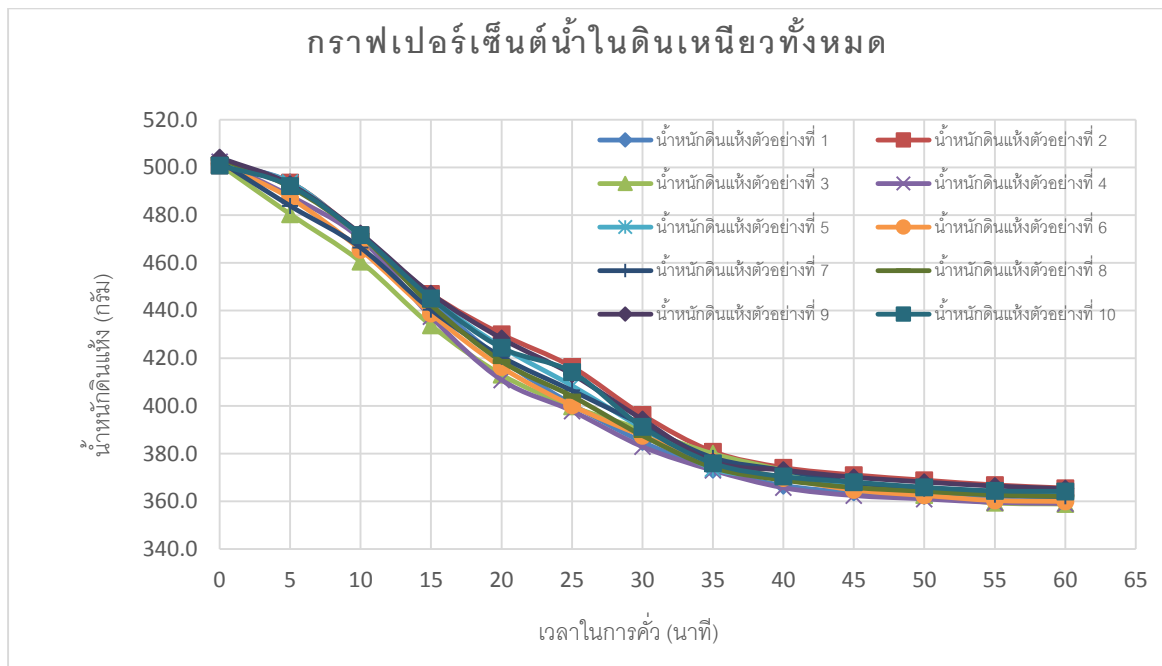
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังทั้งหมด



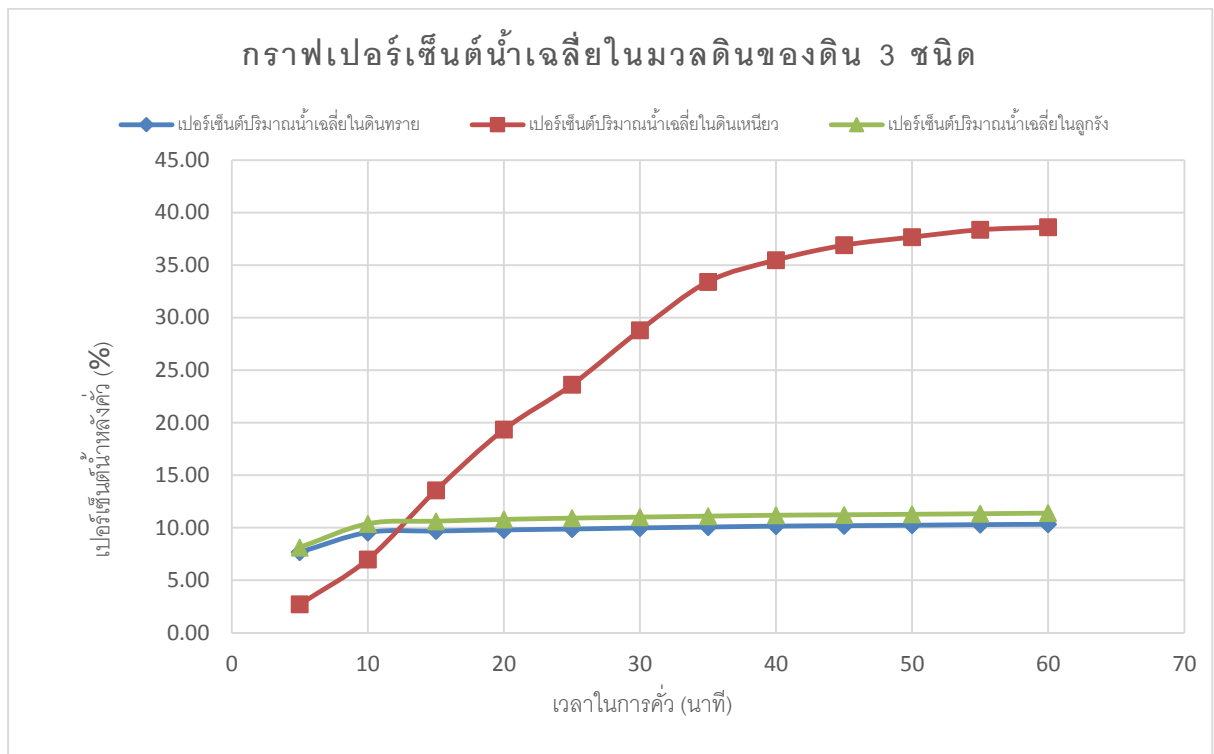
รูปที่ 4.5 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังทั้งหมด



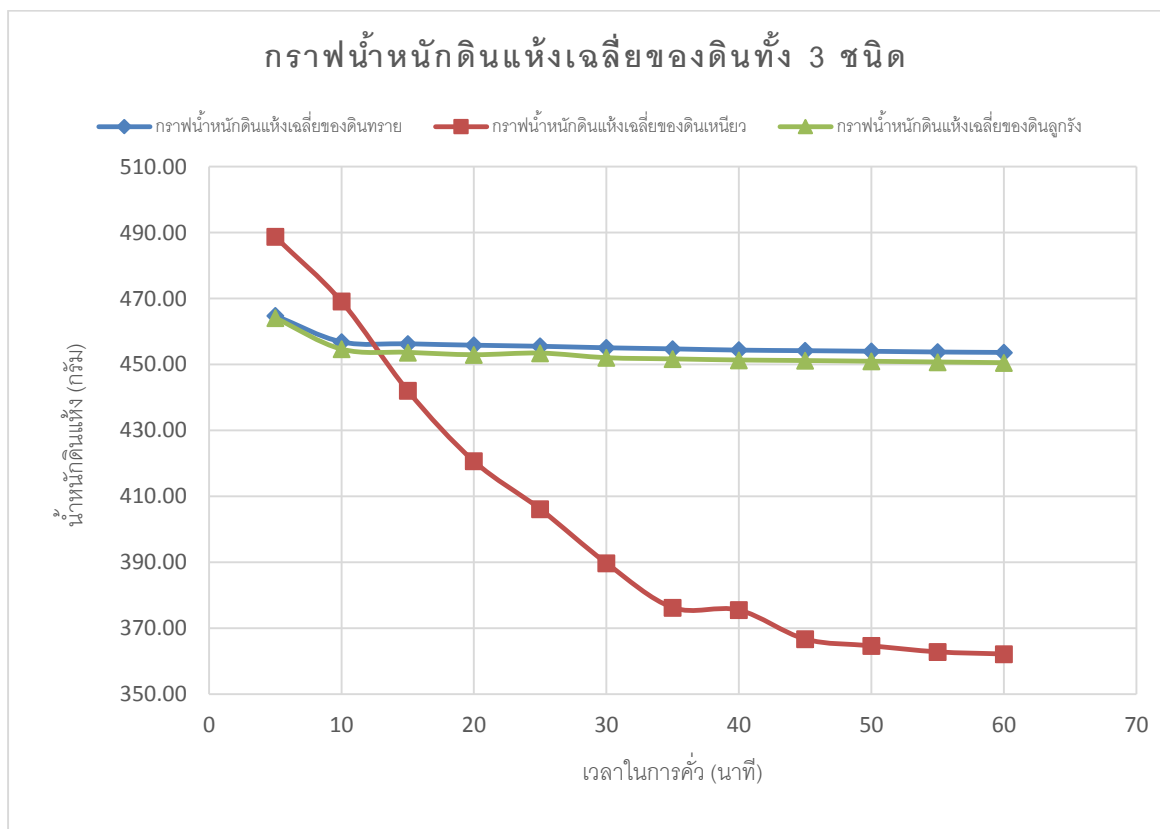
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวทั้งหมด



รูปที่ 4.7 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวทั้งหมด



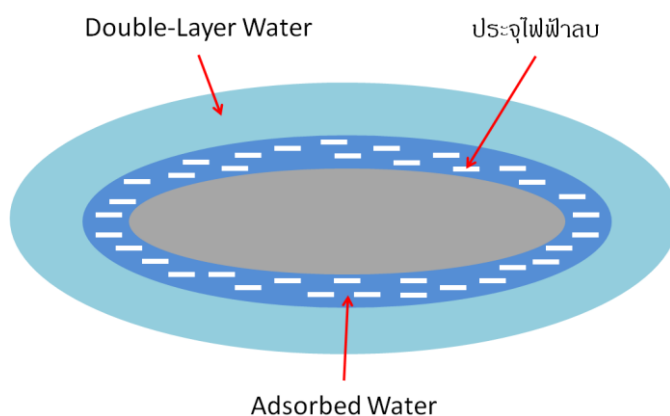
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำเฉลี่ยในดินทั้งหมด



รูปที่ 4.9 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทั้ง 3 ชนิด

4.5 ความแตกต่างของดินแต่ละชนิด

จากการทดลองนำดินแต่ละชนิดไปอบจะเห็นว่าดินเม็ดละเอียด ได้แก่ ดินเหนียวมีปริมาณน้ำในมวลดิน 129.8 กรัม และดินเม็ดหยาบ ได้แก่ ดินลูกรังที่มีปริมาณน้ำในมวลดิน 46.5 กรัม กับดินทรายที่มีปริมาณน้ำในมวลดิน 41.5 กรัม จะเห็นว่าดินเม็ดละเอียดใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนมากกว่าเม็ดหยาบ นั้นเป็นเพราะความชื้นในมวลดินมีอิทธิพลสูงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน ทั้งในด้านการเปลี่ยนสถานะภาพ และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางวิศวกรรม อิทธิพลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นมีผลมากต่อดินที่มีขนาดเม็ดละเอียด (Fine Grain Soil) ได้แก่ดินที่เรียกว่าดินเหนียว (Cohesive Soil) ทั้งนี้แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินหรือความเหนียวเกิดจากการดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าที่อยู่ในเม็ดดิน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น ทำให้ดินเหนียวมีความสามารถดึงดูดโมเลกุลของน้ำเข้ามารวมกันได้ การจับตัวกันของเม็ดดินนี้เกิดจากผลของน้ำเคลือบผิว (Adsorbed Water) ซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ติดรอบ ๆ อนุภาคดินเหนียว เมื่อมีปริมาณความชื้นจำนวนหนึ่งดินเหนียวจับตัวกับน้ำเรียกว่า น้ำหุ้มเม็ดดิน (Double-Layer Water) เป็นน้ำที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคดินเหนียวอีกชั้น ดังรูปที่ 4.5 เมื่อนำไปคั่ว Double-Layer Water จะออกจากอนุภาคดินก่อน และเนื่องจาก Double-Layer Water มีปริมาณมากในมวลดินเหนียว เวลาการคั่ว 5-40 นาที จะได้ปริมาณน้ำที่สูงมาก เมื่อให้ความร้อนเข้าไปเรื่อย ๆ ทำให้ Double-Layer Water หดไป ความร้อนจะเข้าไปทำให้ Adsorbed Water ออกจากอนุภาคเม็ดดินทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำยังคงลดลงเรื่อย ๆ ต่างจากดินที่มีขนาดเม็ดดินใหญ่ (Coarse Grain Soil) อิทธิพลของการดึงดูดเนื่องจากประจุไฟฟ้ามีน้อย ความเหนียวจึงไม่มี (Cohesive Soil) ดินประเภทนี้จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงไป เมื่อน้ำไปคั่วจะใช้เวลาประมาณ 5-15 นาทีที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์น้ำจากการอบแล้ว แต่ที่คงเห็นว่ามีเพิ่มของเปอร์เซ็นต์น้ำในดินหยาบ นั้นเป็นเพราะผลของแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ของเม็ดดินหยาบหายไปจากความร้อนที่ได้รับนานอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.10 น้ำในอนุภาคดินเหนียว

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาหาหน้าหนักน้ำในดินทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่าดินแต่ละชนิดมีน้ำในดินปริมาณที่ไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดิน คุณสมบัติของเม็ดดิน และการจัดเรียงตัวของเม็ด จากการทดลองอบดินทั้ง 3 ชนิดที่อุณหภูมิ 110.0 องศาเซลเซียส และนำดินทั้ง 3 ชนิดไปคั่วร้อน สรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลการทดลองหาหน้าหนักน้ำในดินจากการให้ความร้อนโดยตรงร้อนดินเม็ดหยาบ

จากการทดลองนำดินทราย 500.0 กรัมไปอบ ได้น้ำหนักดินแห้ง 458.5 กรัม และปริมาณน้ำในมวลดิน 41.5 กรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำได้ 9.05 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด และทดลองนำดินทราย 10 ตัวอย่าง หนักเฉลี่ยตัวอย่างละ 500.48 กรัมไปให้ความร้อนโดยตรง ได้เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำเฉลี่ย 8.54 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากดินทรายเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ มีความทึบน้ำต่ำ น้ำไหลผ่านได้ง่าย อุ้มน้ำได้น้อย ความชื้นในดินทรายจึงต่ำ การให้ความร้อนโดยตรง 5 นาทีสีของดินทรายก็เริ่มเปลี่ยน ดังนั้นควรใช้ระยะเวลาในการคั่ว 5-10 นาที เปอร์เซ็นต์น้ำของดินทรายจากการให้ความร้อนโดยตรงถึงจะใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์น้ำของดินทรายจากการอบ

จากการทดลองนำดินลูกรัง 506.0 กรัมไปอบ ได้น้ำหนักดินแห้ง 459.5 กรัม และปริมาณน้ำในมวลดิน 46.5 กรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำได้ 10.12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด และนำดินลูกรัง 10 ตัวอย่าง หนักเฉลี่ยตัวอย่างละ 501.85 กรัมไปให้ความร้อนโดยตรง ได้เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำเฉลี่ย 10.52 เปอร์เซ็นต์ ดินลูกรังมีกรวดและทรายที่คละกันไม่ดี เมื่อนำดินลูกรังไปให้ความร้อนโดยตรง 10 นาที สีของดินเริ่มเปลี่ยนและสีสม่ำเสมอ ดังนั้นควรใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนโดยตรง 10-15 นาที เปอร์เซ็นต์น้ำดินลูกรังจากการให้ความร้อนโดยตรงถึงจะใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์น้ำของดินลูกรังจากการอบ นั่นเป็นเพราะดินลูกรังประกอบด้วยกรวดที่มีพื้นผิวมากทำให้เก็บความชื้นได้มากทรายในดินลูกรัง ดังนั้นดินลูกรังจึงใช้เวลาให้ความร้อนโดยตรงมากกว่าดินทราย และใช้เวลาให้ความร้อนโดยตรงน้อยกว่าดินเหนียว

5.1.2 ผลการทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการให้ความร้อนโดยตรงร้อนดินเม็ดละเอียด

จากการทดลองนำดินเหนียว 500.1 กรัมไปอบ ได้น้ำหนักดินแห้ง 370.3 กรัม และปริมาณน้ำในมวลดิน 129.8 กรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำได้ 35.05 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด และทดลองนำดินเหนียว 10 ตัวอย่างหนักเฉลี่ยตัวอย่างละ 501.98 กรัมไปให้ความร้อนโดยตรง ได้เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำเฉลี่ย 35.52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปการให้ความร้อนโดยตรง 15-20 นาที สีของดินเหนียวเริ่มเปลี่ยน และน้ำในดินเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อการให้ความร้อนโดยตรงถึง 30-35 นาทีสีเริ่มสม่ำเสมอ น้ำของดินเหนียวใกล้เคียงกับน้ำหนักน้ำของดินเหนียวจากการอบที่ควรใช้ระยะเวลาในการการให้ความร้อน 40-45 นาทีเปอร์เซ็นต์น้ำของดินเหนียวถึงจะใกล้เคียงกับน้ำหนักน้ำของดินเหนียวจากการอบ และเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อให้ความร้อนโดยตรงถึง 60 นาที ดินเหนียวใช้เวลาการคั่วมากเพราะ น้ำในดินเหนียวมีปริมาณน้ำสูง มีความทึบน้ำสูง อุ่มน้ำมากกว่าดินทรายและดินลูกรัง

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองหาน้ำหนักน้ำในดินจากการคั่วในเวลาที่เหมาะสมเทียบกับน้ำหนักน้ำในดินจากการอบเพียงอย่างเดียว อาจนำโครงการนี้ไปศึกษาต่อได้โดยหาปริมาตรของดินเพิ่ม หรือทำการทดลองในสนามเลยเพื่อผลที่แม่นยำขึ้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา (2549). *ปฐพีกลศาสตร์*. มหาวิทยาลัยรังสิต. ปทุมธานี

ชูศักดิ์ ศิริรัตน์ (2554). *ปฐพีกลศาสตร์*. ท้อป. กรุงเทพฯ

ครุมนานิต ช่วยงาน. (2009). *การทดลองหาปริมาณน้ำในดิน*. สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2560, จาก

<http://krumanit.cmtc.ac.th/main/images/stories/2.pdf>

ครุมนานิต ช่วยงาน. (2009). *การทดลองหาขีดความชื้นเหลวของดิน (Atterberg's Limit)*. สืบค้นเมื่อ

12 มกราคม 2560, จาก <http://krumanit.cmtc.ac.th/main/images/stories/4.pdf>

ครุมนานิต ช่วยงาน. (2009). *การทดลองหาขนาดมวลคละของดิน (Sieve Analysis)*. สืบค้นเมื่อ

12 มกราคม 2560, จาก <http://krumanit.cmtc.ac.th/main/images/stories/5.pdf>

ครุมนานิต ช่วยงาน (2009). *การจำแนกประเภทดิน* สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2560, จาก

<http://krumanit.cmtc.ac.th/main/images/stories/4.pdf>

มาตรฐาน ASTM D 422 Standard Test Method of Particle Size Analysis of Soils

มาตรฐาน ASTM D 1556-00 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method

มาตรฐาน ASMT D 4959-89 Standard Test Method for Determination of Water (Mois Content of Soil By Direct Heating Method

ภาคผนวก ก

(การทดลองหาขนาดมวลคละของดิน)

1. การทดลองหาขนาดมวลละเอียดดินทราย

ตารางที่ ก.1 แสดงการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินทราย

การวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินทราย										
น้ำหนักดินแห้งที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ						500.0	กรัม			
ตะแกรงขนาดเบอร์	กรัม	3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว	No.4	No.10	No.40	No.100	No.200	Pan
ช่องเปิดของตะแกรง	มม.	19.000	12.500	9.510	4.750	2.000	0.425	0.150	0.075	0.00
น้ำหนักของตะแกรง	กรัม	689.50	717.66	575.00	477.45	419.55	340.50	341.50	301.10	0.00
น้ำหนักตะแกรง+ดิน	กรัม	689.50	717.66	575.00	641.27	693.97	399.46	343.70	301.70	0.00
น้ำหนักดินที่ค้าง	กรัม	0.00	0.00	0.00	163.82	274.42	58.96	2.20	0.60	0.00
น้ำหนักดินค้างตะแกรง	%	0.00	0.00	0.00	32.76	54.88	11.79	0.44	0.12	0.00
น้ำหนักของดินค้างสะสม	%	0.00	0.00	0.00	32.76	87.65	99.44	99.88	100.00	100.00
ส่วนที่ผ่านตะแกรง	%	100.00	100.00	100.00	67.24	12.35	0.56	0.12	0.00	0.00

กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินทราย แสดงดังรูป ก.1

2. การทดลองหาขนาดมวลละของดินลูกรัง

ตารางที่ ก.2 แสดงการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินลูกรัง

การวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินลูกรัง										
น้ำหนักดินแห้งที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ						500.1	กรัม			
ตะแกรงขนาดเบอร์	กรัม	3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว	No.4	No.10	No.40	No.100	No.200	Pan
ช่องเปิดของตะแกรง	มม.	19.000	12.500	9.510	4.750	2.000	0.425	0.150	0.075	0.00
น้ำหนักของตะแกรง	กรัม	689.50	717.66	575.00	477.45	419.55	340.50	341.50	301.10	0.00
น้ำหนักตะแกรง+ดิน	กรัม	689.50	717.66	601.17	741.82	532.96	393.67	370.24	314.51	0.83
น้ำหนักดินที่ค้าง	กรัม	0.00	0.00	26.17	264.37	113.41	53.17	28.74	13.41	0.83
น้ำหนักดินค้างตะแกรง	%	0.00	0.00	5.23	52.86	22.68	10.63	5.75	2.68	0.17
น้ำหนักของดินค้างสะสม	%	0.00	0.00	5.23	58.10	80.77	91.41	97.15	99.83	100.00
ส่วนที่ผ่านตะแกรง	%	100.00	100.00	94.77	41.90	19.23	8.59	2.85	0.17	0.00

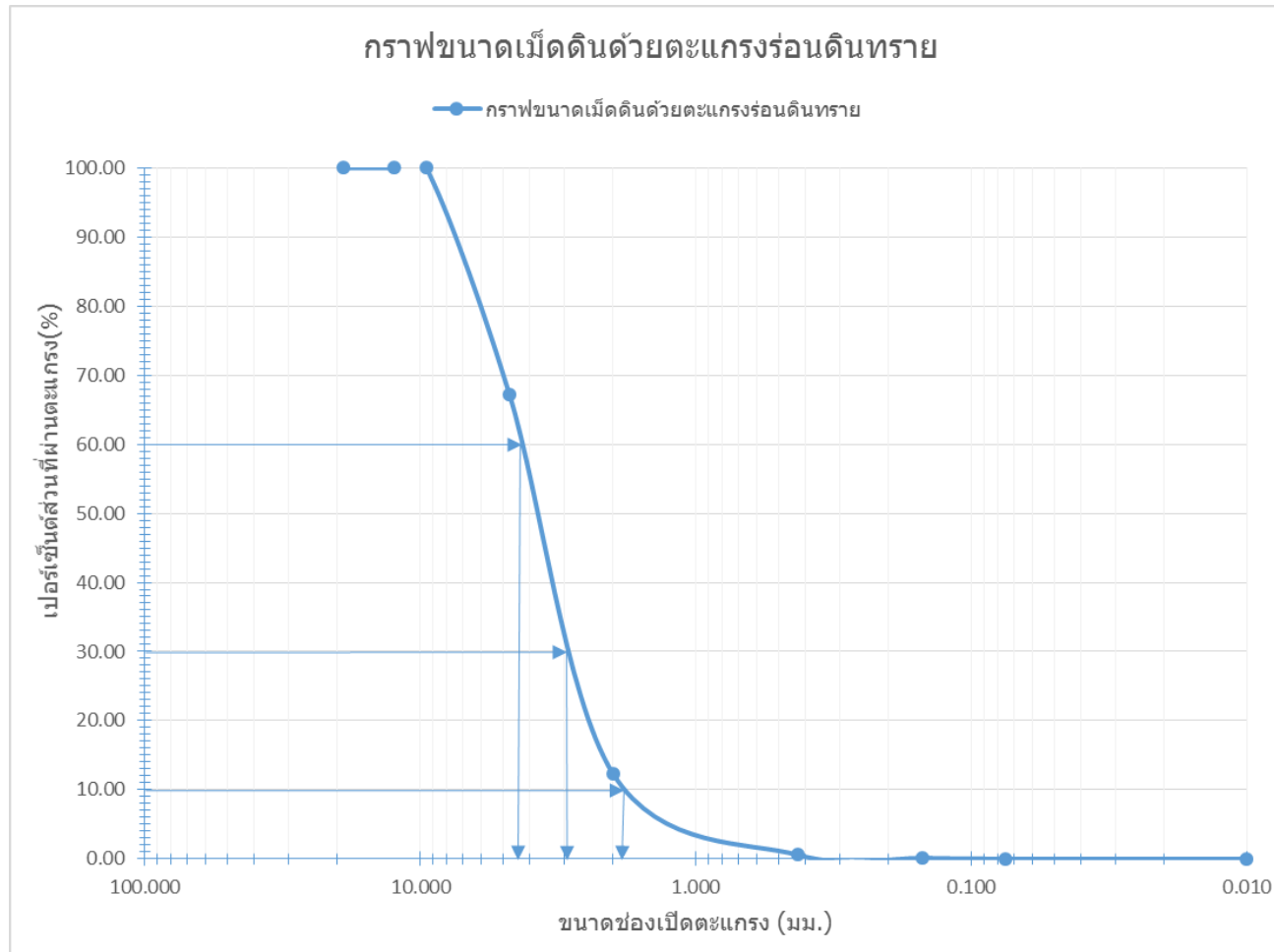
กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินลูกรัง แสดงดังรูปที่ ก.2

3. การทดลองหาขนาดมวลละของดินเหนียว

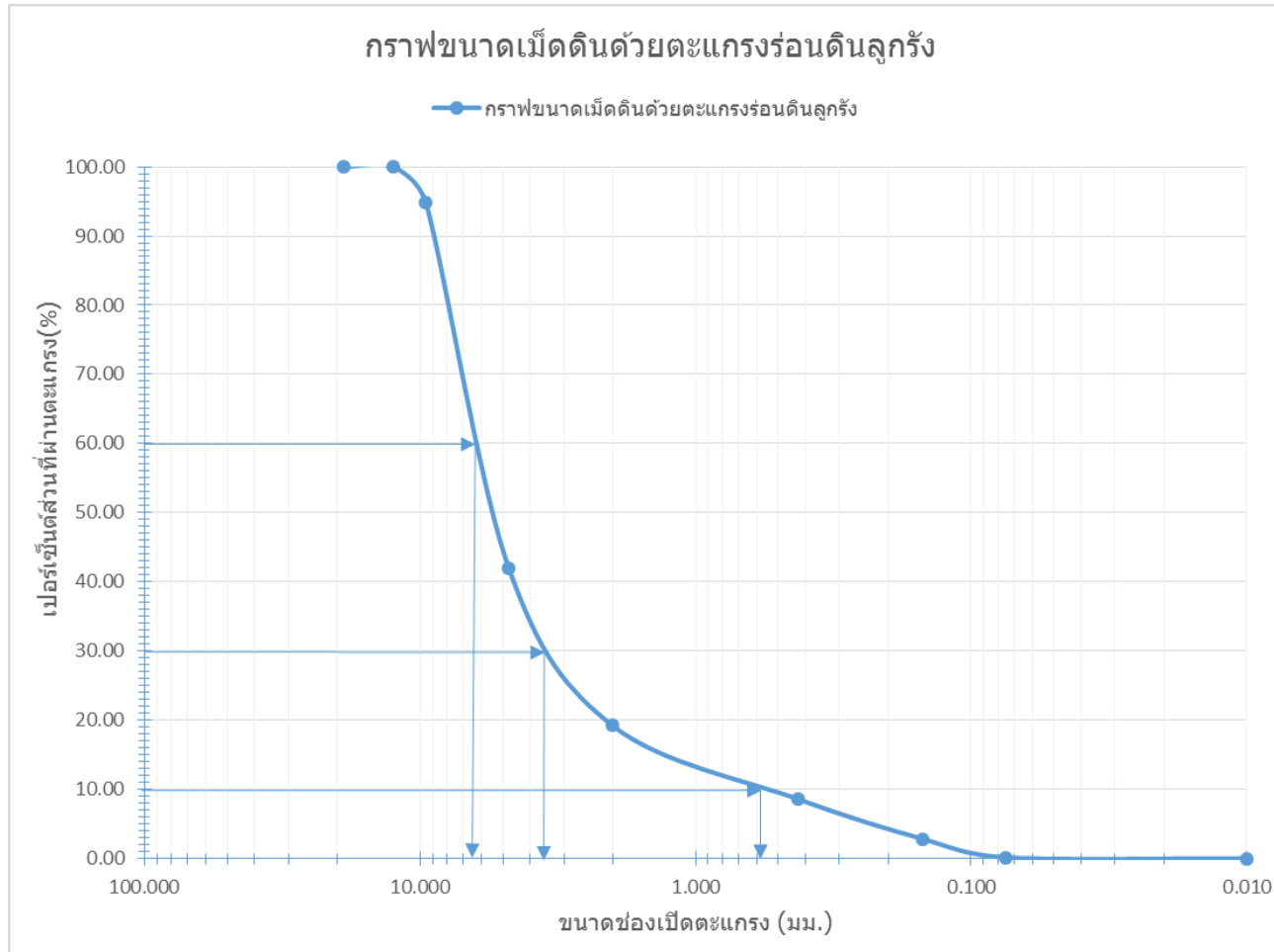
ตารางที่ ก.3 แสดงการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินเหนียว

การวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินเหนียว										
น้ำหนักดินแห้งที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ						500.2	กรัม			
ตะแกรงขนาดเบอร์	กรัม	3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว	No.4	No.10	No.40	No.100	No.200	Pan
ช่องเปิดของตะแกรง	มม.	19.000	12.500	9.510	4.750	2.000	0.425	0.150	0.075	0.00
น้ำหนักของตะแกรง	กรัม	689.50	717.66	575.00	477.45	419.55	340.50	341.50	301.10	0.00
น้ำหนักตะแกรง+ดิน	กรัม	689.50	717.66	575.00	477.45	419.55	354.06	397.89	415.75	315.60
น้ำหนักดินที่ค้าง	กรัม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.56	56.39	114.65	315.60
น้ำหนักดินค้างตะแกรง	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.71	11.27	22.92	63.09
น้ำหนักของดินค้างสะสม	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.71	13.98	36.91	100.00
ส่วนที่ผ่านตะแกรง	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	97.29	86.02	63.09	0.00

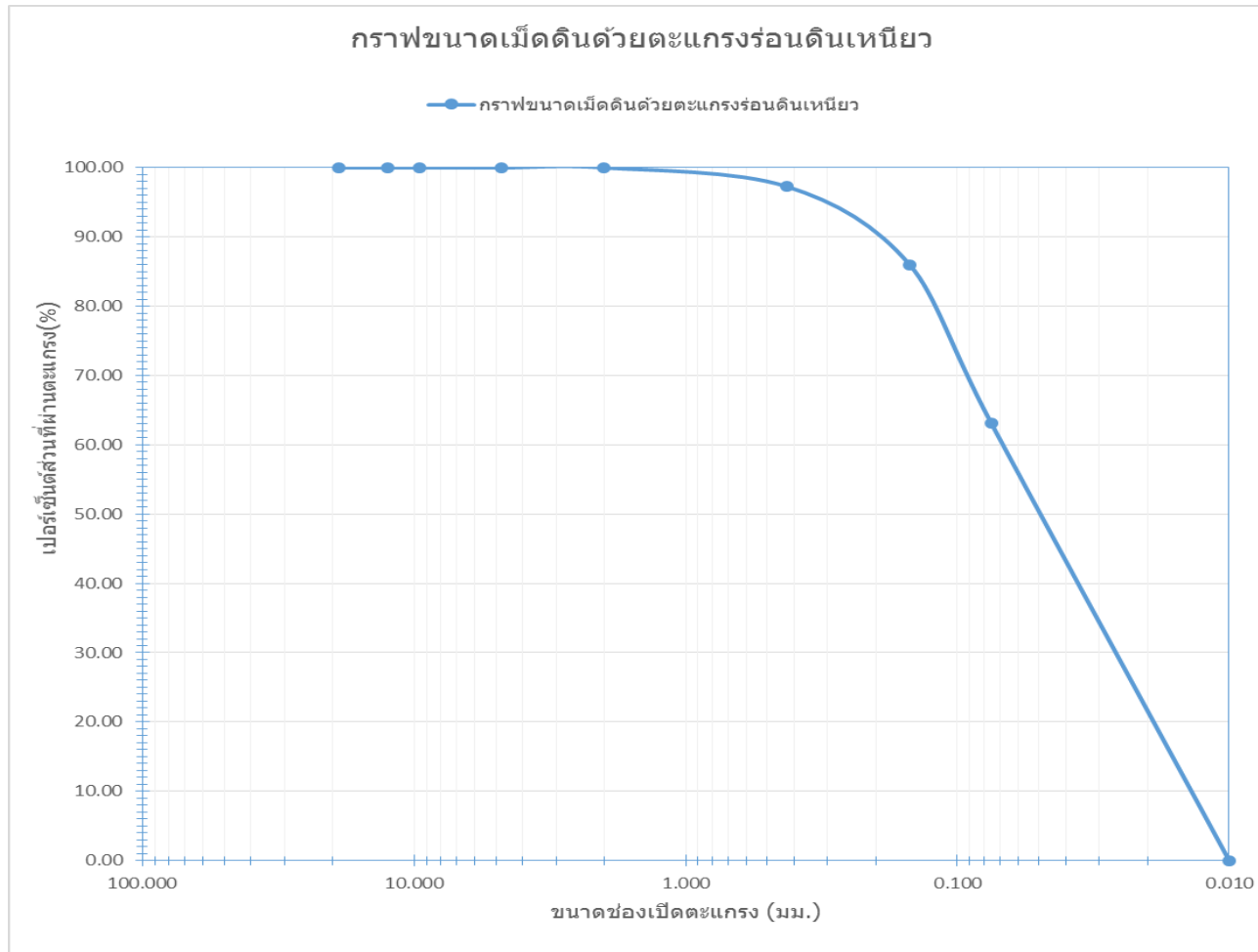
กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินเหนียว แสดงดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.1 กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินทราย



รูปที่ ก.2 กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินลูกรัง



รูปที่ ก.3 กราฟแสดงขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อนดินเหนียว

ภาคผนวก ข

(การทดลองหาปริมาณน้ำในดิน)

1. การทดลองหาปริมาณน้ำในดินทราย

ตารางที่ ข.1.1 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างดินทรายที่ 1		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระชะ	กรัม	750.3												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.3												
น้ำหนักดิน+กระชะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,250.6												
น้ำหนักดิน+กระชะ หลังคั่ว	กรัม	1,250.6	1,213.6	1,208.2	1,207.7	1,207.2	1,206.9	1,206.4	1,205.9	1,205.7	1,205.6	1,205.5	1,205.4	1,205.3
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.3	463.3	457.9	457.4	456.9	456.6	456.1	455.6	455.4	455.3	455.2	455.1	455.0
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.40	1.17	0.11	0.11	0.07	0.11	0.11	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	37.00	42.40	42.90	43.40	43.70	44.20	44.70	44.90	45.00	45.10	45.20	45.30
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.99	9.26	9.38	9.50	9.57	9.69	9.81	9.86	9.88	9.91	9.93	9.96
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	13.75	1.27	1.26	0.75	1.24	1.23	0.49	0.24	0.24	0.24	0.24	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.1.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.1.2

ตารางที่ ข.1.2 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรากดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างดินทรายที่ 2		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระเทาะ	กรัม	750.1												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.9												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,251.0												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ หลังคั่ว	กรัม	1,251.0	1,218.4	1,211.2	1,210.7	1,210.2	1,210.0	1,209.6	1,209.4	1,209.1	1,208.7	1,208.5	1,208.3	1,208.2
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.9	468.3	461.1	460.6	460.1	459.9	459.5	459.3	459.0	458.6	458.4	458.2	458.1
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	6.51	1.54	0.11	0.11	0.04	0.09	0.04	0.07	0.09	0.04	0.04	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	32.60	39.80	40.30	40.80	41.00	41.40	41.60	41.90	42.30	42.50	42.70	42.80
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	6.96	8.63	8.75	8.87	8.91	9.01	9.06	9.13	9.22	9.27	9.32	9.34
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	19.35	1.35	1.33	0.53	1.05	0.52	0.78	1.03	0.51	0.51	0.26	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.2.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.2.2

ตารางที่ ข.1.3 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหน้กดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างดินทรายที่ 3		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.7												
น้ำหน้กดินก่อกนค้ว	กรัม	500.7												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ ก่อกนค้ว	กรัม	1,251.4												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ หล่กนค้ว	กรัม	1,251.4	1,217.4	1,204.3	1,203.6	1,203.2	1,202.7	1,202.6	1,202.2	1,201.7	1,201.6	1,201.4	1,201.0	1,200.9
น้ำหน้กดินแห้ง	กรัม	500.7	466.7	453.6	452.9	452.5	452.0	451.9	451.5	451.0	450.9	450.7	450.3	450.2
ความเปล่ยนเปล่งน้ำหน้กดินแห้ง	%	6.79	2.81	0.15	0.09	0.11	0.02	0.09	0.11	0.02	0.04	0.09	0.02	0.00
น้ำหน้กน้ำ	กรัม	0.00	34.0	47.1	47.8	48.2	48.7	48.8	49.2	49.7	49.8	50.0	50.4	50.5
เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.29	10.38	10.55	10.65	10.77	10.80	10.90	11.02	11.04	11.09	11.19	11.22
ความเปล่ยนเปล่งของปริมาณน้ำ	%	100.00	29.84	1.62	0.92	1.14	0.23	0.90	1.12	0.22	0.44	0.88	0.22	0.00

เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.3.1 และน้ำหน้กดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.3.2

ตารางที่ ข.1.4 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรากดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างดินทรายที่ 4		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระชะ	กรัม	750.1												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.3												
น้ำหนักดิน+กระชะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,250.4												
น้ำหนักดิน+กระชะ หลังคั่ว	กรัม	1,250.4	1,212.1	1,204.8	1,204.2	1,203.7	1,203.3	1,202.8	1,202.6	1,202.0	1,201.9	1,201.7	1,201.5	1,201.3
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.3	462.0	454.7	454.1	453.6	453.2	452.7	452.5	451.9	451.8	451.6	451.4	451.2
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.66	1.58	0.13	0.11	0.09	0.11	0.04	0.13	0.02	0.04	0.04	0.04	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	38.3	45.6	46.2	46.7	47.1	47.6	47.8	48.4	48.5	48.7	48.9	49.1
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.29	10.03	10.17	10.30	10.39	10.51	10.56	10.71	10.73	10.78	10.83	10.88
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	17.34	1.43	1.18	0.94	1.16	0.46	1.37	0.23	0.45	0.45	0.45	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.4.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.4.2

ตารางที่ ข.1.5 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหน้กดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่างดินทรายที่ 5		เวลา (นาทึ)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.2												
น้ำหน้กดินก่อกนค้ว	กรัม	500.6												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ ก่อกนค้ว	กรัม	1,250.8												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ หลังก้ว	กรัม	1,250.8	1,216.0	1,209.7	1,209.2	1,208.7	1,208.5	1,207.9	1,207.5	1,207.4	1,207.2	1,207.0	1,206.9	1,206.8
น้ำหน้กดินแห้ง	กรัม	500.6	465.8	459.5	459.0	458.5	458.3	457.7	457.3	457.2	457.0	456.8	456.7	456.6
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหน้กดินแห้ง	%	6.95	1.35	0.11	0.11	0.04	0.13	0.09	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.00
น้ำหน้กน้ำ	กรัม	0.00	34.8	41.1	41.6	42.1	42.3	42.9	43.3	43.4	43.6	43.8	43.9	44.0
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.47	8.94	9.06	9.18	9.23	9.37	9.47	9.49	9.54	9.59	9.61	9.64
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	16.47	1.31	1.30	0.52	1.53	1.01	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.5.1 และน้ำหน้กดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.5.2

ตารางที่ ข.1.6 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหน้กดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 6

ตัวอย่างดินทรายที่ 6		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.4												
น้ำหน้กดินก่อกนค้ว	กรัม	500.5												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ ก่อกนค้ว	กรัม	1,250.9												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ หล่กนค้ว	กรัม	1,250.9	1,214.8	1,207.8	1,207.2	1,206.7	1,206.4	1,206.2	1,205.8	1,205.4	1,205.2	1,205.0	1,204.7	1,204.6
น้ำหน้กดินแห้ง	กรัม	500.5	464.4	457.4	456.8	456.3	456.0	455.8	455.4	455.0	454.8	454.6	454.3	454.2
ความเปล่ยนเปล่งน้ำหน้กดินแห้ง	%	7.21	1.51	0.13	0.11	0.07	0.04	0.09	0.09	0.04	0.04	0.07	0.02	0.00
น้ำหน้กน้ำ	กรัม	0.00	36.1	43.1	43.7	44.2	44.5	44.7	45.1	45.5	45.7	45.9	46.2	46.3
เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.77	9.42	9.57	9.69	9.76	9.81	9.90	10.00	10.05	10.10	10.17	10.19
ความเปล่ยนเปล่งของปริมาณน้ำ	%	100.00	17.50	1.50	1.24	0.74	0.49	0.97	0.97	0.48	0.48	0.71	0.24	0.00

เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดั่งรูปที่ ข.1.6.1 และน้ำหน้กดินแห้งในตารางแสดงดั่งรูปที่ ข.1.6.2

ตารางที่ ข.1.7 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหน้กดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 7

ตัวอย่างดินทรายที่ 7		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.2												
น้ำหน้กดินก่อกนค้ว	กรัม	500.3												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ ก่อกนค้ว	กรัม	1,250.5												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ หล่กนค้ว	กรัม	1,250.5	1,212.9	1,206.5	1,206.0	1,205.5	1,205.3	1,204.6	1,204.3	1,203.9	1,203.8	1,203.6	1,203.5	1,203.3
น้ำหน้กดินแห้ง	กรัม	500.3	462.7	456.3	455.8	455.3	455.1	454.4	454.1	453.7	453.6	453.4	453.3	453.1
ความเปล่ยนเปล่งน้ำหน้กดินแห้ง	%	7.52	1.38	0.11	0.11	0.04	0.15	0.07	0.09	0.02	0.04	0.02	0.04	0.00
น้ำหน้กน้ำ	กรัม	0.00	37.6	44.0	44.5	45.0	45.2	45.9	46.2	46.6	46.7	46.9	47.0	47.2
เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.13	9.64	9.76	9.88	9.93	10.10	10.17	10.27	10.30	10.34	10.37	10.42
ความเปล่ยนเปล่งของปริมาณน้ำ	%	100.00	15.73	1.23	1.22	0.49	1.68	0.71	0.95	0.24	0.47	0.23	0.47	0.00

เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดั่งรูปที่ ข.1.7.1 และน้ำหน้กดินแห้งในตารางแสดงดั่งรูปที่ ข.1.7.2

ตารางที่ ข.1.8 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 8

ตัวอย่างดินทรายที่ 8		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.1												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.6												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,250.7												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,250.7	1,215.3	1,208.0	1,207.5	1,207.0	1,206.7	1,206.2	1,206.0	1,205.6	1,205.3	1,205.1	1,204.9	1,204.8
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.6	465.2	457.9	457.4	456.9	456.6	456.1	455.9	455.5	455.2	455.0	454.8	454.7
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.07	1.57	0.11	0.11	0.07	0.11	0.04	0.09	0.07	0.04	0.04	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	35.4	42.7	43.2	43.7	44.0	44.5	44.7	45.1	45.4	45.6	45.8	45.9
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.61	9.33	9.44	9.56	9.64	9.76	9.80	9.90	9.97	10.02	10.07	10.09
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	18.40	1.27	1.25	0.75	1.23	0.49	0.97	0.73	0.48	0.48	0.24	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.8.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.8.2

ตารางที่ ข.1.9 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหน้กดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 9

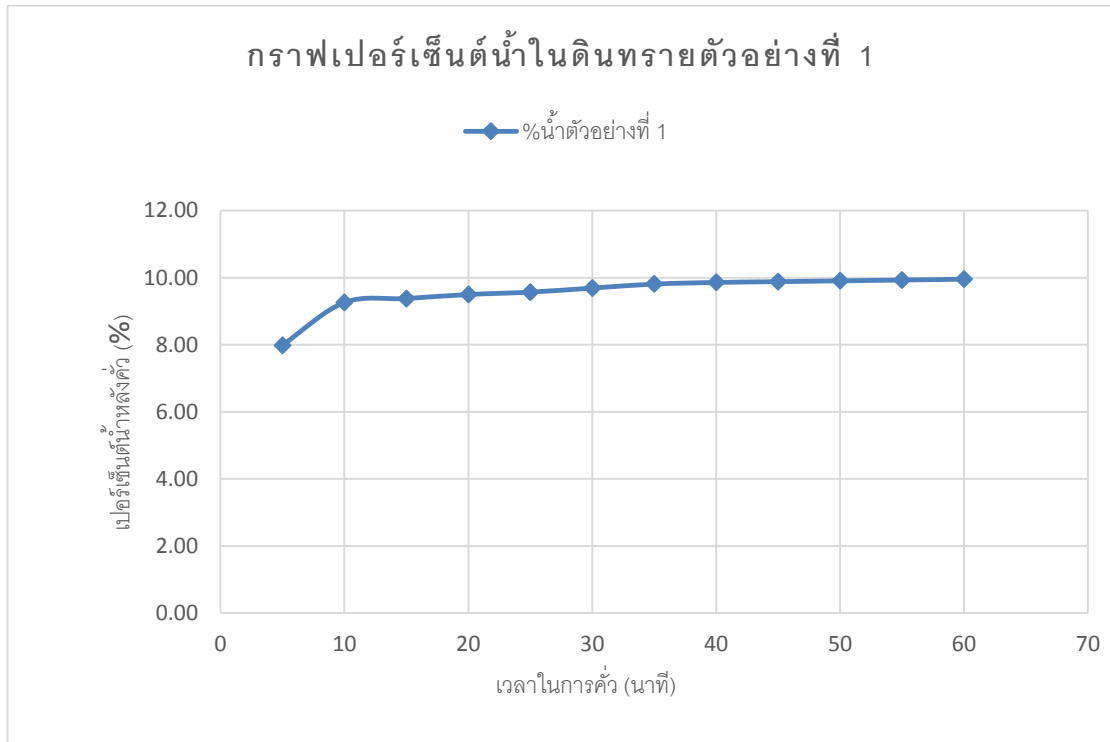
ตัวอย่างดินทรายที่ 9		เวลา (นาทึ)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.5												
น้ำหน้กดินก่อกั้ว	กรัม	500.5												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ ก่อกั้ว	กรัม	1,251.0												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ หลังั้ว	กรัม	1,251.0	1,215.5	1,206.3	1,205.7	1,205.4	1,204.8	1,204.5	1,204.1	1,203.7	1,203.6	1,203.5	1,203.2	1,203.1
น้ำหน้กดินแห้ง	กรัม	500.5	465.0	455.8	455.2	454.9	454.3	454.0	453.6	453.2	453.1	453.0	452.7	452.6
ความเปลี่นแปลงน้ำหน้กดินแห้ง	%	7.09	1.98	0.13	0.07	0.13	0.07	0.09	0.09	0.02	0.02	0.07	0.02	0.00
น้ำหน้กน้ำ	กรัม	0.00	35.5	44.7	45.3	45.6	46.2	46.5	46.9	47.3	47.4	47.5	47.8	47.9
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.63	9.81	9.95	10.02	10.17	10.24	10.34	10.44	10.46	10.49	10.56	10.58
ความเปลี่นแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	22.15	1.45	0.72	1.43	0.71	0.94	0.93	0.23	0.23	0.69	0.23	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.9.1 และน้ำหน้กดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.9.2

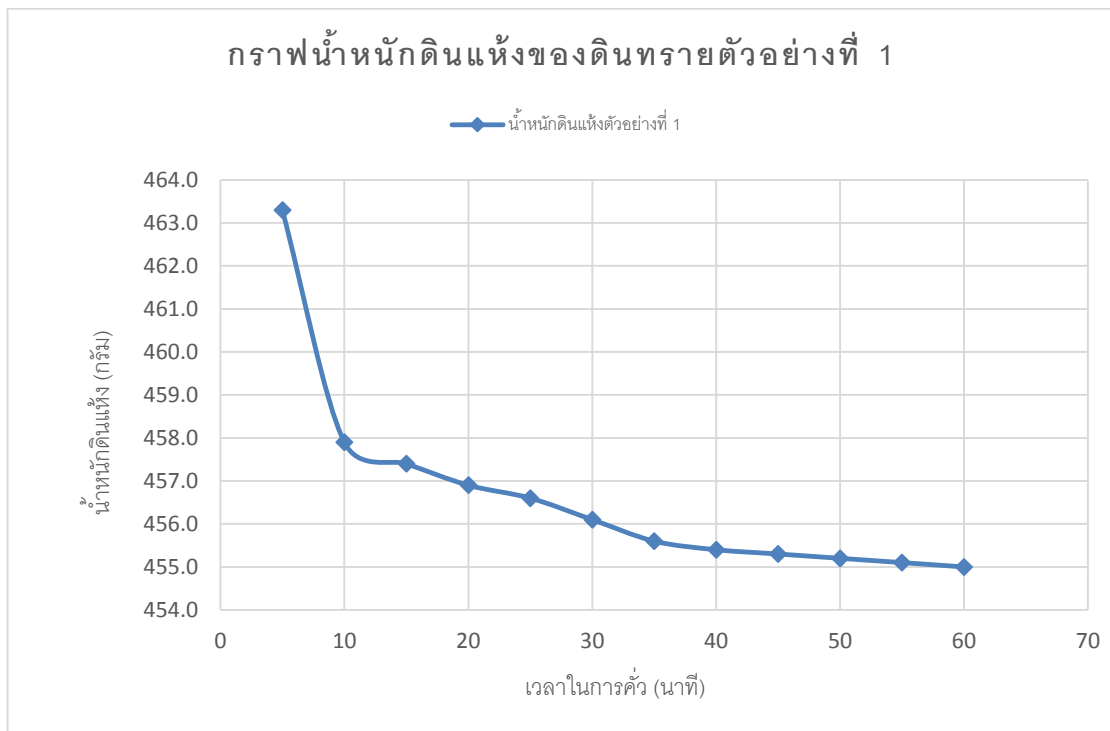
ตารางที่ ข.1.10 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 10

ตัวอย่างดินทรายที่ 10		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระชะ	กรัม	750.4												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.1												
น้ำหนักดิน+กระชะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,250.5												
น้ำหนักดิน+กระชะ หลังคั่ว	กรัม	1,250.5	1,214.8	1,204.6	1,203.9	1,203.7	1,203.5	1,202.7	1,202.4	1,201.9	1,201.8	1,201.6	1,201.3	1,201.1
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.1	464.4	454.2	453.5	453.3	453.1	452.3	452.0	451.5	451.4	451.2	450.9	450.7
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.14	2.20	0.15	0.04	0.04	0.18	0.07	0.11	0.02	0.04	0.07	0.04	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	35.7	45.9	46.6	46.8	47.0	47.8	48.1	48.6	48.7	48.9	49.2	49.4
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.69	10.11	10.28	10.32	10.37	10.57	10.64	10.76	10.79	10.84	10.91	10.96
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	23.93	1.65	0.47	0.47	1.85	0.69	1.14	0.23	0.45	0.68	0.45	0.00

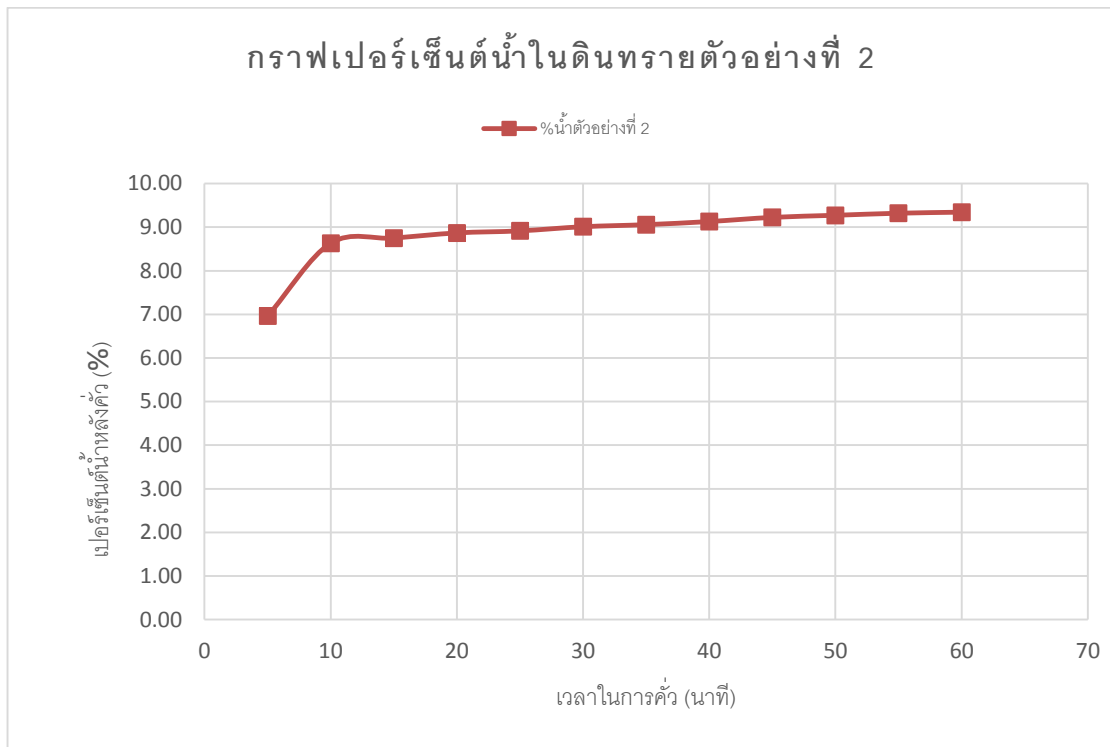
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.10.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.1.10.2



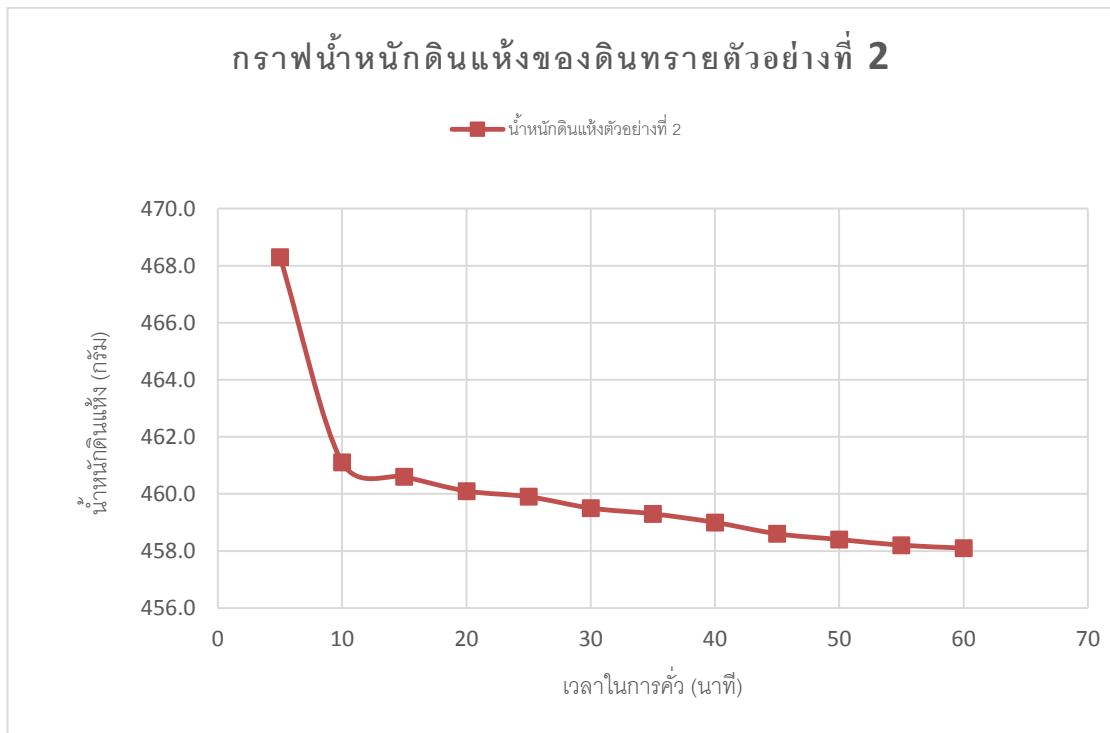
รูปที่ ข.1.1.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 1



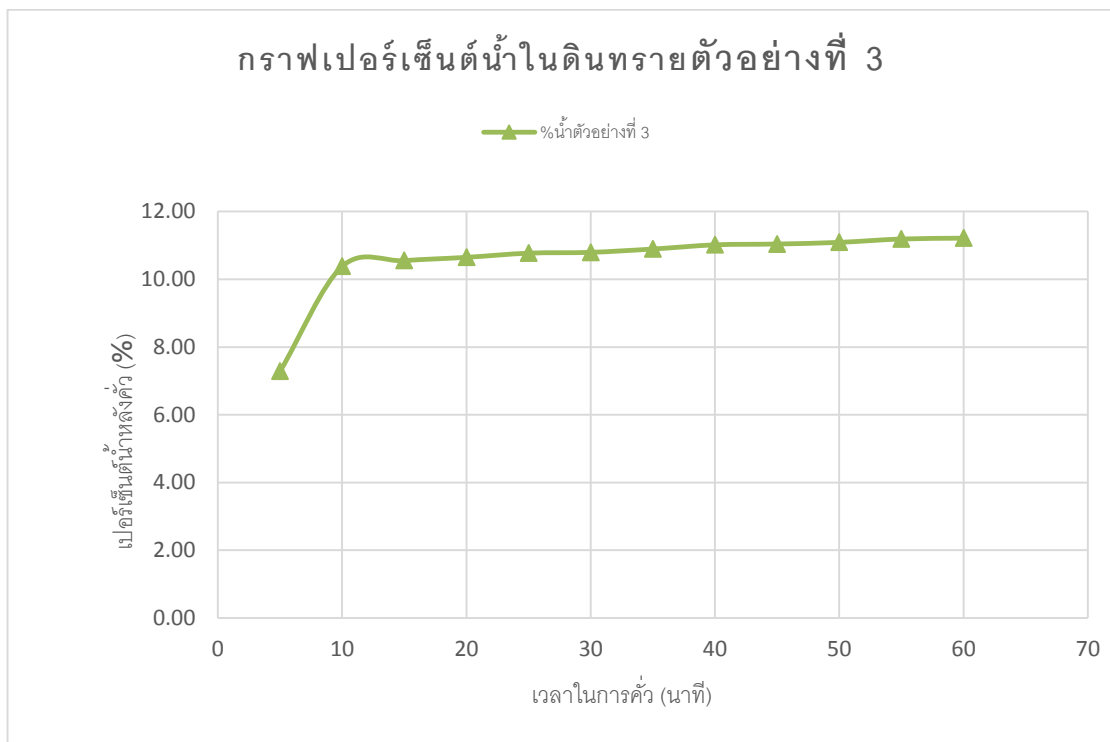
รูปที่ ข.1.1.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 1



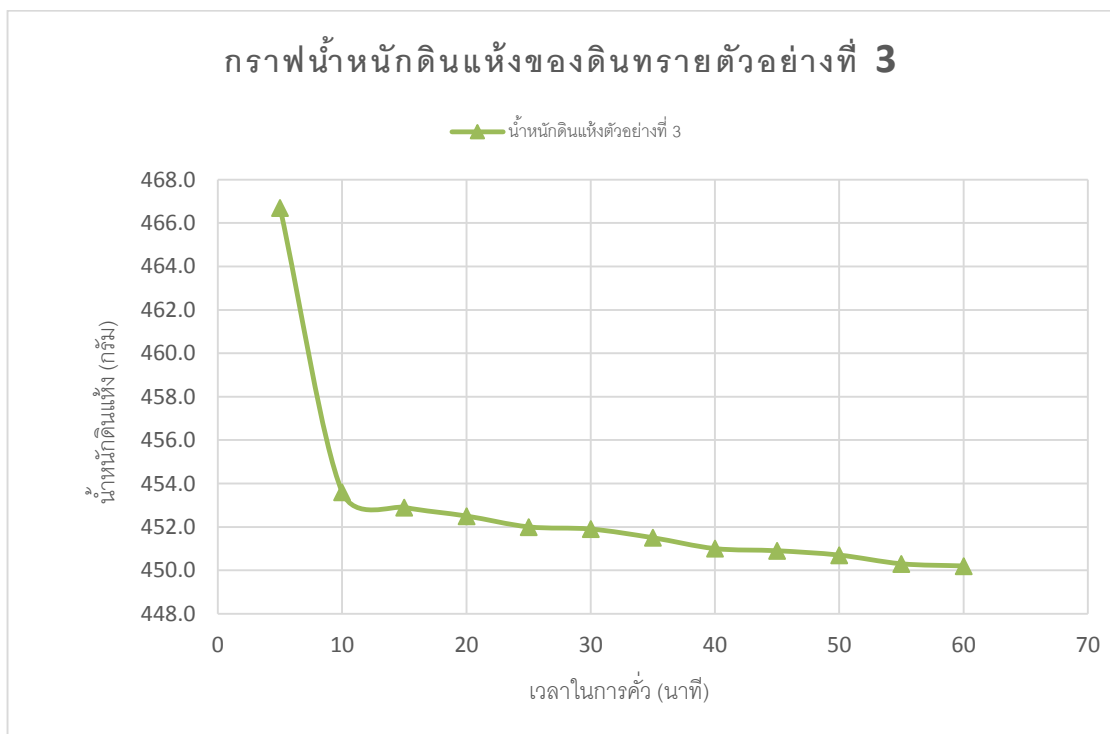
รูปที่ ข.1.2.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 2



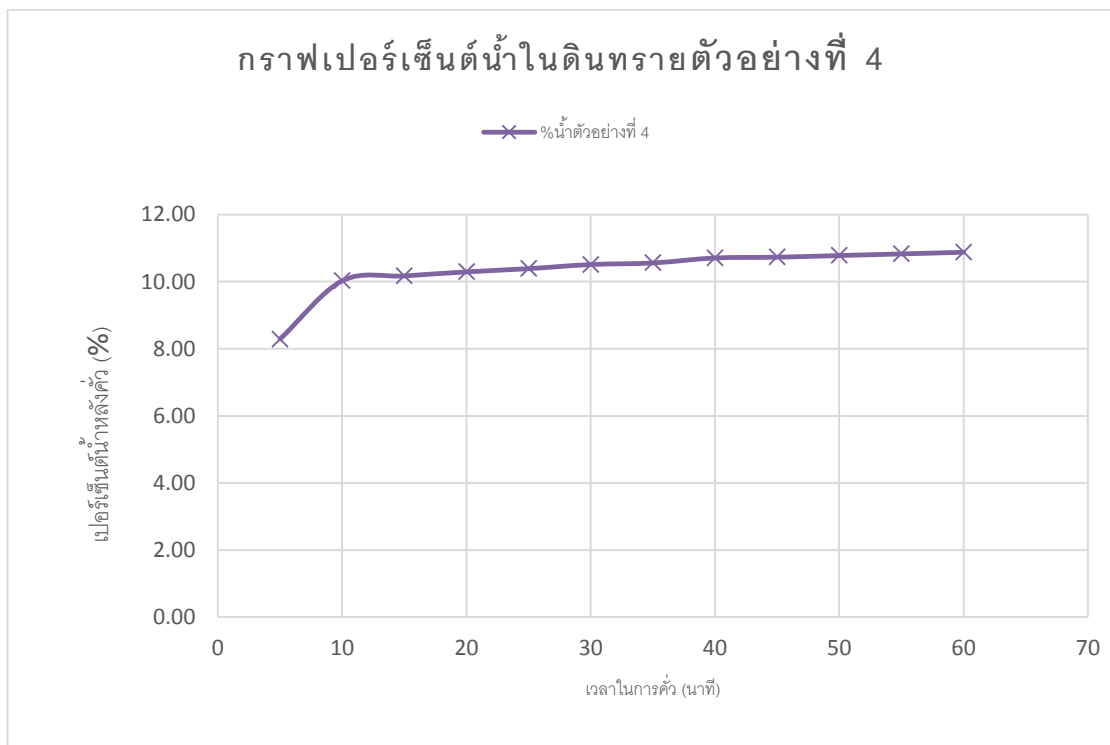
รูปที่ ข.1.2.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 2



รูปที่ ข.1.3.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 3



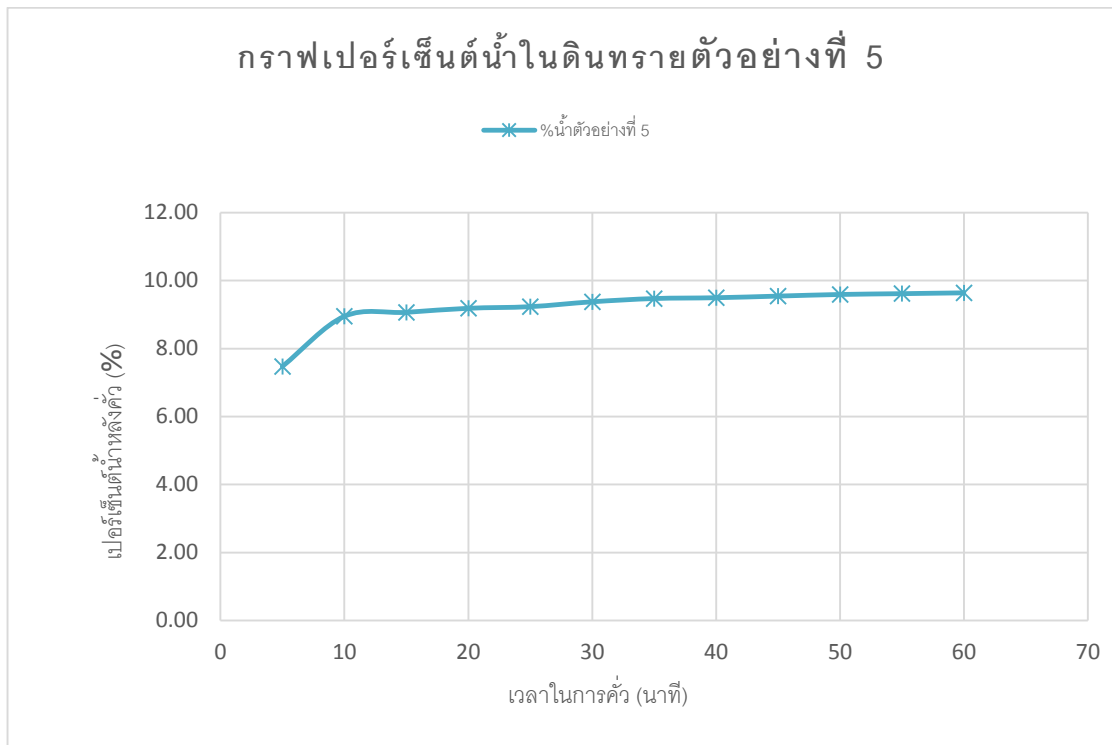
รูปที่ ข.1.3.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 3



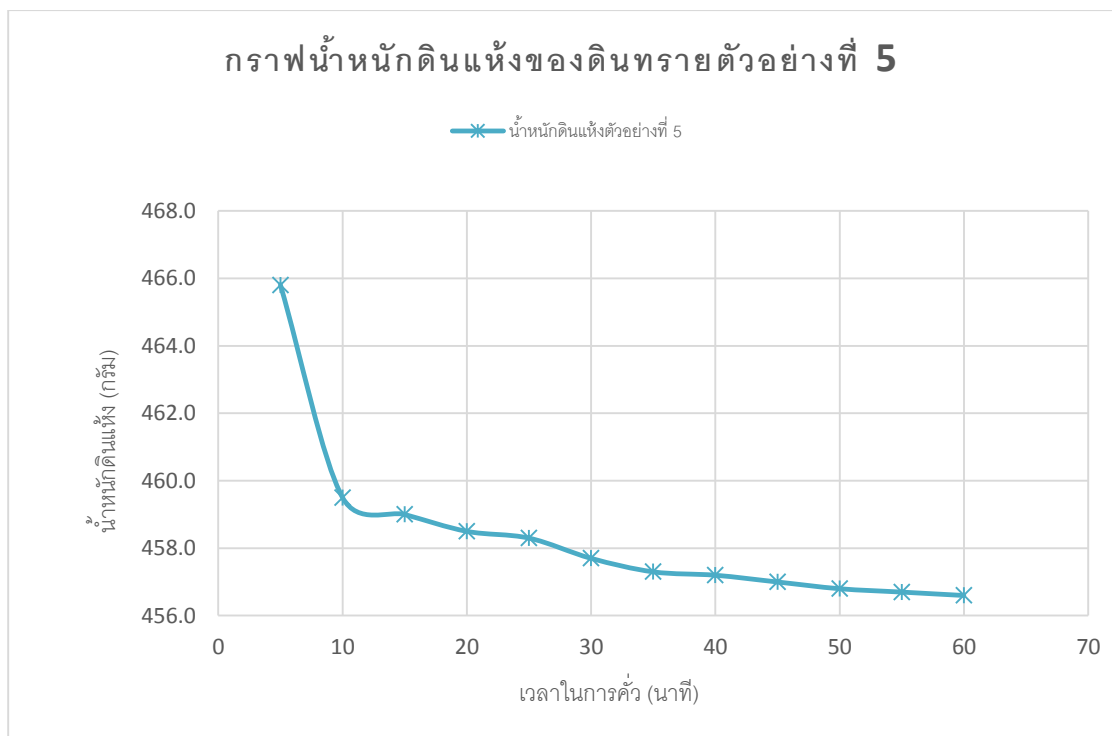
รูปที่ ข.1.4.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 4



รูปที่ ข.1.4.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 4

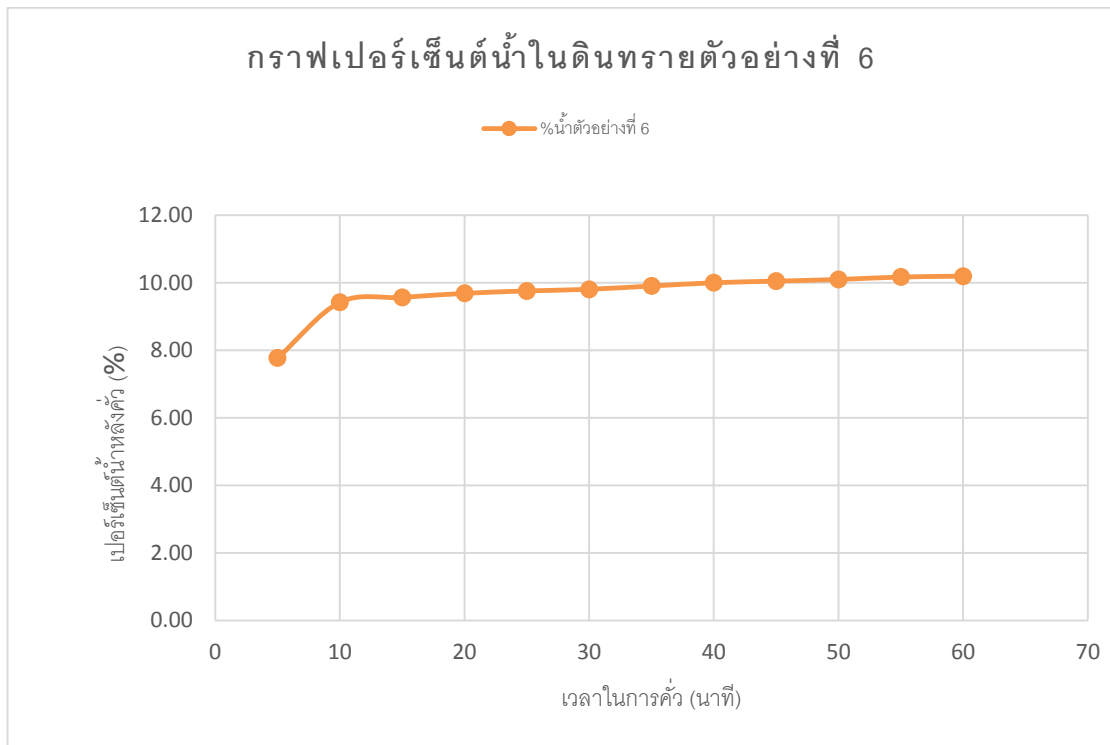


รูปที่ ข.1.5.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 5

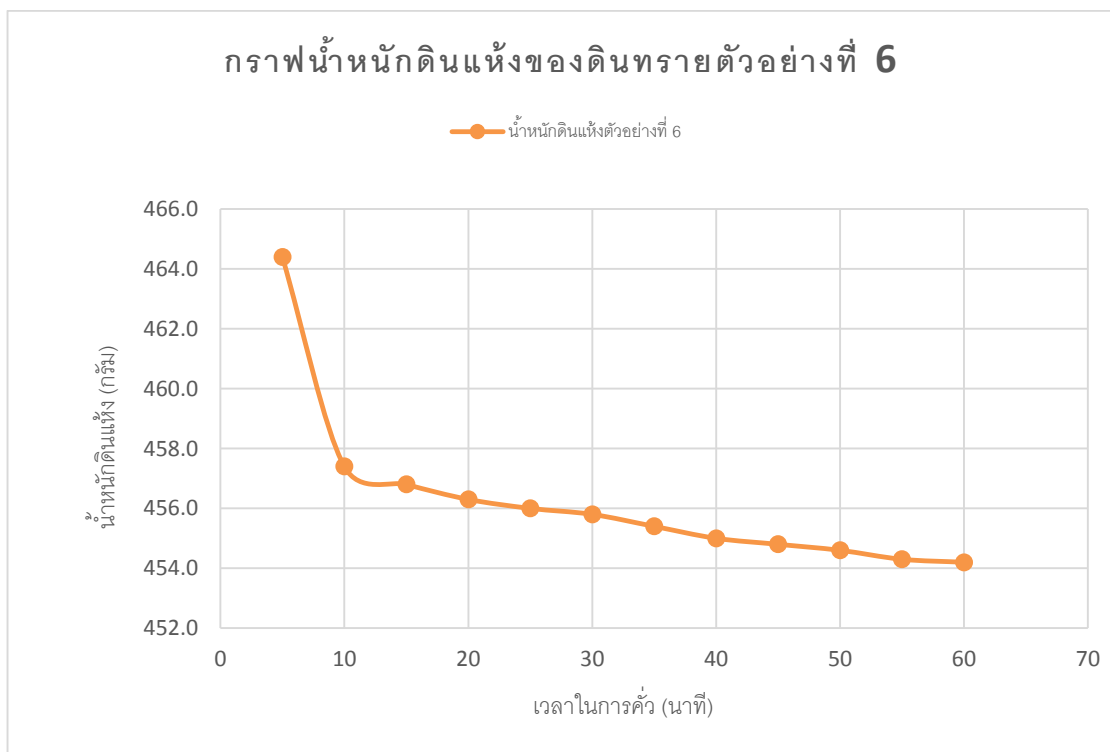


รูปที่ ข.1.5.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 5

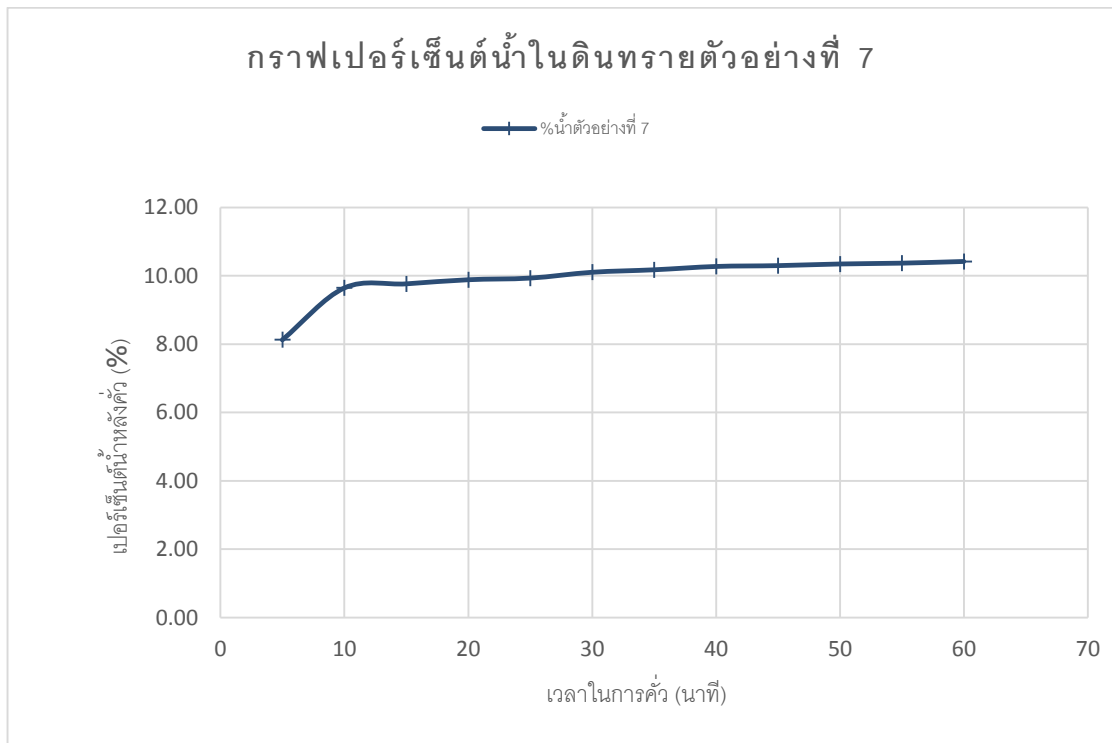
รูป



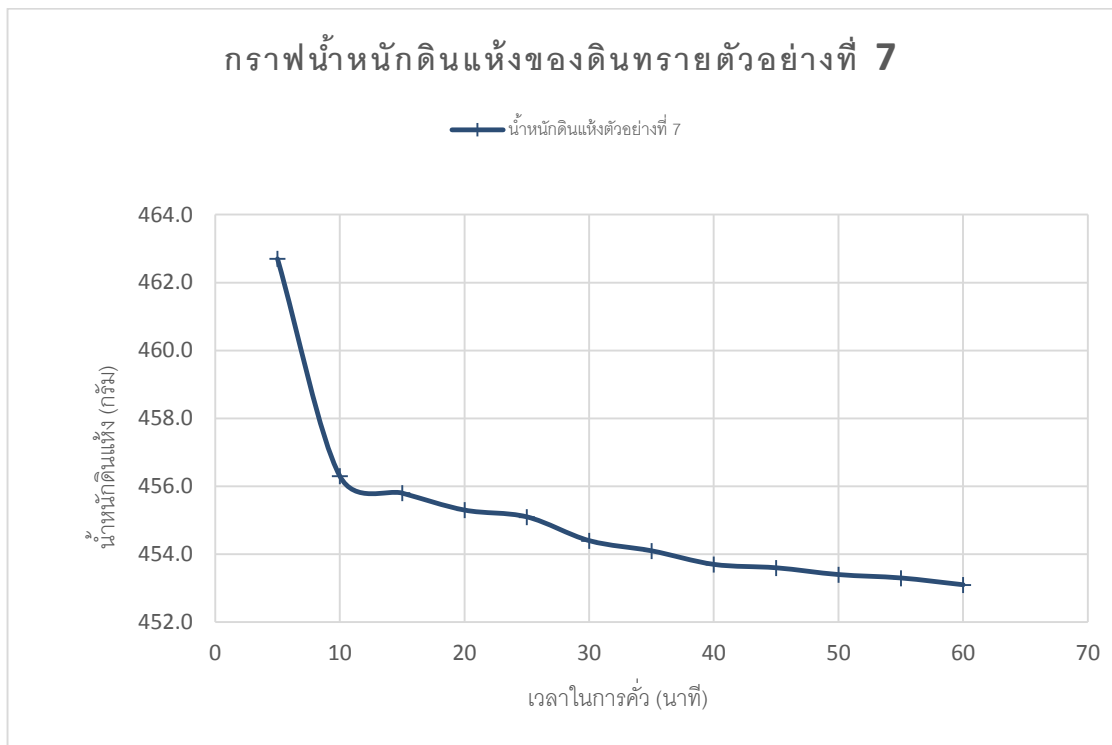
รูปที่ ข.1.6.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 6



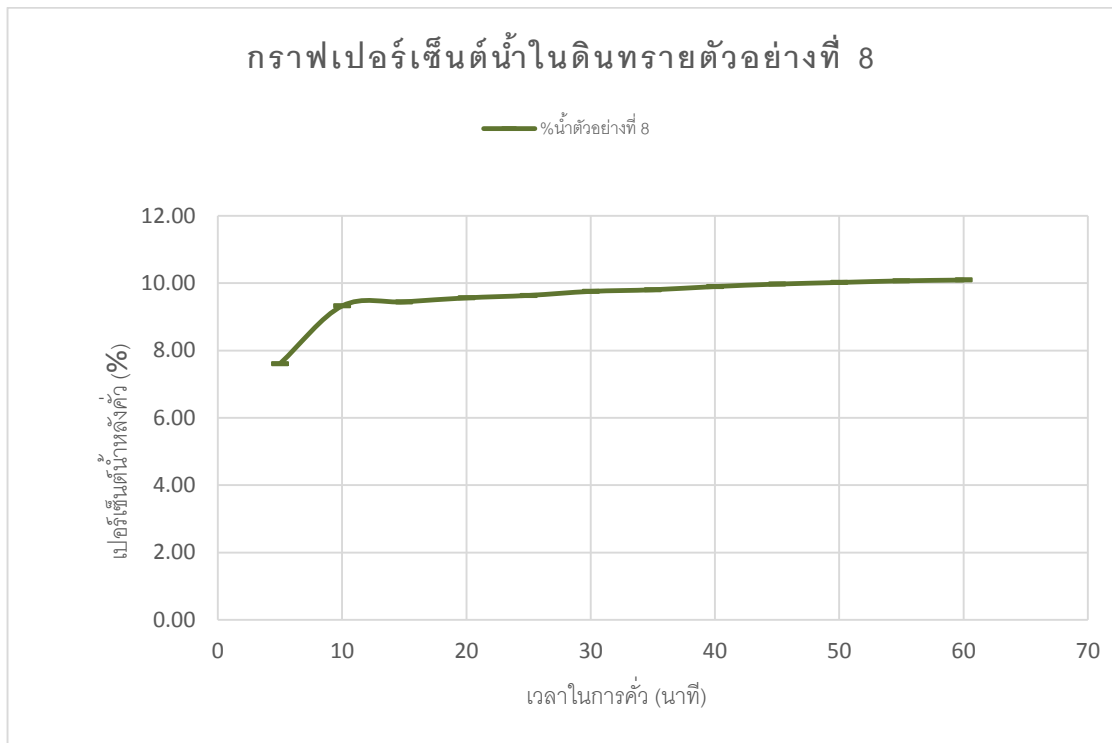
รูปที่ ข.1.6.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 6



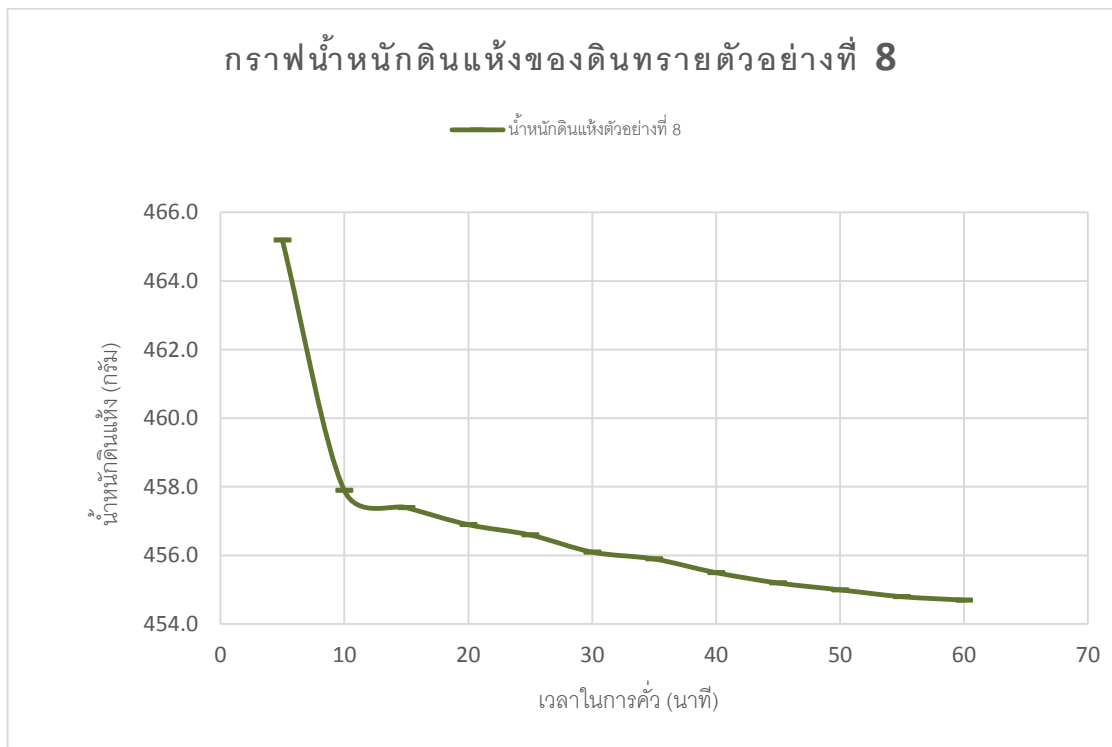
รูปที่ ข.1.7.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 7



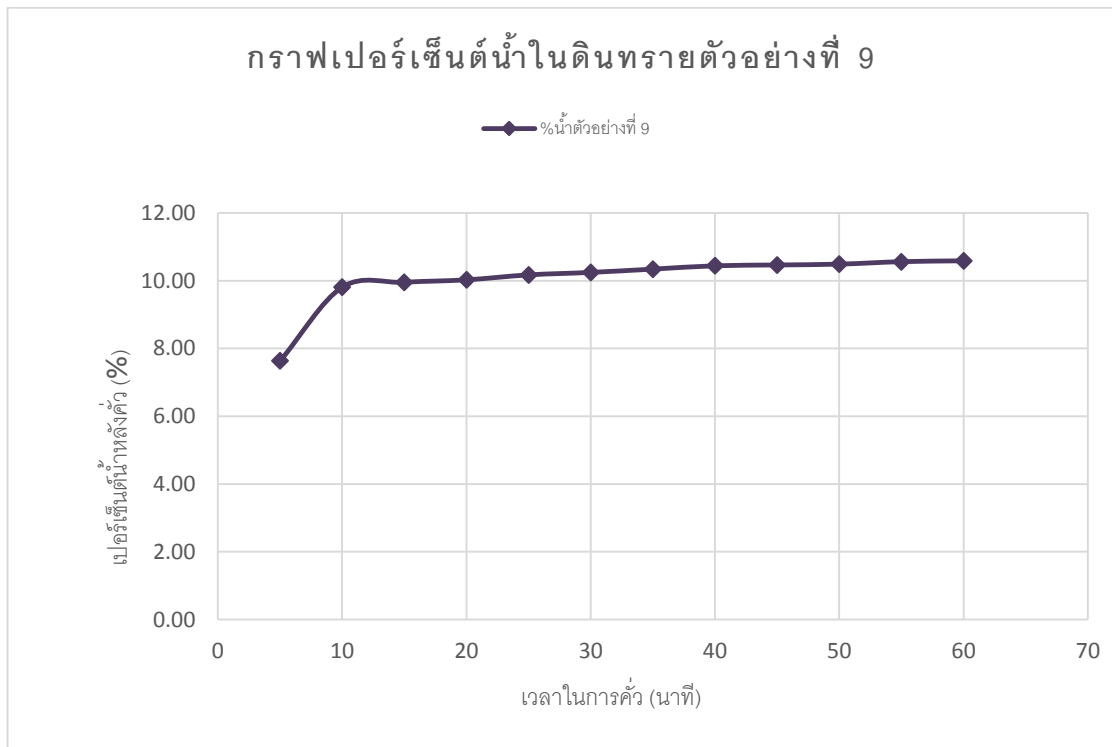
รูปที่ ข.1.7.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 7



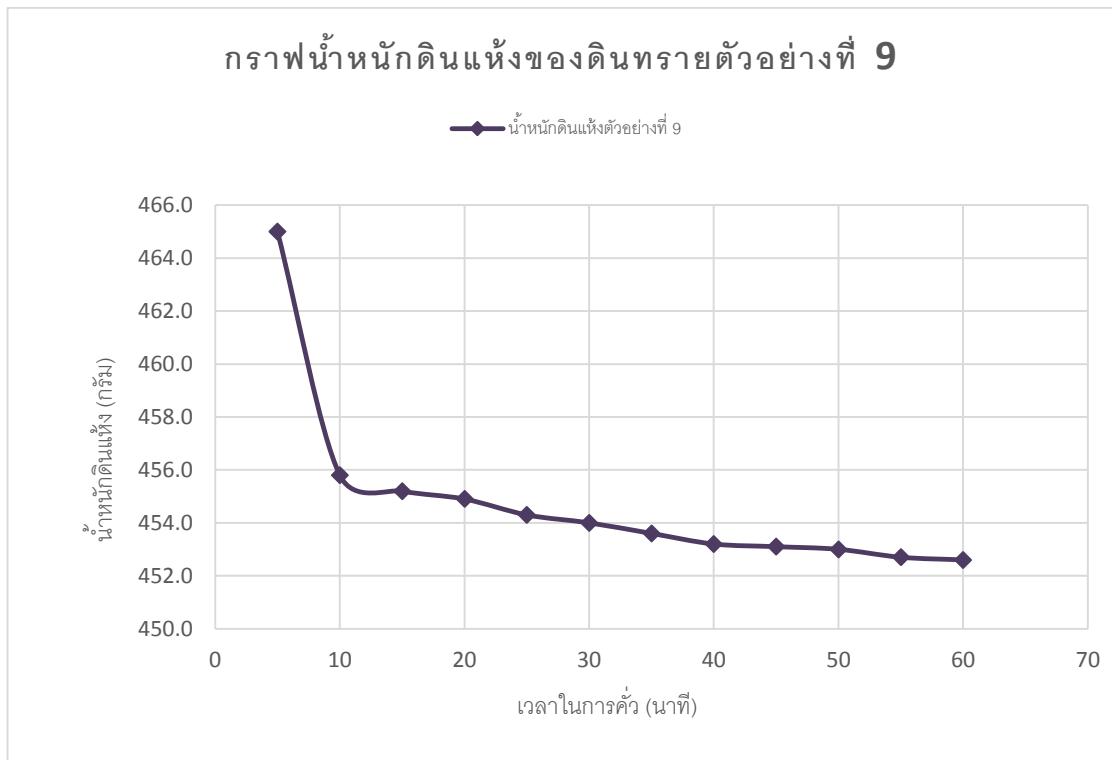
รูปที่ ข.1.8.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 8



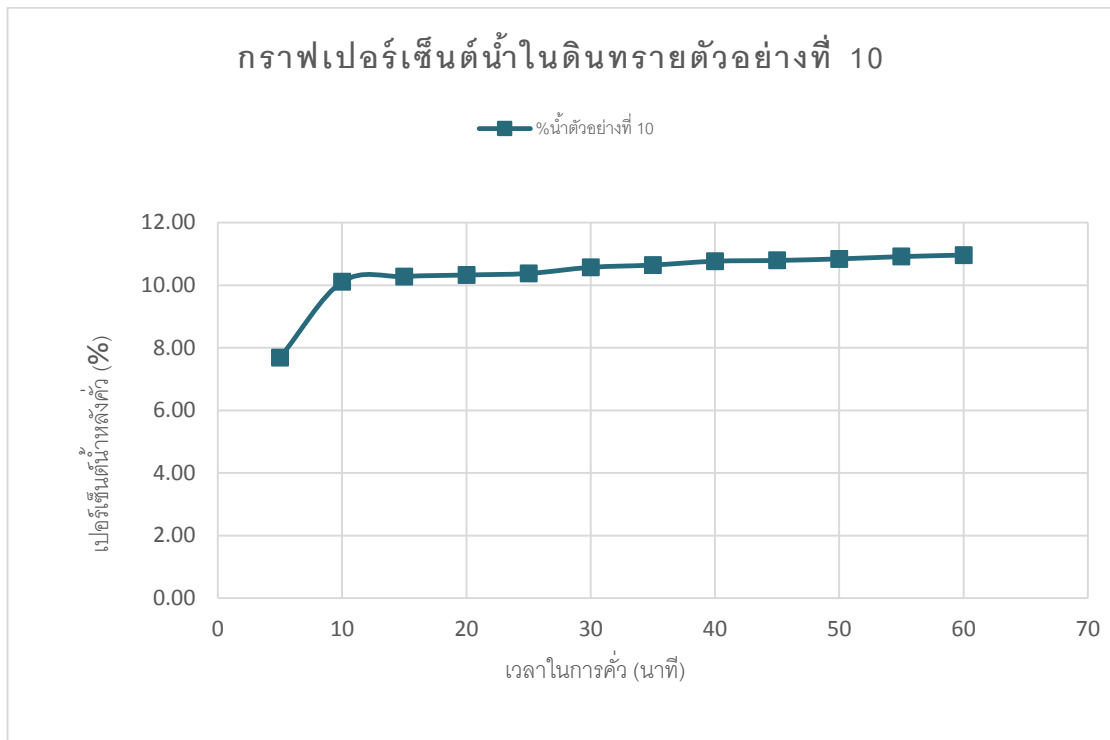
รูปที่ ข.1.8.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 8



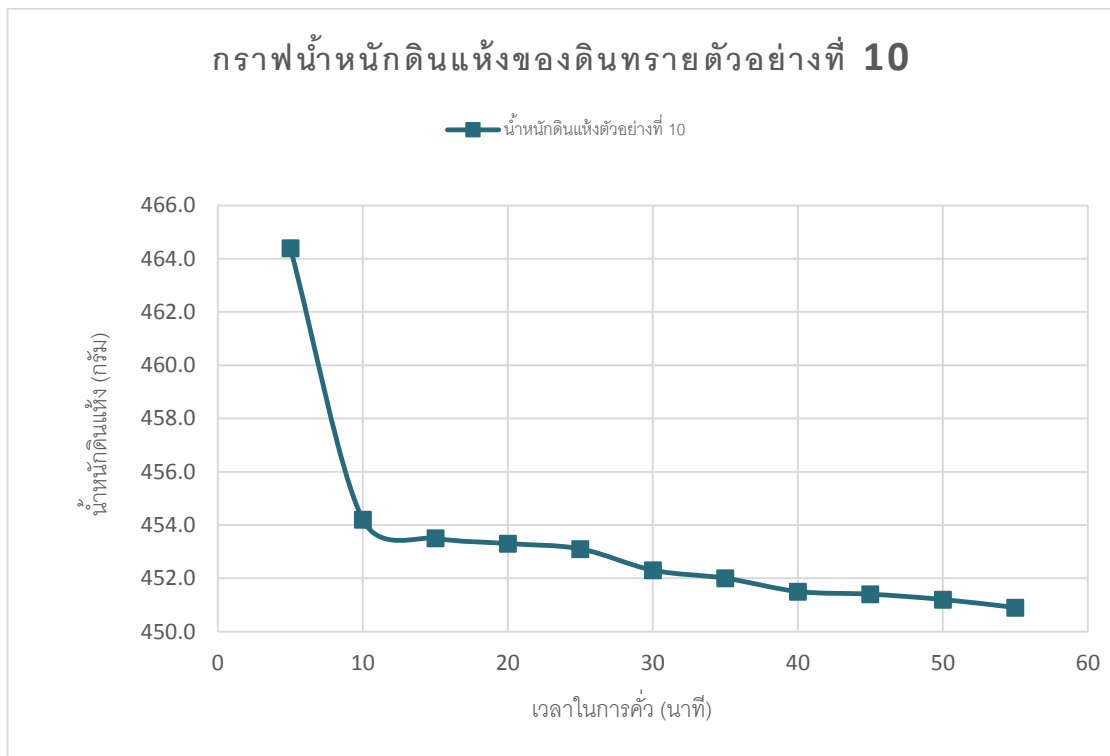
รูปที่ ข.1.9.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 9



รูปที่ ข.1.9.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 9



รูปที่ ข.1.10.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินทรายตัวอย่างที่ 10



รูปที่ ข.1.10.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินทรายตัวอย่างที่ 10

1. การทดลองหาปริมาณน้ำในดินลูกรัง

ตารางที่ ข.2.1 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 1		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.6												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.8												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,251.4												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,251.4	1,218.3	1,206.1	1,204.6	1,203.9	1,203.6	1,203.4	1,203.0	1,202.9	1,202.7	1,202.4	1,202.3	1,202.2
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.8	467.7	455.5	454.0	453.3	453.0	452.8	452.4	452.3	452.1	451.8	451.7	451.6
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	6.61	2.61	0.33	0.15	0.07	0.04	0.09	0.02	0.04	0.07	0.02	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	33.1	45.3	46.8	47.5	47.8	48.0	48.4	48.5	48.7	49.0	49.1	49.2
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.08	9.95	10.31	10.48	10.55	10.60	10.70	10.72	10.77	10.85	10.87	10.89
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	28.84	3.52	1.63	0.69	0.46	0.91	0.23	0.45	0.68	0.23	0.23	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.1.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.1.2

ตารางที่ ข.2.2 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรีดดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 2		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระเทาะ	กรัม	750.2												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.9												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,251.1												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ หลังคั่ว	กรัม	1,251.1	1,213.2	1,204.5	1,203.1	1,202.4	1,202.1	1,201.7	1,201.4	1,201.0	1,200.9	1,200.6	1,200.4	1,200.3
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.9	463.0	454.3	452.9	452.2	451.9	451.5	451.2	450.8	450.7	450.4	450.2	450.1
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.57	1.88	0.31	0.15	0.07	0.09	0.07	0.09	0.02	0.07	0.04	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	37.9	46.6	48.0	48.7	49.0	49.4	49.7	50.1	50.2	50.5	50.7	50.8
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.19	10.26	10.60	10.77	10.84	10.94	11.02	11.11	11.14	11.21	11.26	11.29
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	20.20	3.22	1.59	0.68	0.90	0.67	0.89	0.22	0.66	0.44	0.22	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.2.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.2.2

ตารางที่ ข.2.3 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 3		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระเทาะ	กรัม	751.6												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	501.0												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,252.6												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ หลังคั่ว	กรัม	1,252.6	1,214.3	1,203.1	1,202.1	1,201.4	1,200.9	1,200.8	1,200.8	1,200.5	1,200.3	1,200.0	1,199.8	1,199.4
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	501.0	462.7	451.5	450.5	449.8	449.3	449.2	449.2	448.9	448.7	448.4	448.2	447.8
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.64	2.42	0.22	0.16	0.11	0.02	0.00	0.07	0.04	0.07	0.04	0.09	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	38.3	49.5	50.5	51.2	51.7	51.8	51.8	52.1	52.3	52.6	52.8	53.2
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.28	10.96	11.21	11.38	11.51	11.53	11.53	11.61	11.66	11.73	11.78	11.88
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	24.50	2.20	1.52	1.08	0.22	0.00	0.64	0.43	0.64	0.42	0.84	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.3.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.3.2

ตารางที่ ข.2.4 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรีดดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 4		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระเทาะ	กรัม	750.1												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.3												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,250.4												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ หลังคั่ว	กรัม	1,250.4	1,212.1	1,204.8	1,204.2	1,203.7	1,203.3	1,202.8	1,202.6	1,202.0	1,201.9	1,201.7	1,201.5	1,201.3
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.3	462.0	454.7	454.1	453.6	453.2	452.7	452.5	451.9	451.8	451.6	451.4	451.2
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.66	1.58	0.13	0.11	0.09	0.11	0.04	0.13	0.02	0.04	0.04	0.04	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	38.3	45.6	46.2	46.7	47.1	47.6	47.8	48.4	48.5	48.7	48.9	49.1
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.29	10.03	10.17	10.30	10.39	10.51	10.56	10.71	10.73	10.78	10.83	10.88
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	17.34	1.43	1.18	0.94	1.16	0.46	1.37	0.23	0.45	0.45	0.45	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.4.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.4.2

ตารางที่ ข.2.5 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรีดดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 5		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระเทาะ	กรัม	750.4												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	503.8												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,254.2												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ หลังคั่ว	กรัม	1,254.2	1,216.0	1,204.7	1,204.2	1,203.8	1,203.5	1,202.9	1,202.5	1,202.4	1,202.2	1,202.0	1,201.9	1,201.8
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	503.8	465.6	454.3	453.8	453.4	453.1	452.5	452.1	452.0	451.8	451.6	451.5	451.4
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.58	2.43	0.11	0.09	0.07	0.13	0.09	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	38.2	49.5	50.0	50.4	50.7	51.3	51.7	51.8	52.0	52.2	52.3	52.4
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.20	10.90	11.02	11.12	11.19	11.34	11.44	11.46	11.51	11.56	11.58	11.61
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	24.70	1.11	0.88	0.66	1.30	0.86	0.22	0.43	0.43	0.21	0.21	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.5.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.5.2

ตารางที่ ข.2.6 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรีดดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 6

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 6		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	751.2												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	501.4												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,252.6												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,252.6	1,214.8	1,204.7	1,204.0	1,202.7	1,202.6	1,202.2	1,201.5	1,201.4	1,201.2	1,201.0	1,200.8	1,200.7
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	501.4	463.6	453.5	452.8	451.5	451.4	451.0	450.3	450.2	450.0	449.8	449.6	449.5
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.54	2.18	0.15	0.29	0.02	0.09	0.16	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	37.8	47.9	48.6	49.9	50.0	50.4	51.1	51.2	51.4	51.6	51.8	51.9
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.15	10.56	10.73	11.05	11.08	11.18	11.35	11.37	11.42	11.47	11.52	11.55
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	22.80	1.59	2.88	0.22	0.88	1.52	0.22	0.43	0.43	0.43	0.21	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.6.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.6.2

ตารางที่ ข.2.7 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 7

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 7		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระเทาะ	กรัม	750.4												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	502.4												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,252.8												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ หลังคั่ว	กรัม	1,252.8	1,215.9	1,207.5	1,206.0	1,204.5	1,203.3	1,202.6	1,202.3	1,201.9	1,201.8	1,201.6	1,201.1	1,200.5
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	502.4	465.5	457.1	455.6	454.1	452.9	452.2	451.9	451.5	451.4	451.2	450.7	450.1
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.34	1.80	0.33	0.33	0.26	0.15	0.07	0.09	0.02	0.04	0.11	0.13	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	36.9	45.3	46.8	48.3	49.5	50.2	50.5	50.9	51.0	51.2	51.7	52.3
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	7.93	9.91	10.27	10.64	10.93	11.10	11.18	11.27	11.30	11.35	11.47	11.62
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	20.01	3.52	3.42	2.68	1.55	0.66	0.87	0.22	0.43	1.08	1.28	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.7.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.7.2

ตารางที่ ข.2.8 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหน้กดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 8

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 8		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	751.1												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	503.4												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,254.5												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,254.5	1,215.3	1,205.0	1,204.7	1,204.0	1,203.7	1,203.6	1,203.0	1,202.6	1,202.3	1,202.1	1,201.9	1,201.8
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	503.4	464.2	453.9	453.6	452.9	452.6	452.5	451.9	451.5	451.2	451.0	450.8	450.7
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.79	2.22	0.07	0.15	0.07	0.02	0.13	0.09	0.07	0.04	0.04	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	39.2	49.5	49.8	50.5	50.8	50.9	51.5	51.9	52.2	52.4	52.6	52.7
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.44	10.91	10.98	11.15	11.22	11.25	11.40	11.50	11.57	11.62	11.67	11.69
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	22.57	0.67	1.54	0.66	0.22	1.30	0.86	0.64	0.43	0.42	0.21	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.8.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.8.2

ตารางที่ ข.2.9 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหน้กดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 9

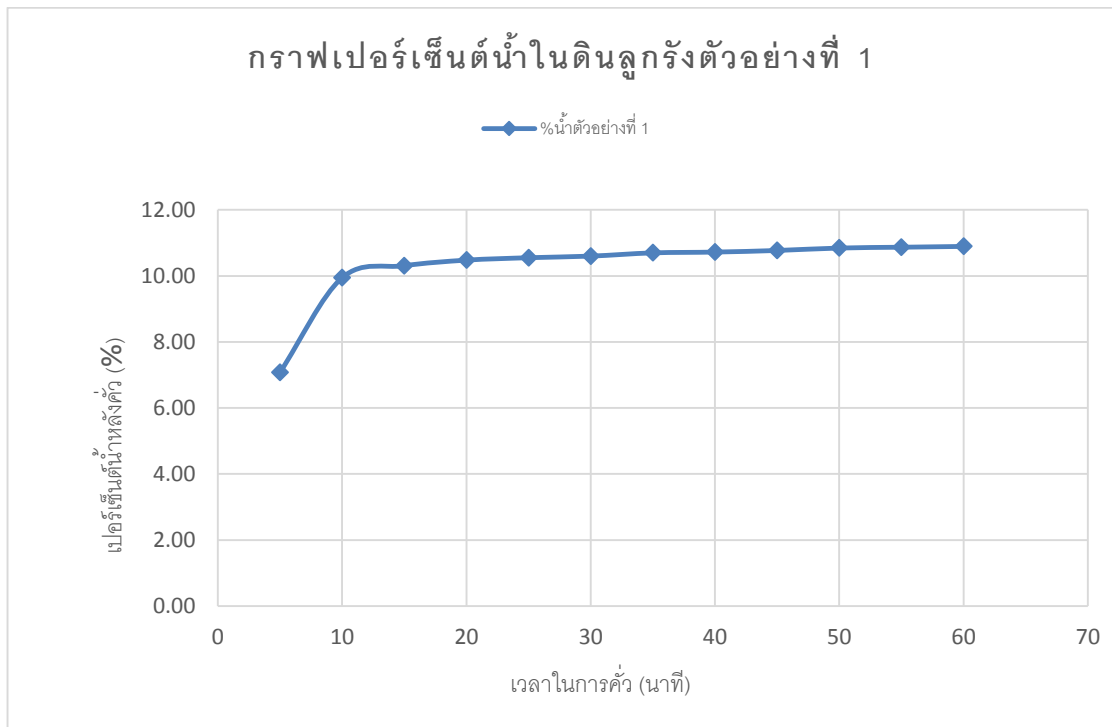
ตัวอย่างดินลูกรังที่ 9		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.7												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	503.8												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,254.5												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,254.5	1,215.5	1,206.3	1,205.7	1,205.4	1,204.8	1,204.5	1,204.1	1,203.7	1,203.6	1,203.5	1,203.2	1,203.1
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	503.8	464.8	455.6	455.0	454.7	454.1	453.8	453.4	453.0	452.9	452.8	452.5	452.4
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.74	1.98	0.13	0.07	0.13	0.07	0.09	0.09	0.02	0.02	0.07	0.02	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	39.0	48.2	48.8	49.1	49.7	50.0	50.4	50.8	50.9	51.0	51.3	51.4
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.39	10.58	10.73	10.80	10.94	11.02	11.12	11.21	11.24	11.26	11.34	11.36
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	20.69	1.36	0.68	1.34	0.67	0.88	0.87	0.22	0.22	0.65	0.22	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.9.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.9.2

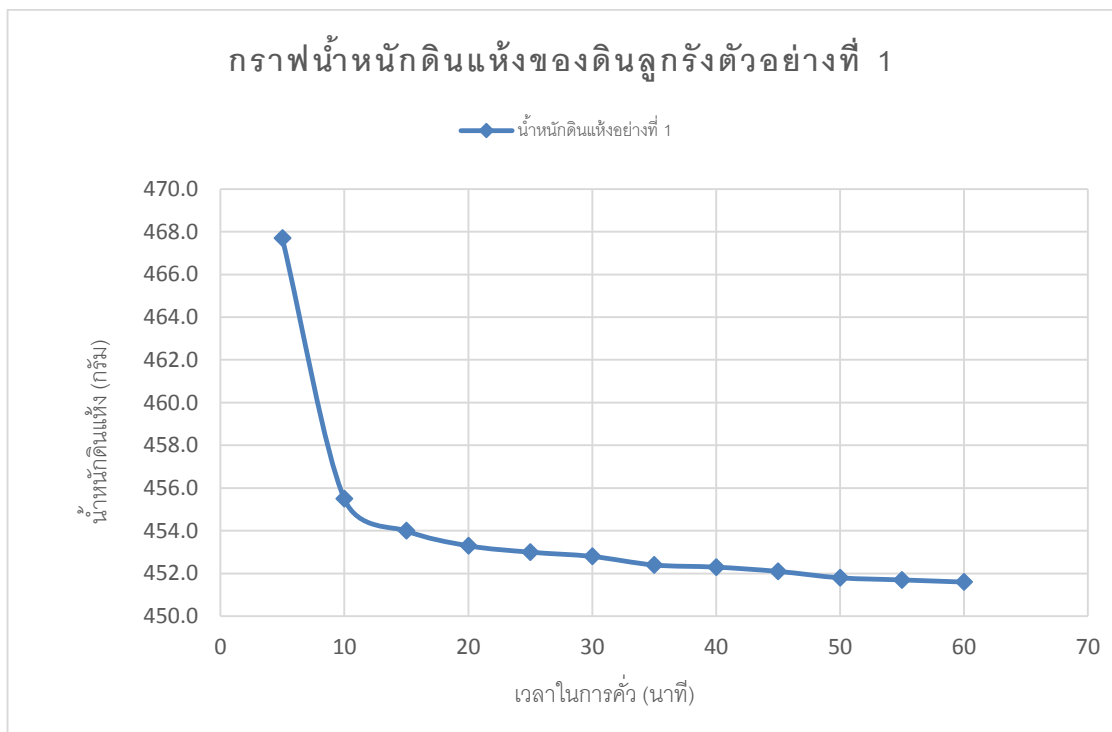
ตารางที่ ข.2.10 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรีดดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 10

ตัวอย่างดินลูกรังที่ 10		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระเทาะ	กรัม	750.7												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.7												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,251.4												
น้ำหนักดิน+กระเทาะ หลังคั่ว	กรัม	1,251.4	1,212.8	1,206.6	1,204.9	1,204.5	1,203.5	1,202.7	1,202.4	1,201.8	1,201.7	1,201.5	1,201.3	1,201.0
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.7	462.1	455.9	454.2	453.8	452.8	452.0	451.7	451.1	451.0	450.8	450.6	450.3
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	7.71	1.34	0.37	0.09	0.22	0.18	0.07	0.13	0.02	0.04	0.04	0.07	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	38.6	44.8	46.5	46.9	47.9	48.7	49.0	49.6	49.7	49.9	50.1	50.4
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	8.35	9.83	10.24	10.33	10.58	10.77	10.85	11.00	11.02	11.07	11.12	11.19
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	15.00	4.02	0.94	2.30	1.82	0.68	1.34	0.22	0.44	0.44	0.66	0.00

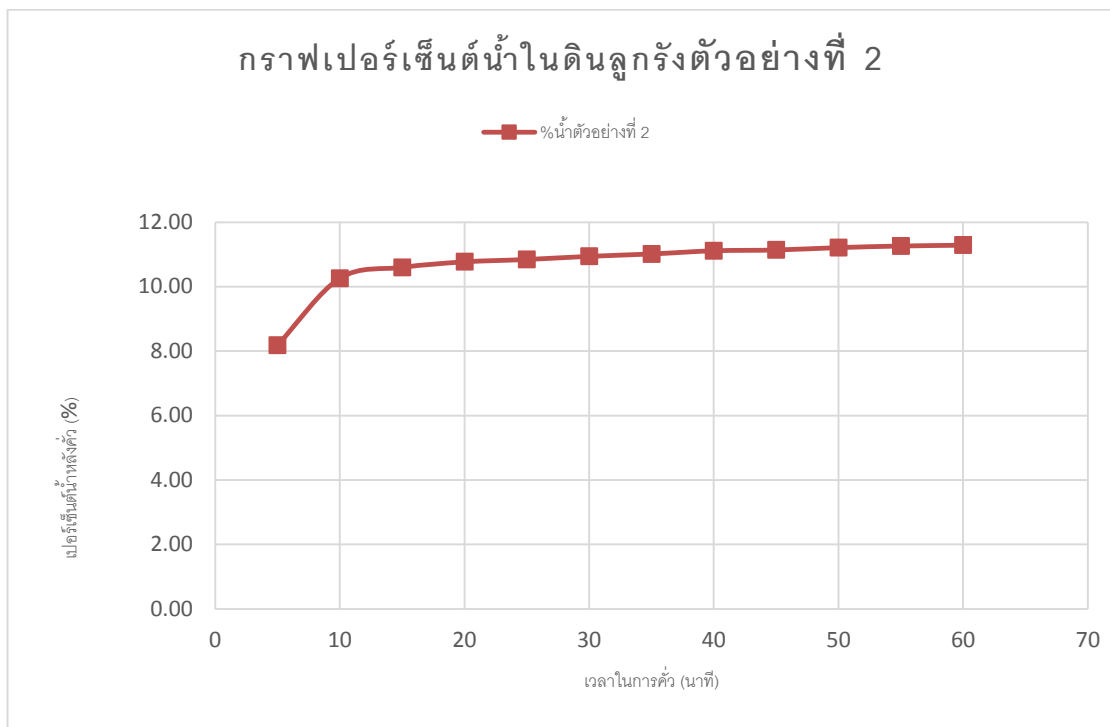
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.10.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.2.10.2



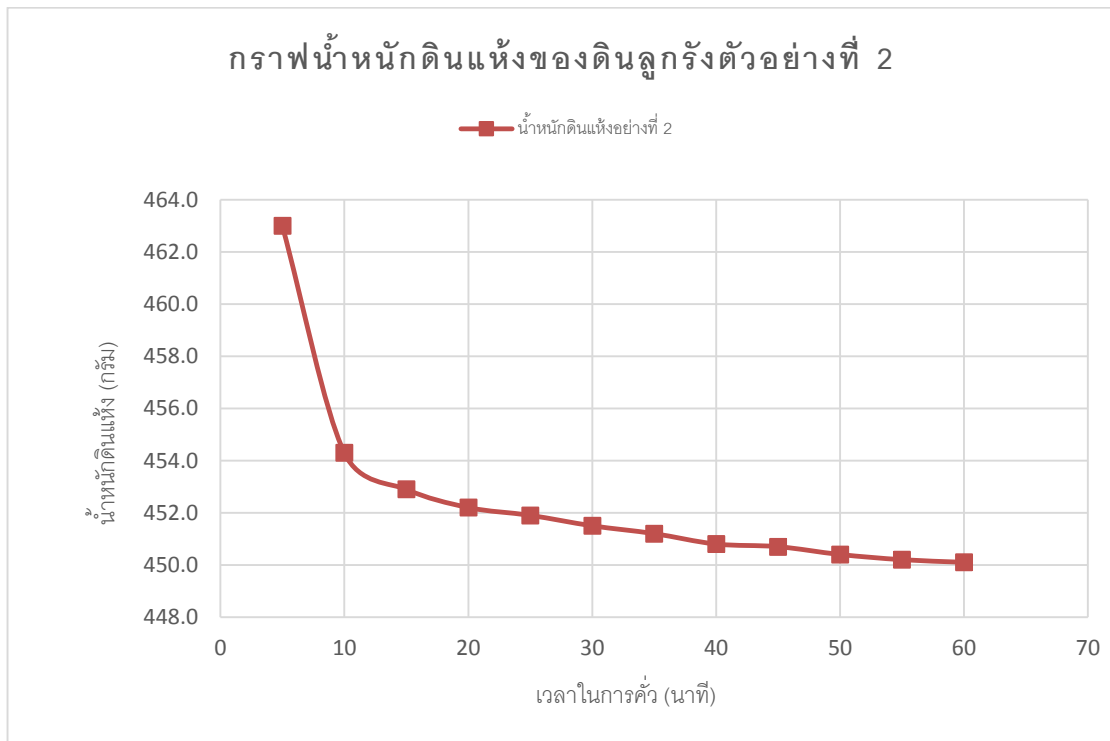
รูปที่ ข.2.1.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 1



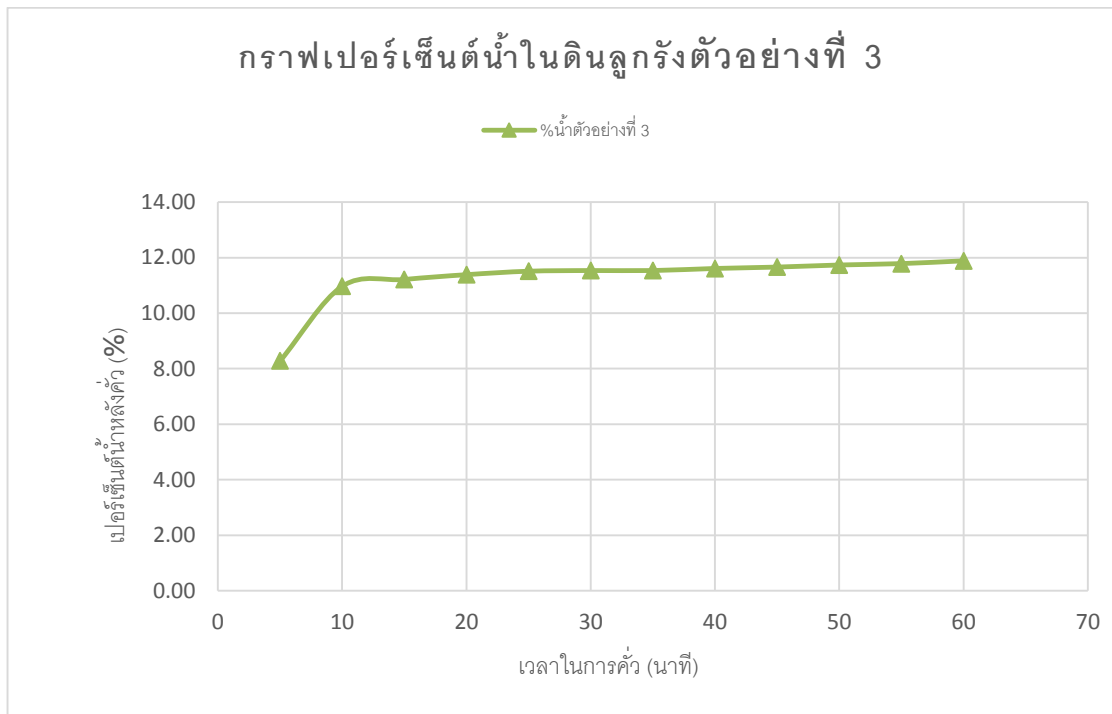
รูปที่ ข.2.1.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 1



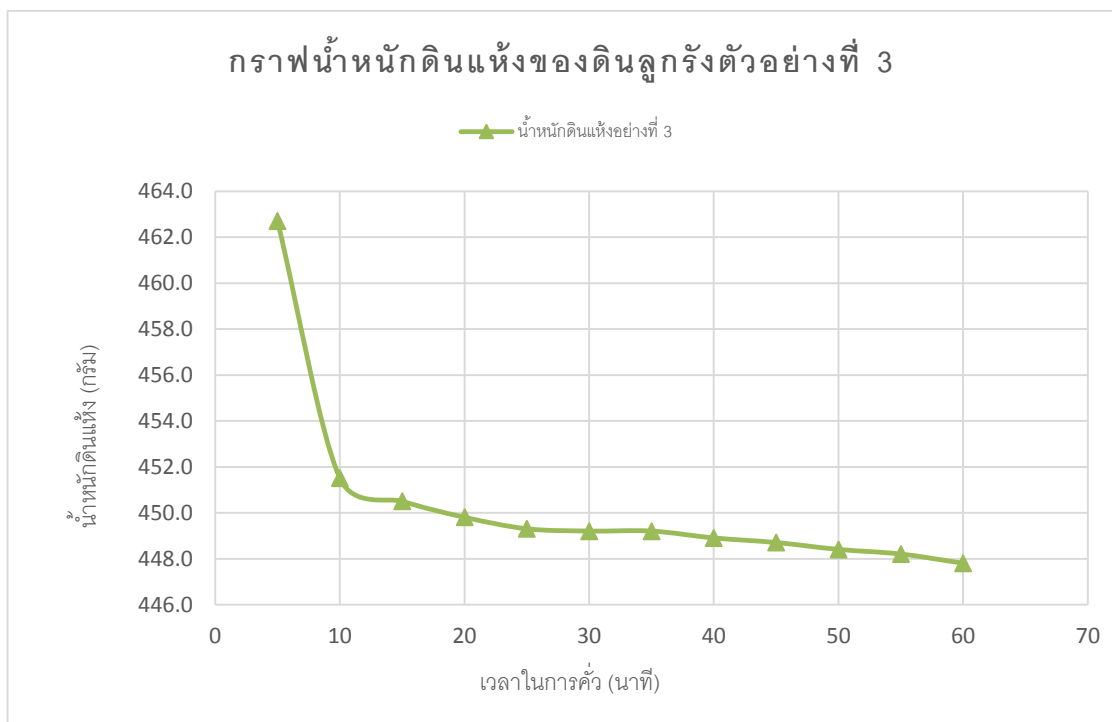
รูปที่ ข.2.2.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 2



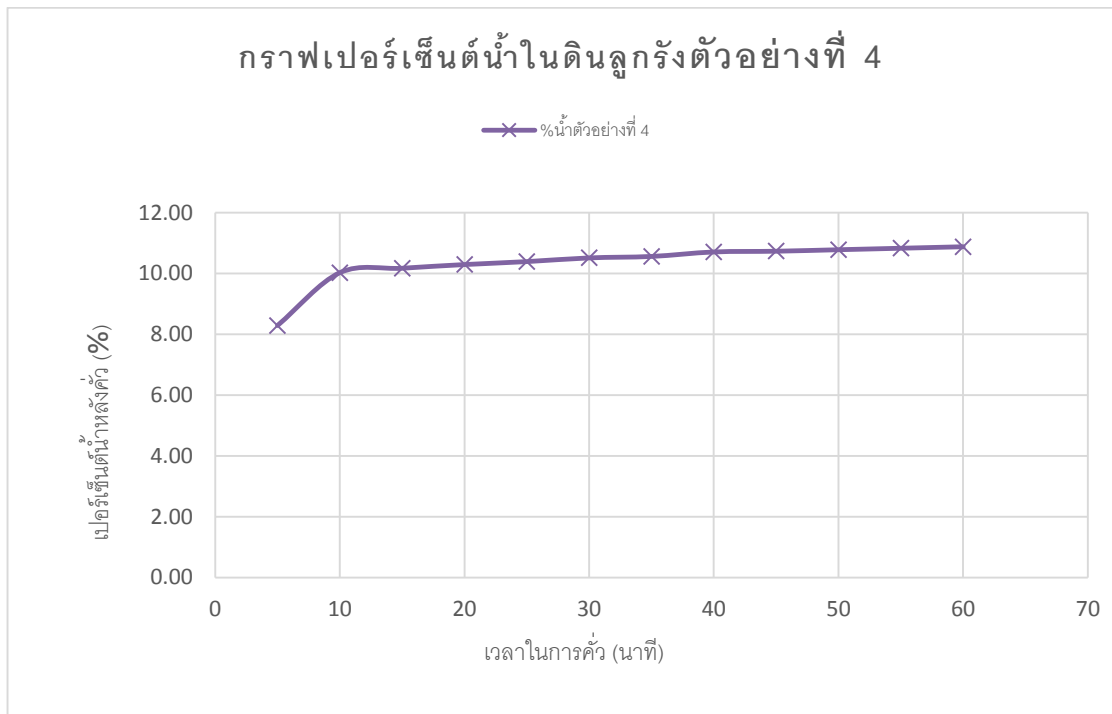
รูปที่ ข.2.2.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 2



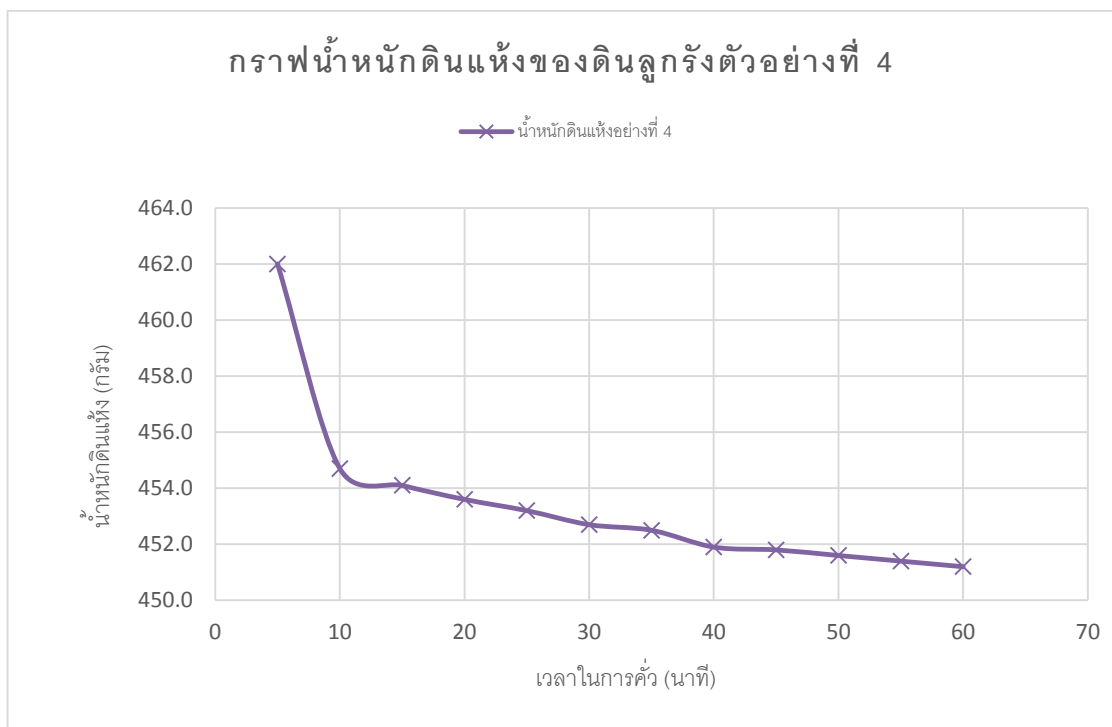
รูปที่ ข.2.3.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 3



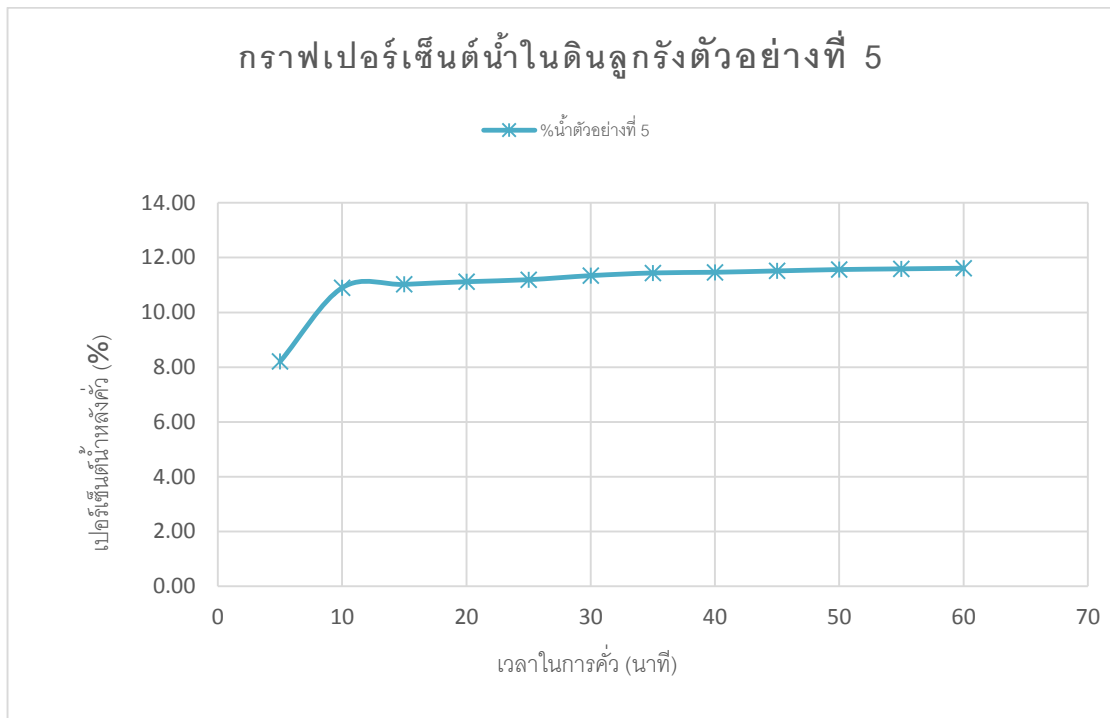
รูปที่ ข.2.3.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 3



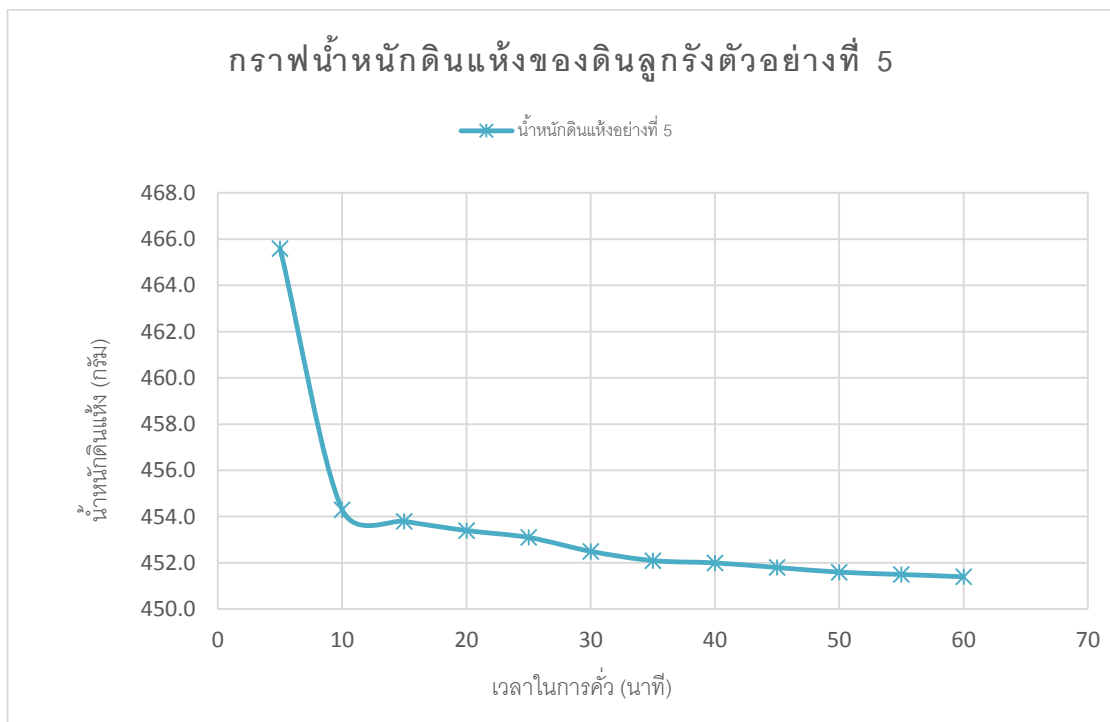
รูปที่ ข.2.4.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 4



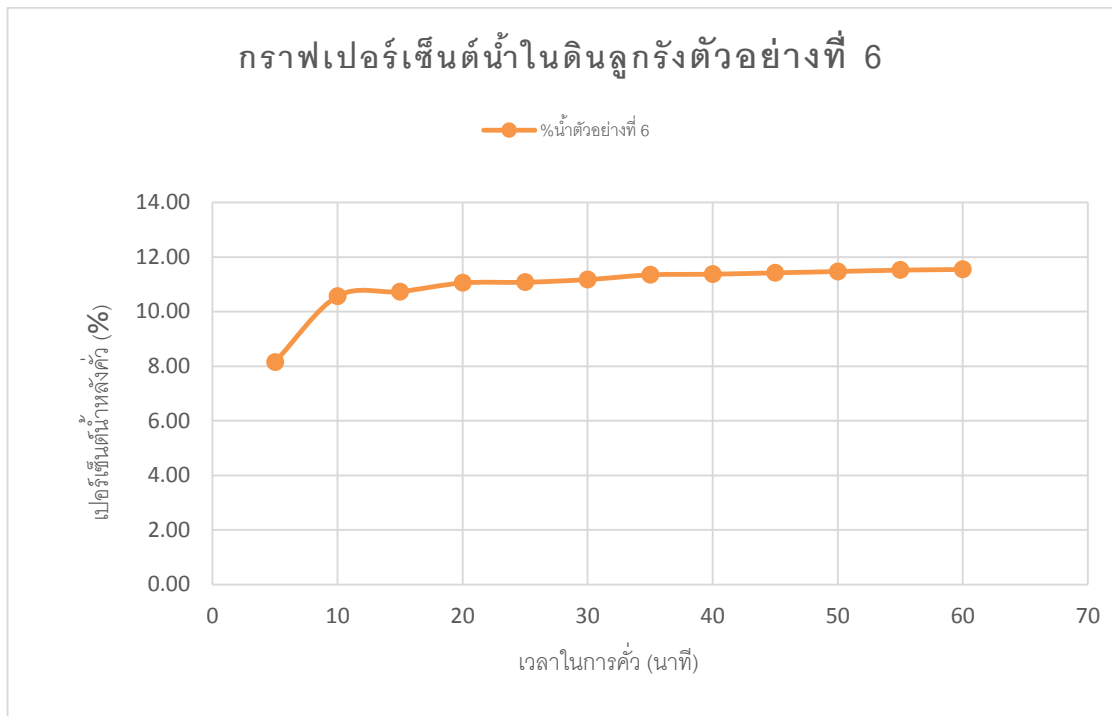
รูปที่ ข.2.4.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 4



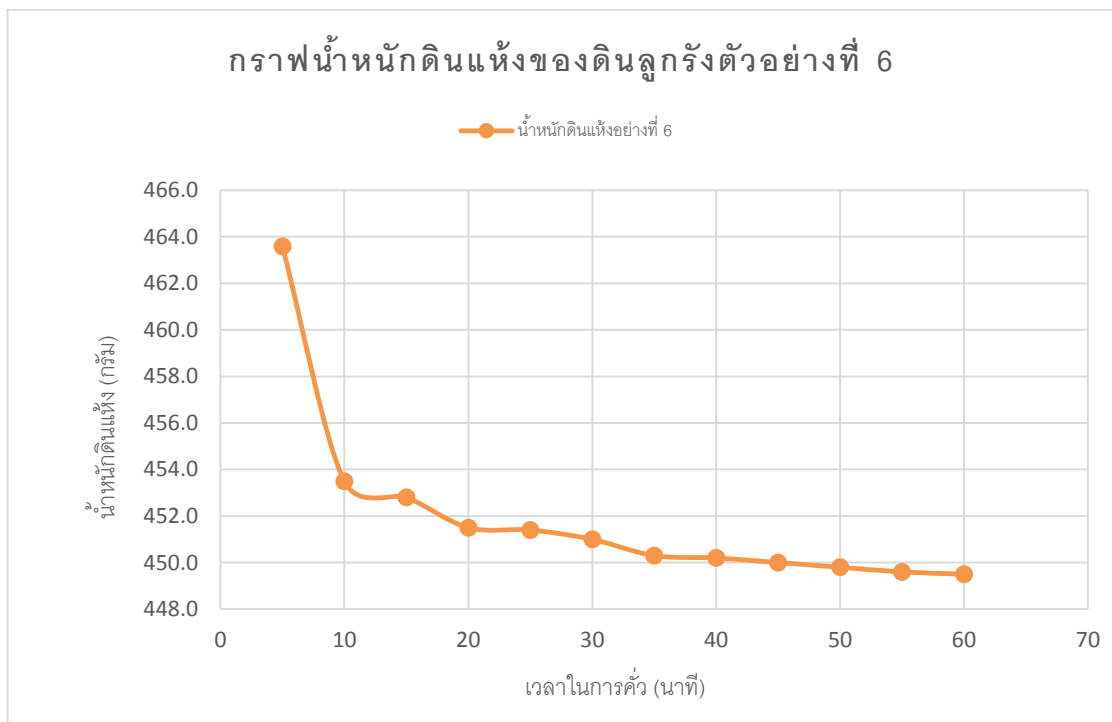
รูปที่ ข.2.5.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 5



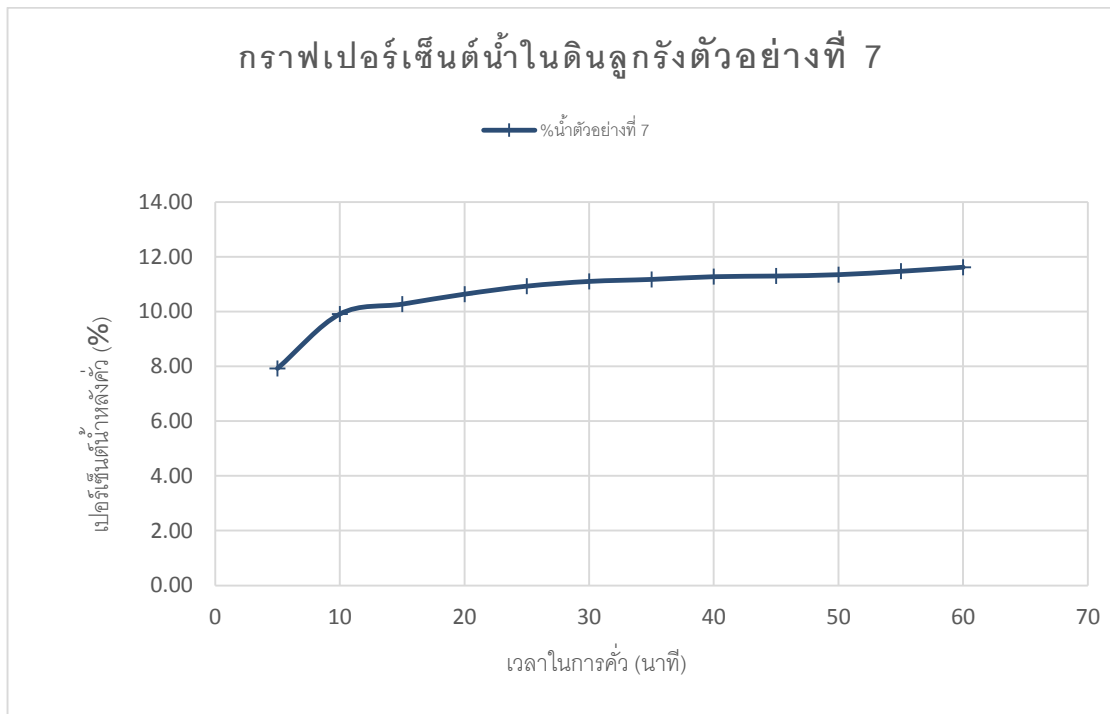
รูปที่ ข.2.5.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 5



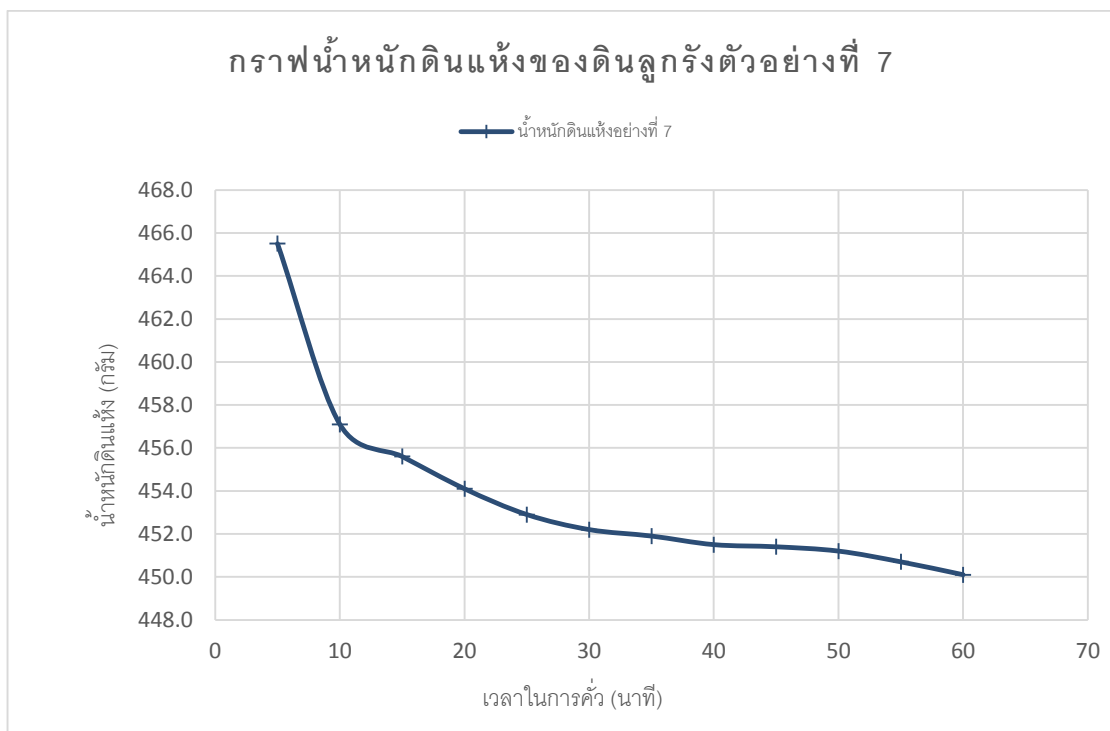
รูปที่ ข.2.6.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 6



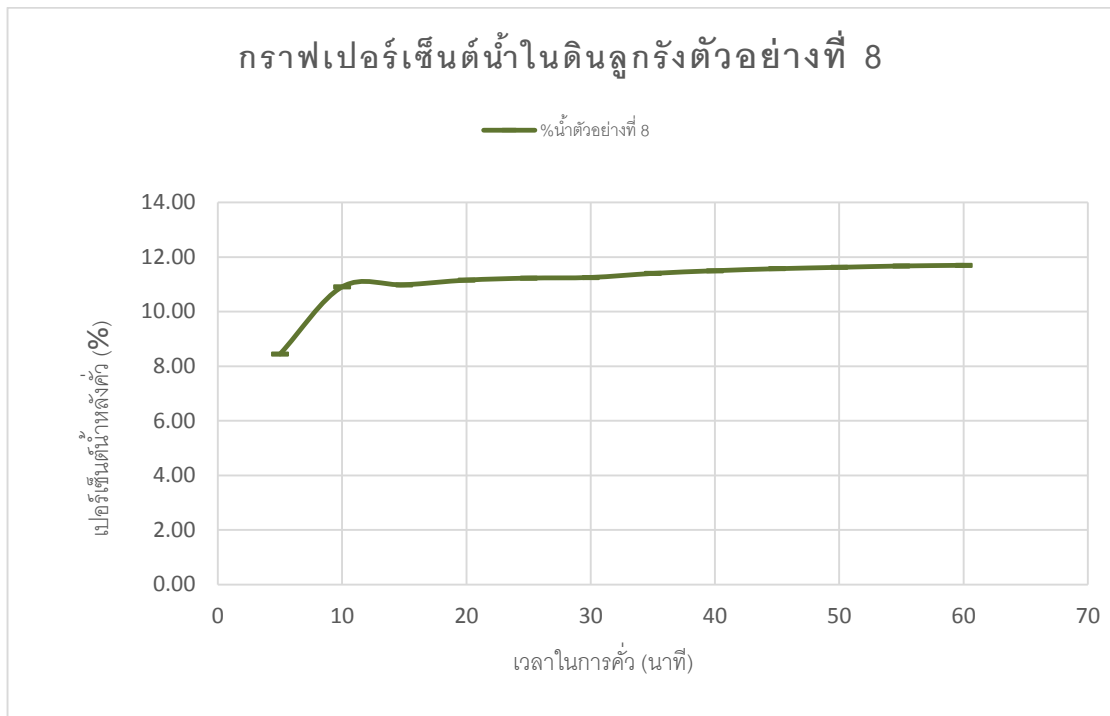
รูปที่ ข.2.6.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 6



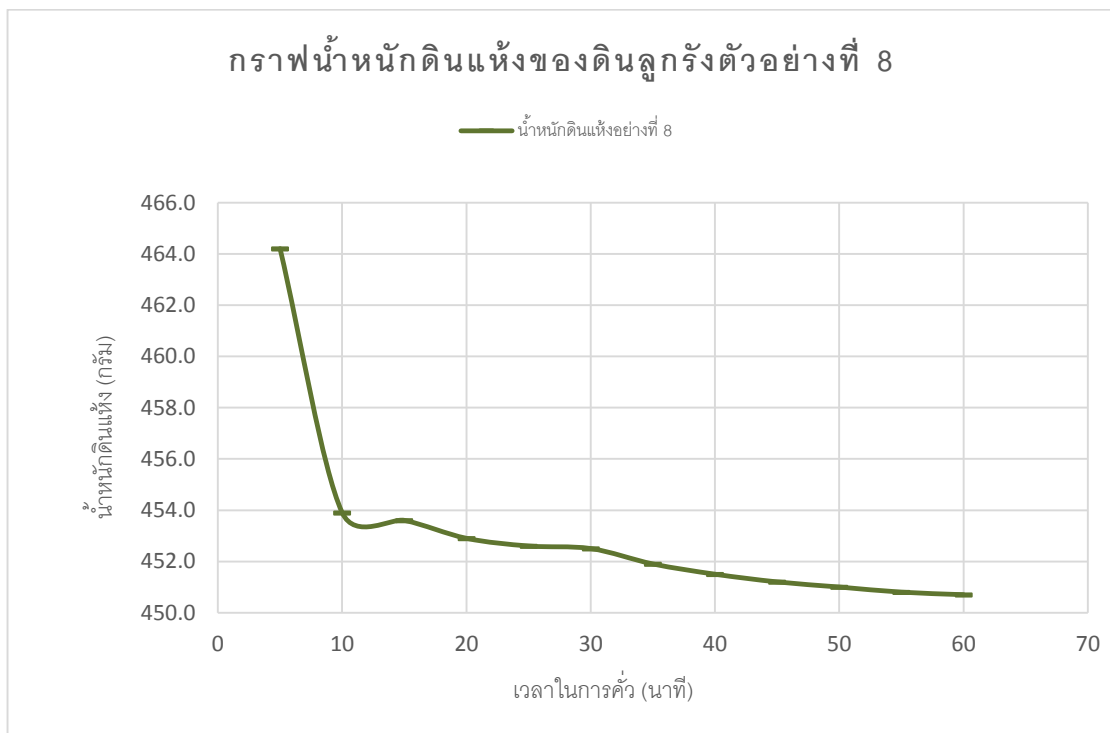
รูปที่ ข.2.7.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 7



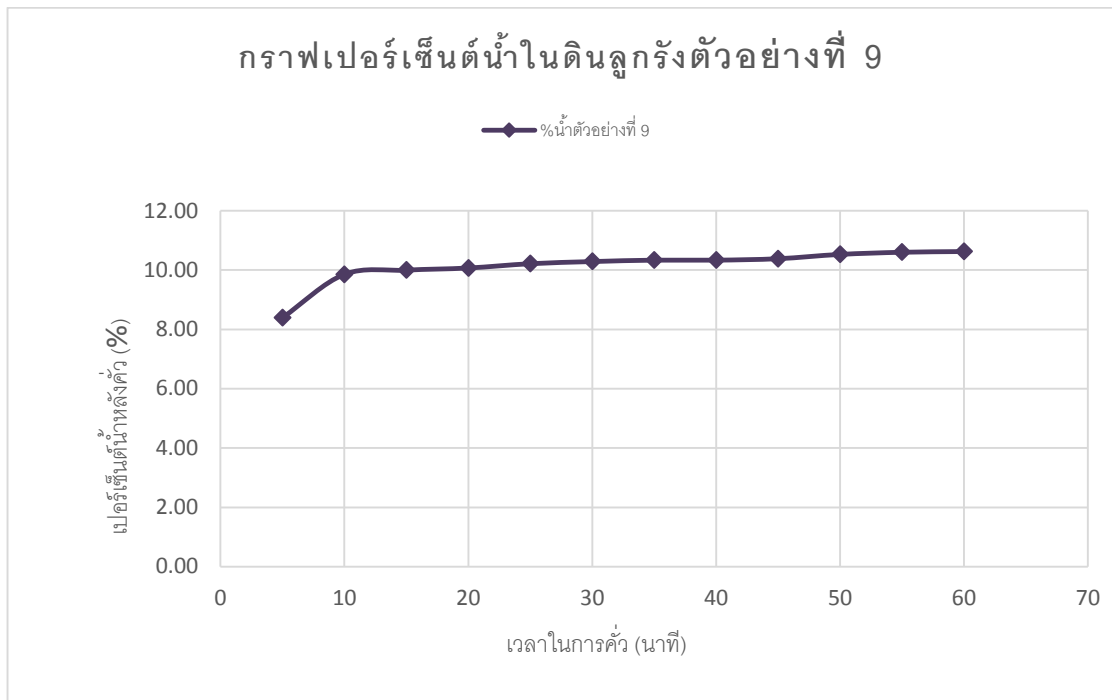
รูปที่ ข.2.7.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 7



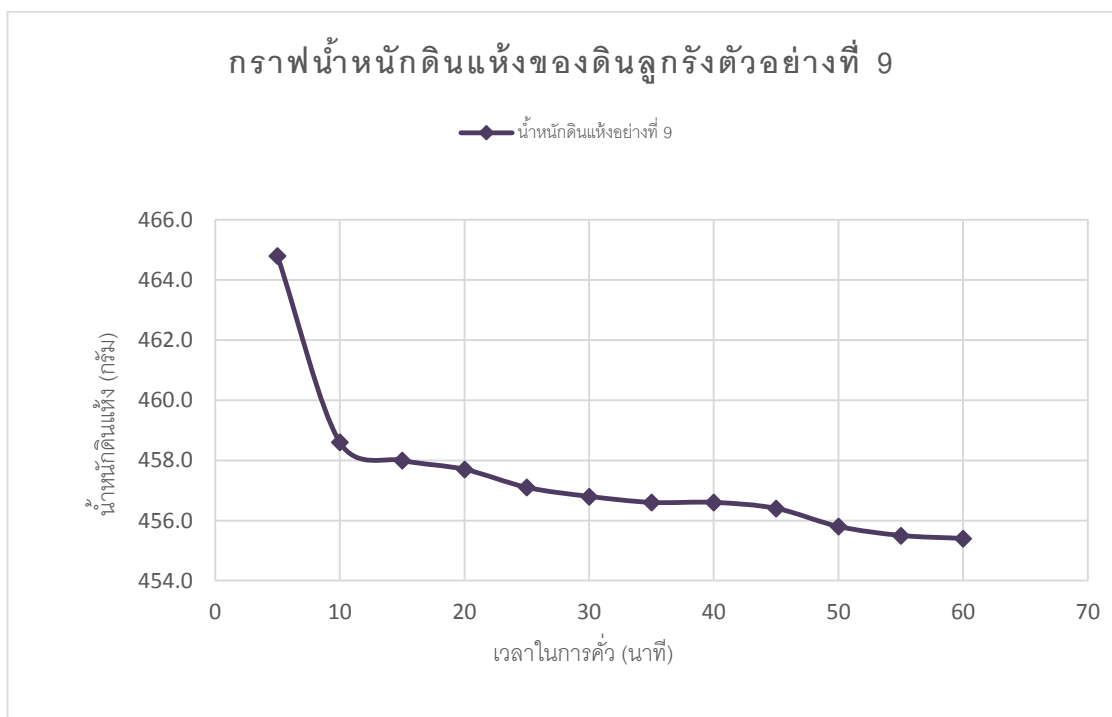
รูปที่ ข.2.8.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 8



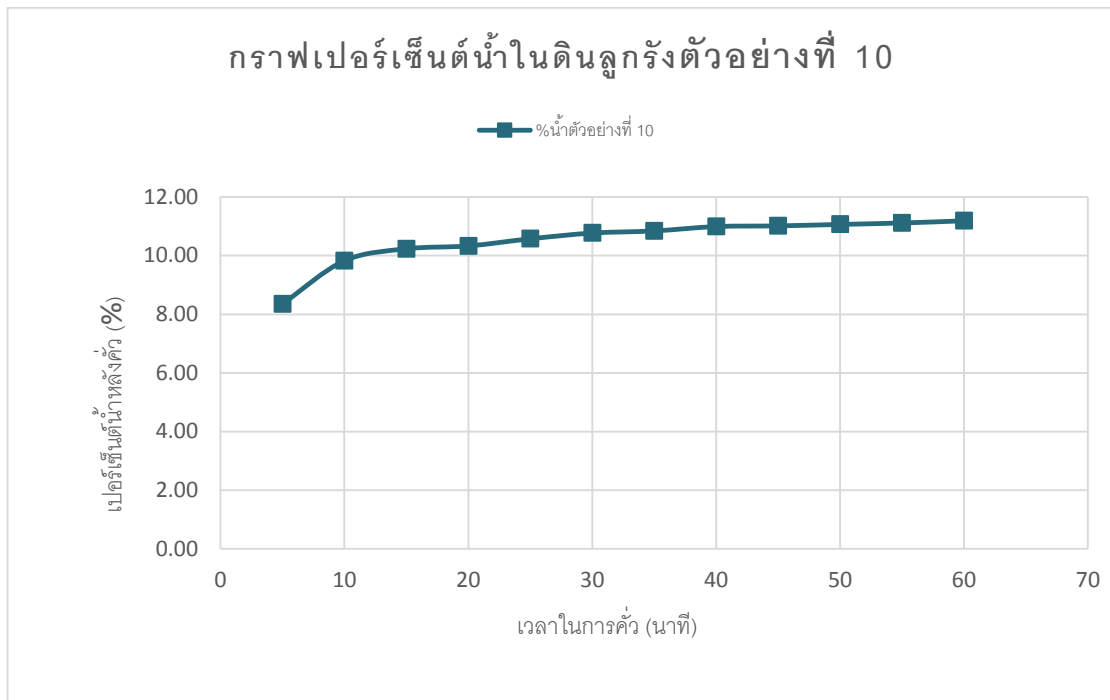
รูปที่ ข.2.8.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 8



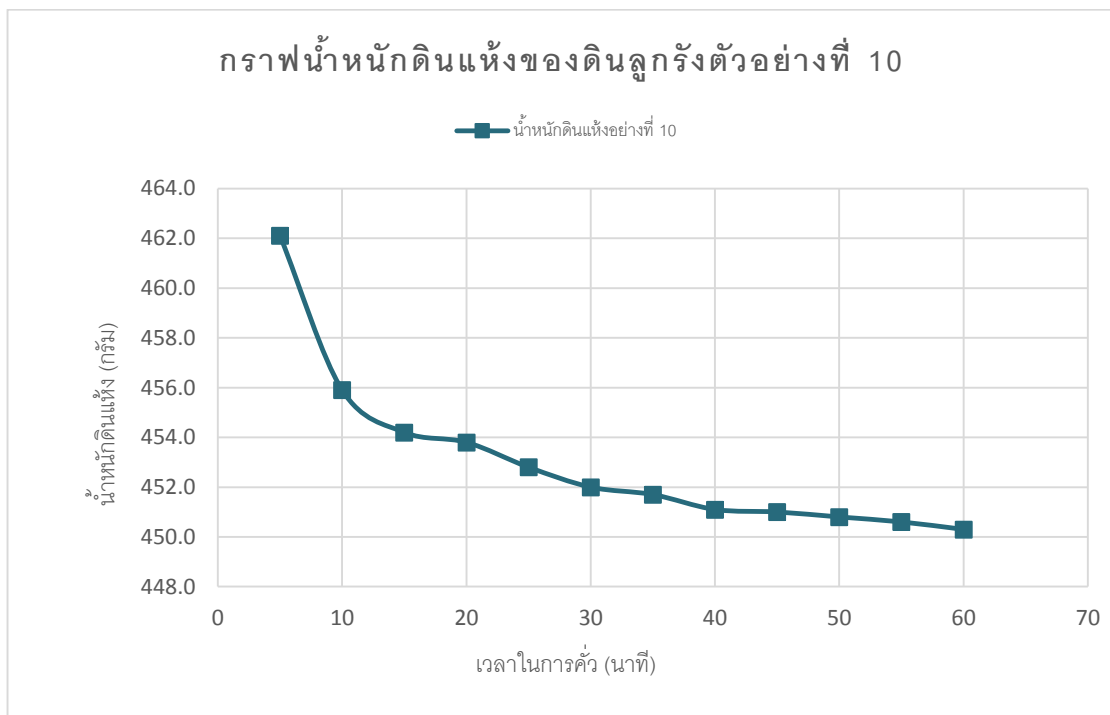
รูปที่ ข.2.9.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 9



รูปที่ ข.2.9.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 9



รูปที่ ข.2.10.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังตัวอย่างที่ 10



รูปที่ ข.2.10.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินลูกรังตัวอย่างที่ 10

1. การทดลองหาปริมาณน้ำในดินเหนียว

ตารางที่ ข.3.1 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 1		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.9												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	501.5												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,252.4												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,252.4	1,243.7	1,221.5	1,194.6	1,170.4	1,151.6	1,135.8	1,124.2	1,117.5	1,114.6	1,113.2	1,112.4	1,112.0
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	501.5	492.8	470.6	443.7	419.5	400.7	384.9	373.3	366.6	363.7	362.3	361.5	361.1
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	1.73	4.50	5.72	5.45	4.48	3.94	3.01	1.79	0.79	0.38	0.22	0.11	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	8.7	30.9	57.8	82.0	100.8	116.6	128.2	134.9	137.8	139.2	140.0	140.4
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	1.77	6.57	13.03	19.55	25.16	30.29	34.34	36.80	37.89	38.42	38.73	38.88
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	73.11	49.60	33.36	22.30	16.96	11.79	6.67	2.88	1.39	0.79	0.40	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.1.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.1.2

ตารางที่ ข.3.2 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรากดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 2		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	751.5												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.9												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,252.4												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,252.4	1,244.1	1,223.2	1,198.5	1,181.5	1,167.8	1,147.7	1,132.3	1,125.6	1,122.5	1,120.3	1,118.3	1,117.0
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.9	492.6	471.7	447.0	430.0	416.3	396.2	380.8	374.1	371.0	368.8	366.8	365.5
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	1.66	4.24	5.24	3.80	3.19	4.83	3.89	1.76	0.83	0.59	0.54	0.35	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	8.3	29.2	53.9	70.9	84.6	104.7	120.1	126.8	129.9	132.1	134.1	135.4
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	1.68	6.19	12.06	16.49	20.32	26.43	31.54	33.89	35.01	35.82	36.56	37.05
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	72.78	48.66	26.87	18.86	23.10	16.21	6.95	3.20	2.25	2.03	1.31	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.2.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.2.2

ตารางที่ ข.3.3 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรากดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 3		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.6												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	501.2												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,251.8												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,251.8	1,230.0	1,211.1	1,184.4	1,163.7	1,150.4	1,140.7	1,130.6	1,123.6	1,116.3	1,113.3	1,110.0	1,109.5
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	501.2	479.4	460.5	433.8	413.1	399.8	390.1	380.0	373.0	365.7	362.7	359.4	358.9
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	4.35	3.94	5.80	4.77	3.22	2.43	2.59	1.84	1.96	0.82	0.91	0.14	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	21.8	40.7	67.4	88.1	101.4	111.1	121.2	128.2	135.5	138.5	141.8	142.3
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	4.55	8.84	15.54	21.33	25.36	28.48	31.89	34.37	37.05	38.19	39.45	39.65
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	48.55	43.12	27.15	15.91	10.95	10.71	7.20	7.24	2.97	3.22	0.49	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.3.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.3.2

ตารางที่ ข.3.4 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรากดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 4		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.7												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	502.4												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,253.1												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,253.1	1,237.7	1,220.8	1,188.1	1,161.6	1,148.6	1,133.6	1,123.7	1,116.4	1,113.1	1,111.7	1,110.2	1,109.8
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	502.4	487.0	470.1	437.4	410.9	397.9	382.9	373.0	365.7	362.4	361.0	359.5	359.1
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	3.07	3.47	6.96	6.06	3.16	3.77	2.59	1.96	0.90	0.39	0.42	0.11	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	15.4	32.3	65.0	91.5	104.5	119.5	129.4	136.7	140.0	141.4	142.9	143.3
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	3.16	6.87	14.86	22.27	26.26	31.21	34.69	37.38	38.63	39.17	39.75	39.91
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	53.98	53.76	33.27	15.21	15.85	10.04	7.19	3.24	1.37	1.46	0.39	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.4.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.4.2

ตารางที่ ข.3.5 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหน้กดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 5		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	751.2												
น้ำหน้กดินก่อกนค้ว	กรัม	501.2												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ ก่อกนค้ว	กรัม	1,252.4												
น้ำหน้กดิน+กระตาะ หล่กนค้ว	กรัม	1,252.4	1,243.9	1,222.4	1,196.6	1,176.0	1,159.7	1,141.8	1,124.9	1,121.6	1,118.6	1,116.8	1,115.4	1,114.5
น้ำหน้กดินแห้ง	กรัม	501.2	492.7	471.2	445.4	424.8	408.5	390.6	373.7	370.4	367.4	365.6	364.2	363.3
ความเปล่ยนเปล่งน้ำหน้กดินแห้ง	%	1.70	4.36	5.48	4.63	3.84	4.38	4.33	0.88	0.81	0.49	0.38	0.25	0.00
น้ำหน้กน้ำ	กรัม	0.00	8.5	30.0	55.8	76.4	92.7	110.6	127.5	130.8	133.8	135.6	137.0	137.9
เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	1.73	6.37	12.53	17.98	22.69	28.32	34.12	35.31	36.42	37.09	37.62	37.96
ความเปล่ยนเปล่งของปริมาณน้ำ	%	100.00	72.90	49.18	30.34	20.75	19.86	17.01	3.38	3.03	1.81	1.40	0.90	0.00

เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดั่งรูปที่ ข.3.5.1 และน้ำหน้กดินแห้งในตารางแสดงดั่งรูปที่ ข.3.5.2

ตารางที่ ข.3.6 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรากดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 6

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 6		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.8												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	501.5												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,252.3												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,252.3	1,236.9	1,216.3	1,189.5	1,167.1	1,151.0	1,138.3	1,127.5	1,120.6	1,115.6	1,113.3	1,111.2	1,110.8
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	501.5	486.1	465.5	438.7	416.3	400.2	387.5	376.7	369.8	364.8	362.5	360.4	360.0
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	3.07	4.24	5.76	5.11	3.87	3.17	2.79	1.83	1.35	0.63	0.58	0.11	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	15.4	36.0	62.8	85.2	101.3	114.0	124.8	131.7	136.7	139.0	141.1	141.5
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	3.17	7.73	14.32	20.47	25.31	29.42	33.13	35.61	37.47	38.34	39.15	39.31
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	59.04	45.98	30.05	19.15	13.96	11.20	6.97	4.96	2.27	2.06	0.39	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.6.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.6.2

ตารางที่ ข.3.7 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรากดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 7

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 7		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.6												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	502.6												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,253.2												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,253.2	1,233.5	1,217.0	1,191.0	1,171.3	1,157.1	1,142.8	1,128.9	1,123.6	1,118.5	1,116.0	1,113.4	1,112.7
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	502.6	482.9	466.4	440.4	420.7	406.5	392.2	378.3	373.0	367.9	365.4	362.8	362.1
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	3.92	3.42	5.57	4.47	3.38	3.52	3.54	1.40	1.37	0.68	0.71	0.19	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	19.7	36.2	62.2	81.9	96.1	110.4	124.3	129.6	134.7	137.2	139.8	140.5
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	4.08	7.76	14.12	19.47	23.64	28.15	32.86	34.75	36.61	37.55	38.53	38.80
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	47.44	45.05	27.45	17.65	16.02	14.33	5.43	5.10	2.49	2.56	0.69	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.7.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.7.2

ตารางที่ ข.3.8 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักรากดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 8

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 8		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.1												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	503.6												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,253.7												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,253.7	1,240.8	1,221.6	1,192.4	1,168.8	1,154.2	1,137.7	1,124.3	1,119.0	1,115.9	1,114.3	1,112.8	1,112.2
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	503.6	490.7	471.5	442.3	418.7	404.1	387.6	374.2	368.9	365.8	364.2	362.7	362.1
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	2.56	3.91	6.19	5.34	3.49	4.08	3.46	1.42	0.84	0.44	0.41	0.17	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	12.9	32.1	61.3	84.9	99.5	116.0	129.4	134.7	137.8	139.4	140.9	141.5
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	2.63	6.81	13.86	20.28	24.62	29.93	34.58	36.51	37.67	38.28	38.85	39.08
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	61.39	50.88	31.65	17.65	17.73	13.45	5.30	3.07	1.58	1.47	0.59	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.8.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.8.2

ตารางที่ ข.3.9 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 9

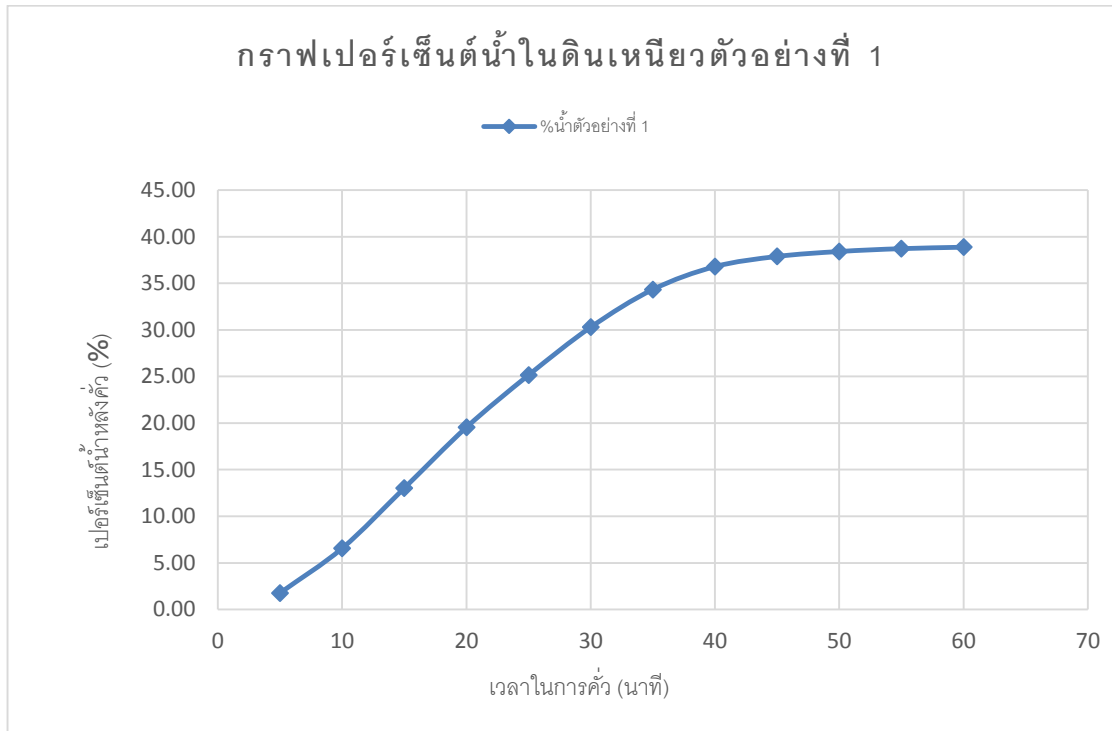
ตัวอย่างดินเหนียวที่ 9		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตาะ	กรัม	750.5												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	504.1												
น้ำหนักดิน+กระตาะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,254.6												
น้ำหนักดิน+กระตาะ หลังคั่ว	กรัม	1,254.6	1,242.5	1,222.8	1,197.6	1,178.8	1,163.8	1,144.8	1,127.1	1,123.6	1,120.6	1,118.6	1,116.9	1,115.8
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	504.1	492.0	472.3	447.1	428.3	413.3	394.3	376.6	373.1	370.1	368.1	366.4	365.3
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	2.40	4.00	5.34	4.20	3.50	4.60	4.49	0.93	0.80	0.54	0.46	0.30	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	12.1	31.8	57.0	75.8	90.8	109.8	127.5	131.0	134.0	136.0	137.7	138.8
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	2.46	6.73	12.75	17.70	21.97	27.85	33.86	35.11	36.21	36.95	37.58	38.00
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	63.47	47.19	27.96	19.44	21.11	17.75	3.58	3.02	2.00	1.69	1.09	0.00

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.9.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.9.2

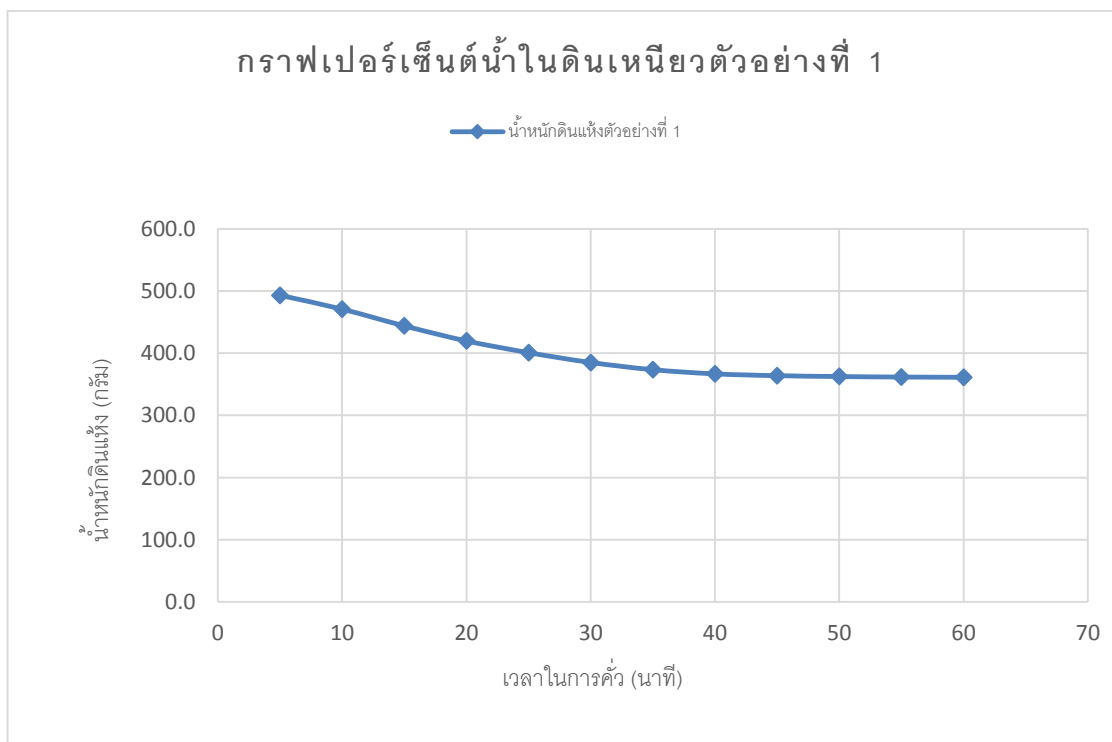
ตารางที่ ข.3.10 แสดงปริมาณน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 10

ตัวอย่างดินเหนียวที่ 10		เวลา (นาที)												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
น้ำหนักกระตะ	กรัม	750.4												
น้ำหนักดินก่อนคั่ว	กรัม	500.8												
น้ำหนักดิน+กระตะ ก่อนคั่ว	กรัม	1,251.2												
น้ำหนักดิน+กระตะ หลังคั่ว	กรัม	1,251.2	1,241.6	1,222.1	1,195.5	1,174.8	1,164.6	1,141.6	1,126.4	1,120.8	1,118.5	1,116.3	1,114.8	1,114.6
น้ำหนักดินแห้ง	กรัม	500.8	491.2	471.7	445.1	424.4	414.2	391.2	376.0	370.4	368.1	365.9	364.4	364.2
ความเปลี่ยนแปลงน้ำหนักดินแห้ง	%	1.92	3.97	5.64	4.65	2.40	5.55	3.89	1.49	0.62	0.60	0.41	0.05	0.00
น้ำหนักน้ำ	กรัม	0.00	9.6	29.1	55.7	76.4	86.6	109.6	124.8	130.4	132.7	134.9	136.4	136.6
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำ	%	0.00	1.95	6.17	12.51	18.00	20.91	28.02	33.19	35.21	36.05	36.87	37.43	37.51
ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ	%	100.00	68.32	50.70	30.48	13.90	25.37	15.59	5.72	2.34	2.22	1.51	0.20	0.00

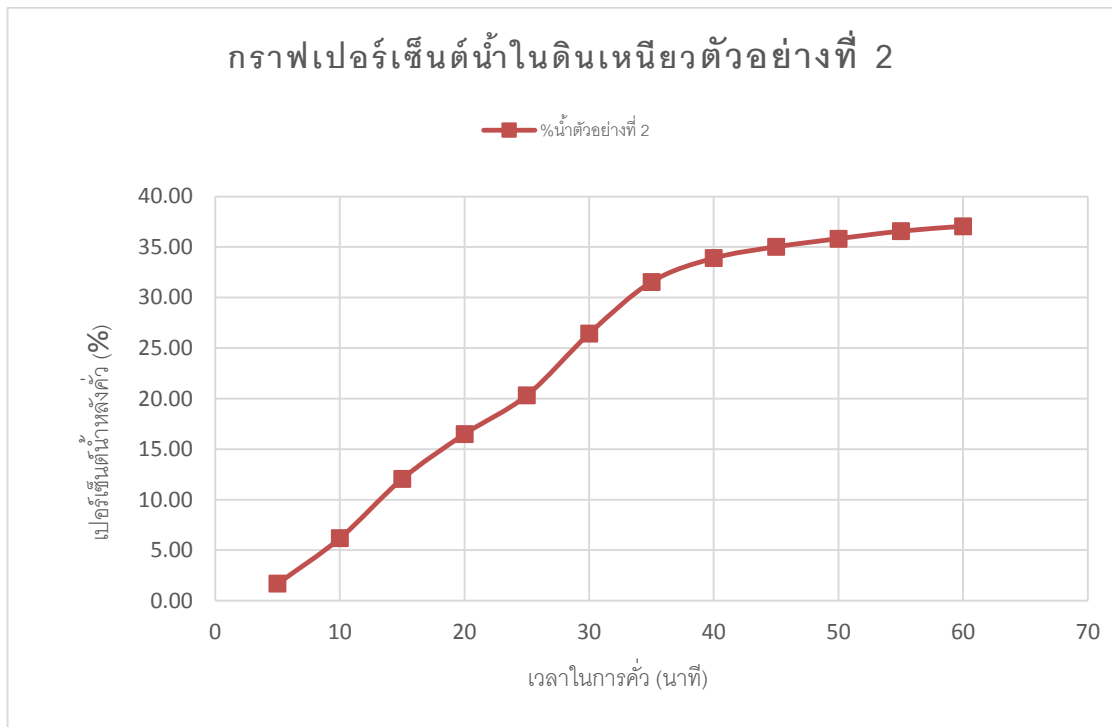
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.10.1 และน้ำหนักดินแห้งในตารางแสดงดังรูปที่ ข.3.10.2



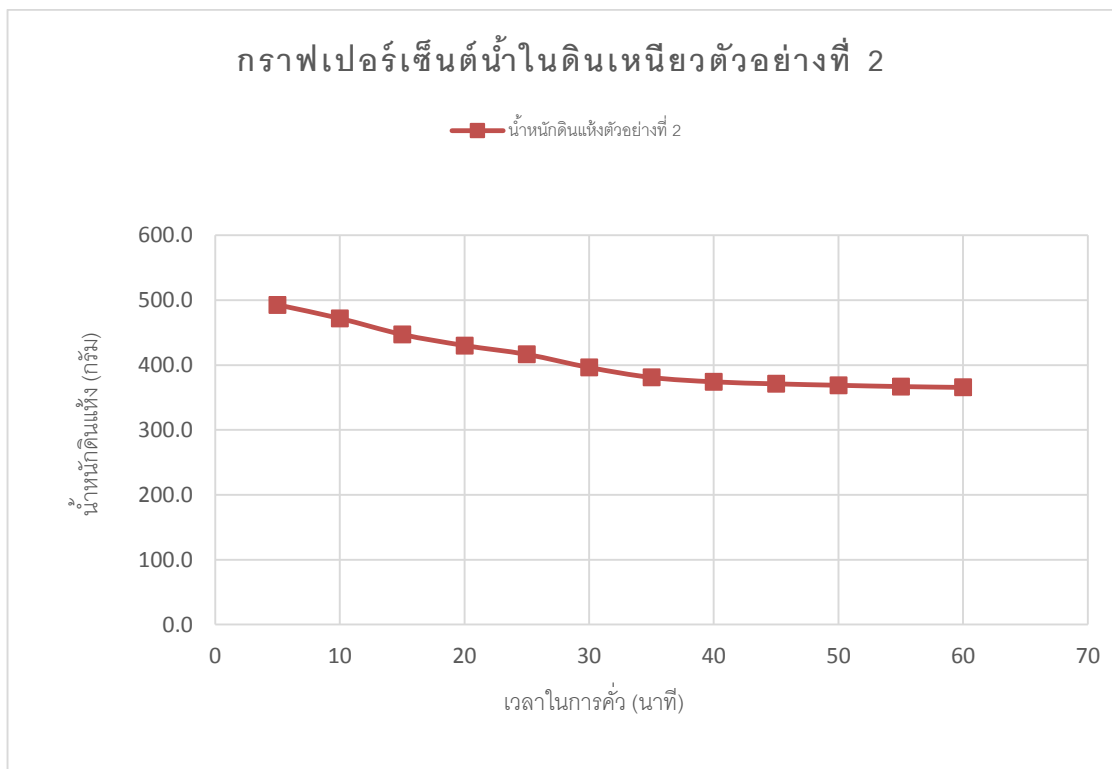
รูปที่ ข.3.1.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 1



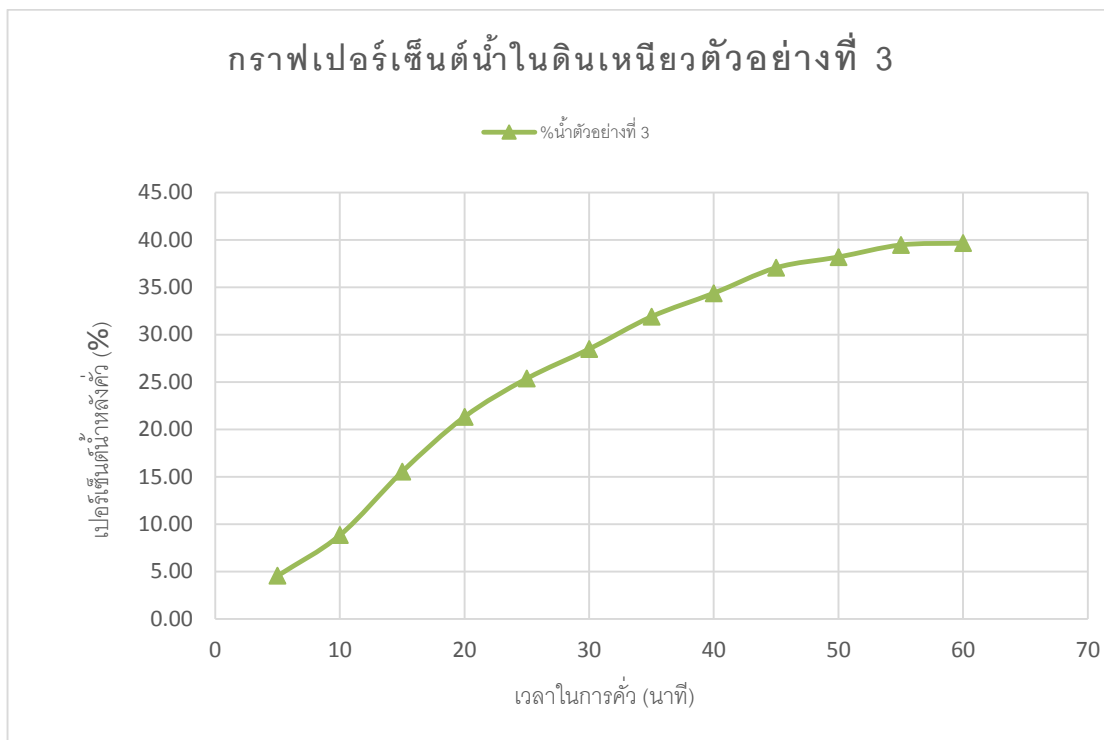
รูปที่ ข.3.1.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 1



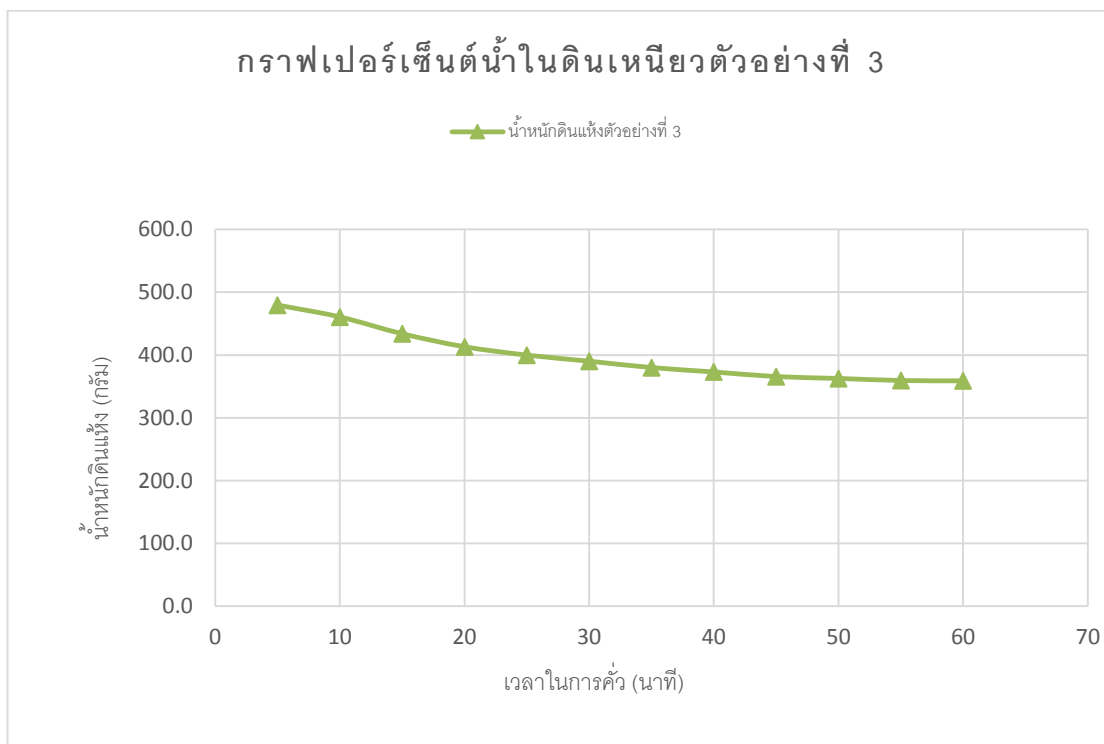
รูปที่ ข.3.2.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 2



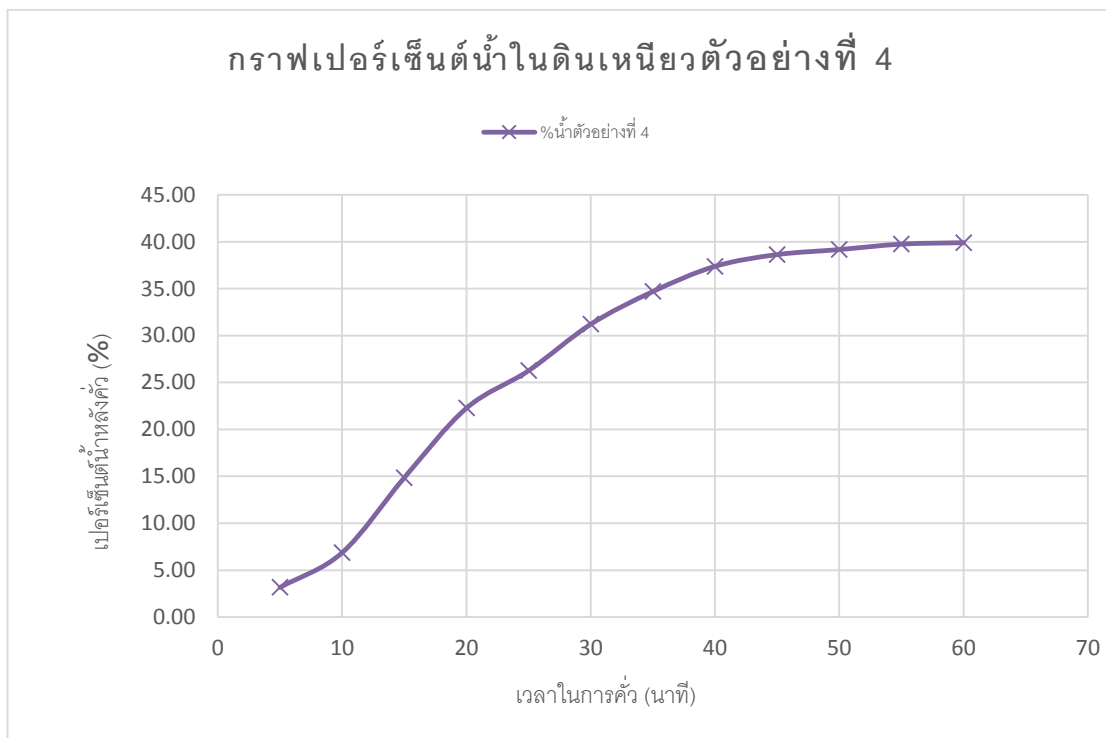
รูปที่ ข.3.2.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 2



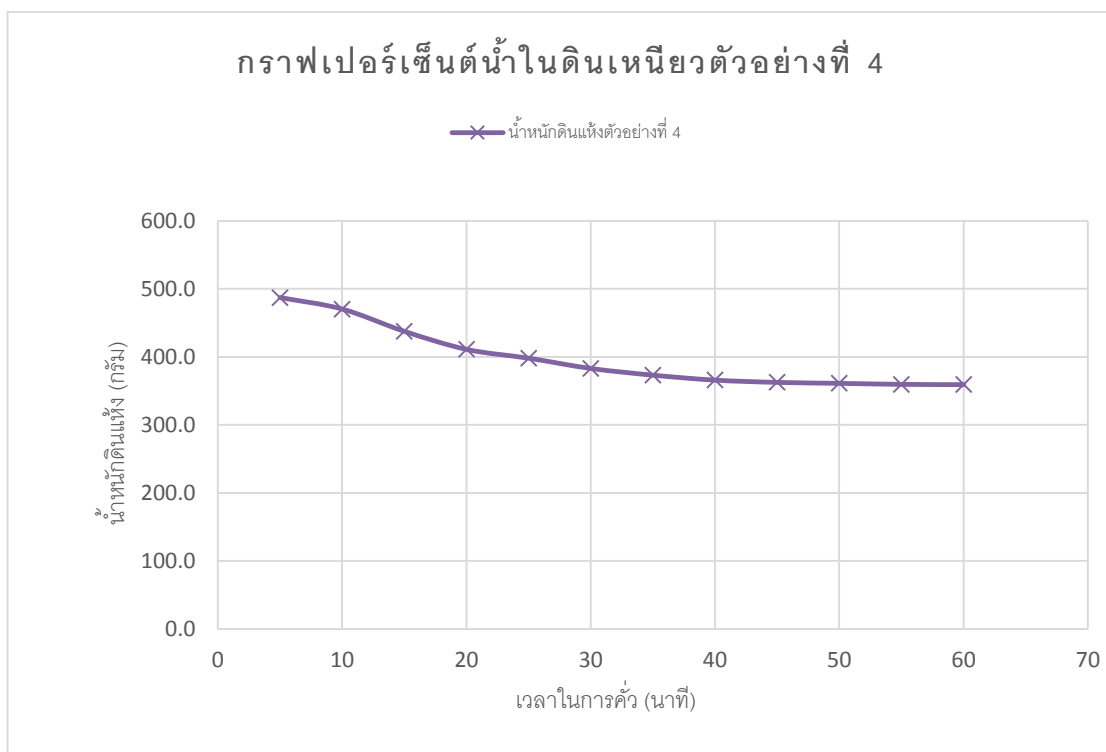
รูปที่ ข.3.3.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 3



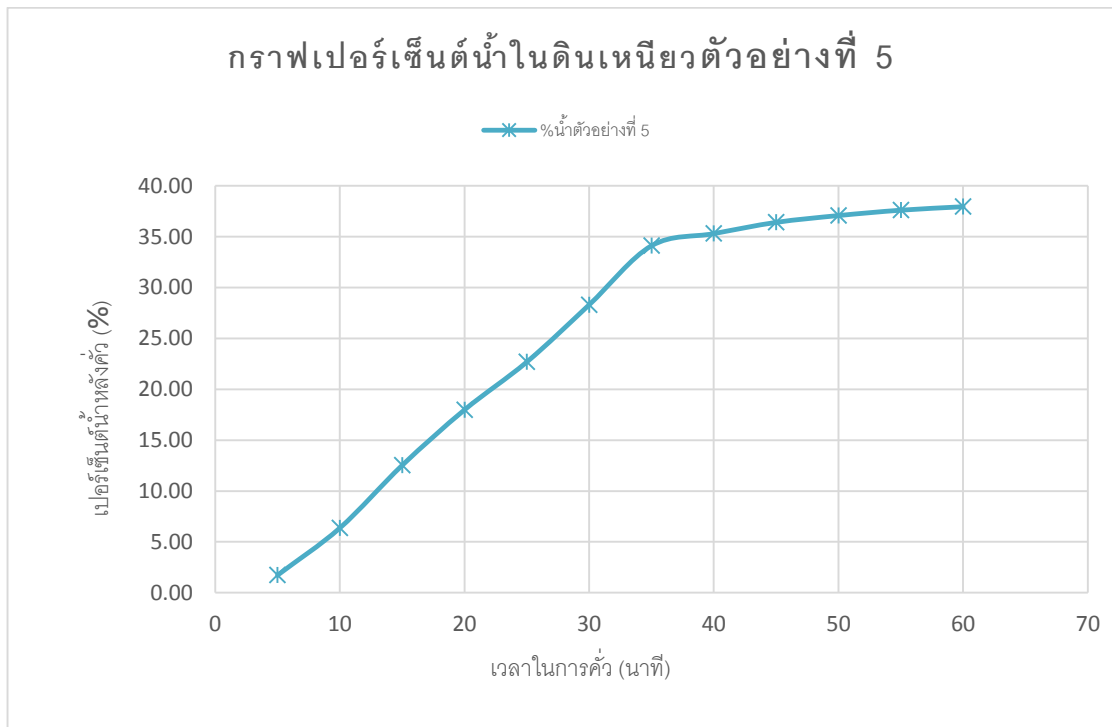
รูปที่ ข.3.3.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 3



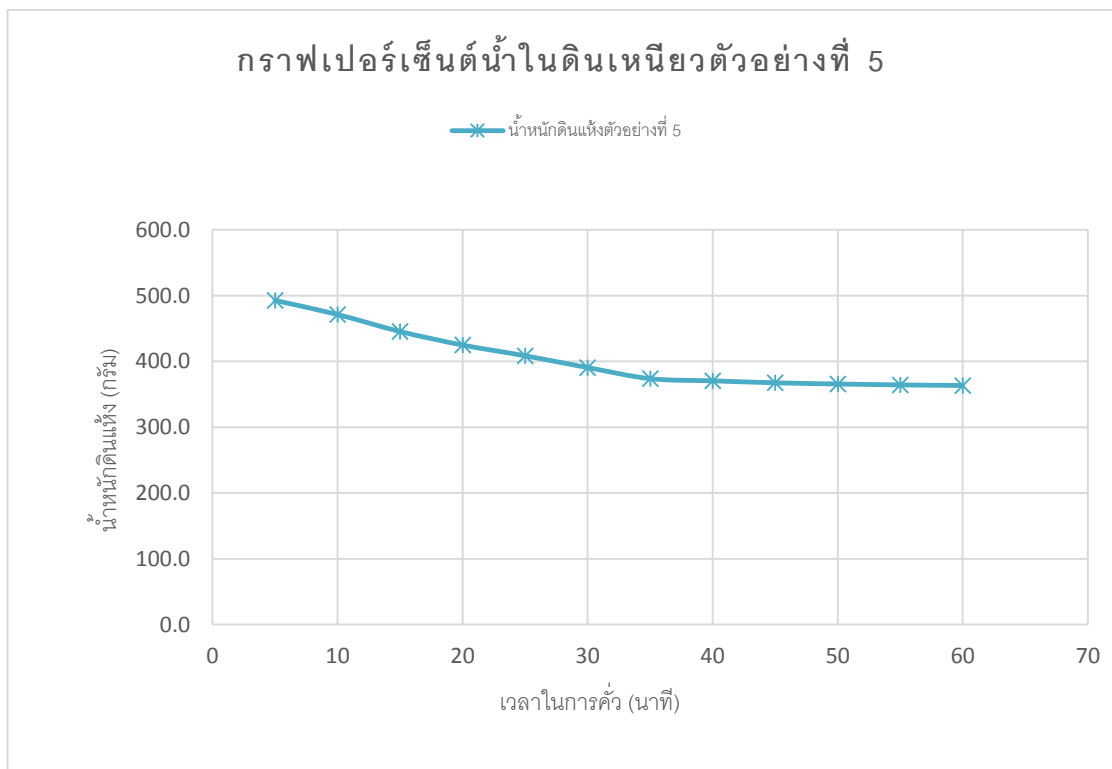
รูปที่ ข.3.4.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 4



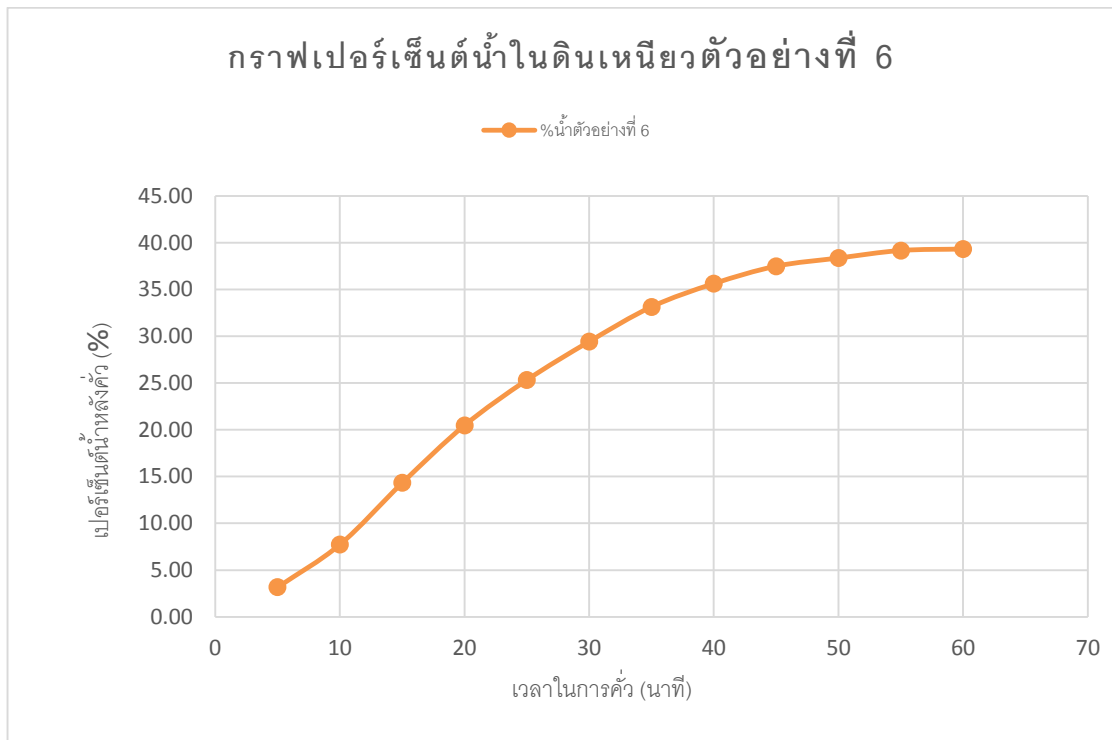
รูปที่ ข.3.4.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 4



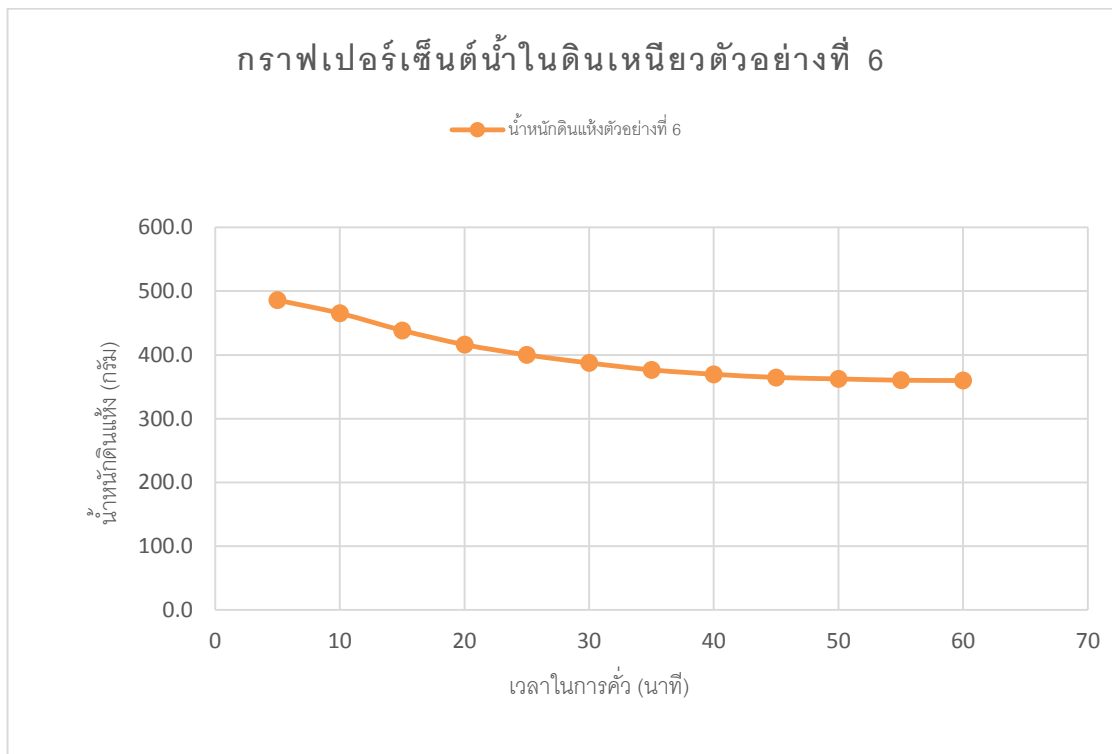
รูปที่ ข.3.5.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 5



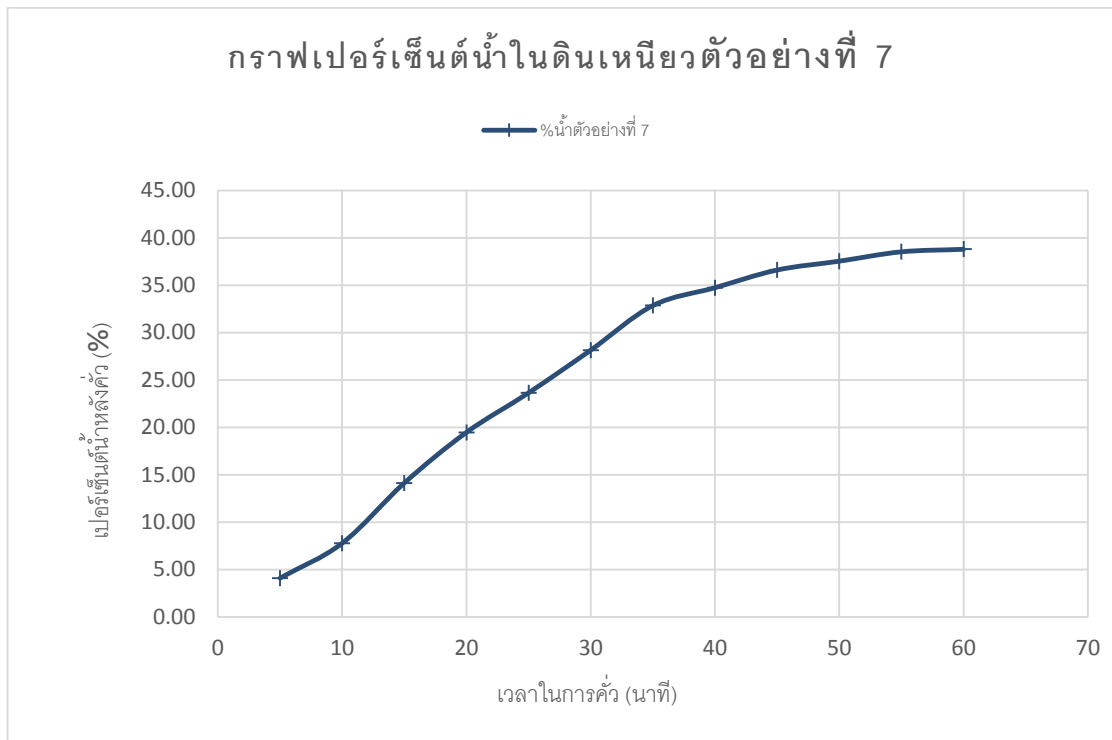
รูปที่ ข.3.5.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 5



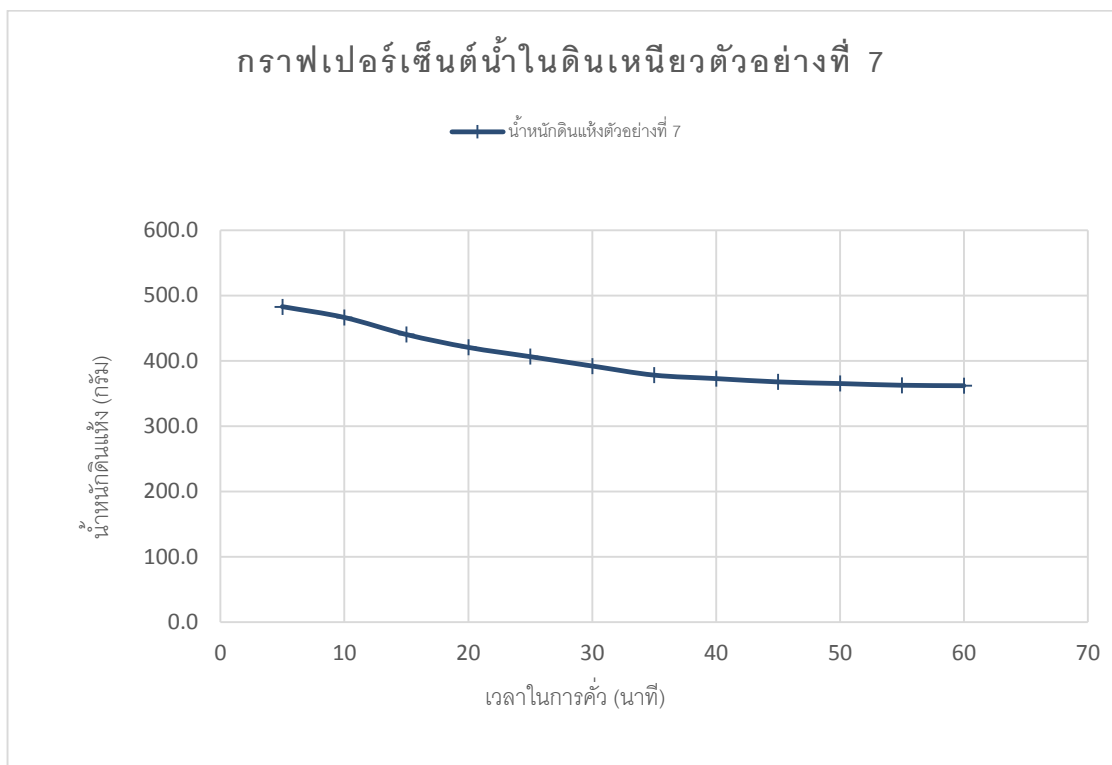
รูปที่ ข.3.6.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 6



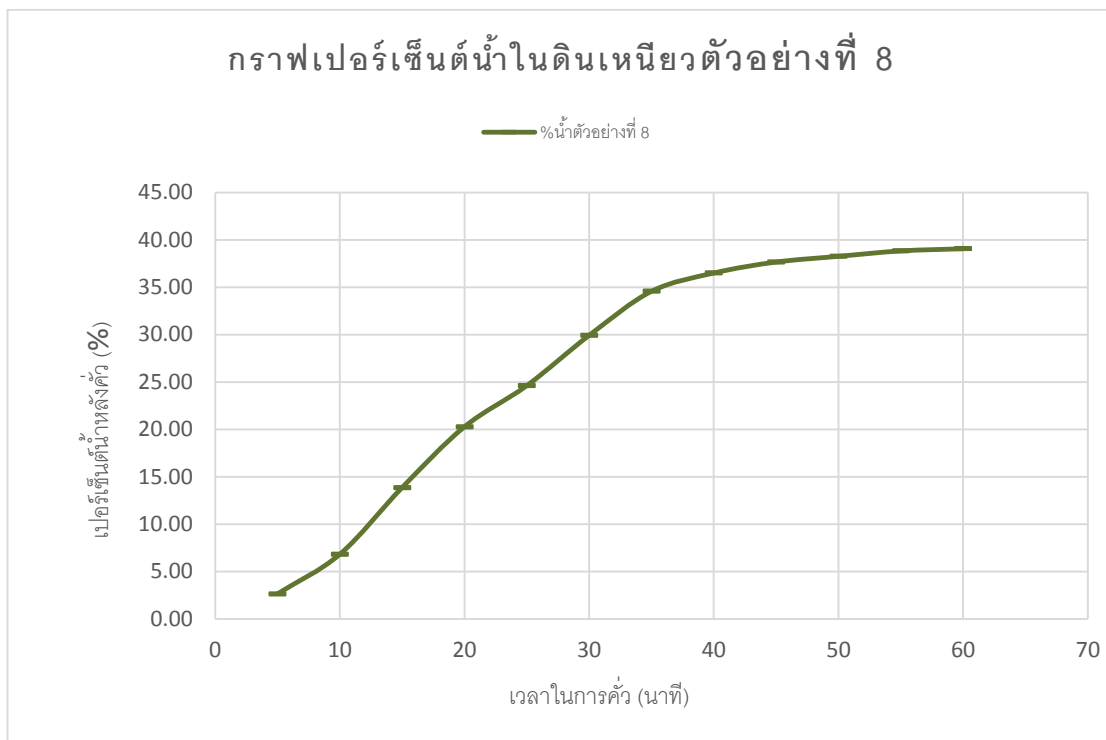
รูปที่ ข.3.6.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 6



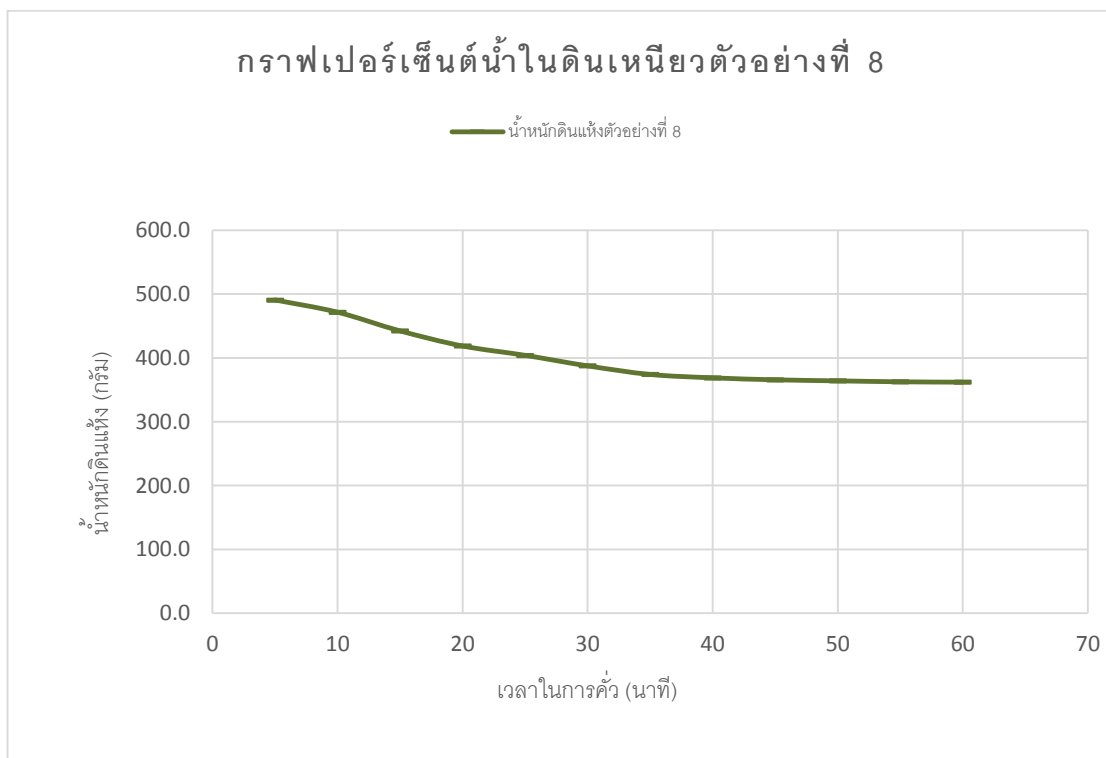
รูปที่ ข.3.7.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 7



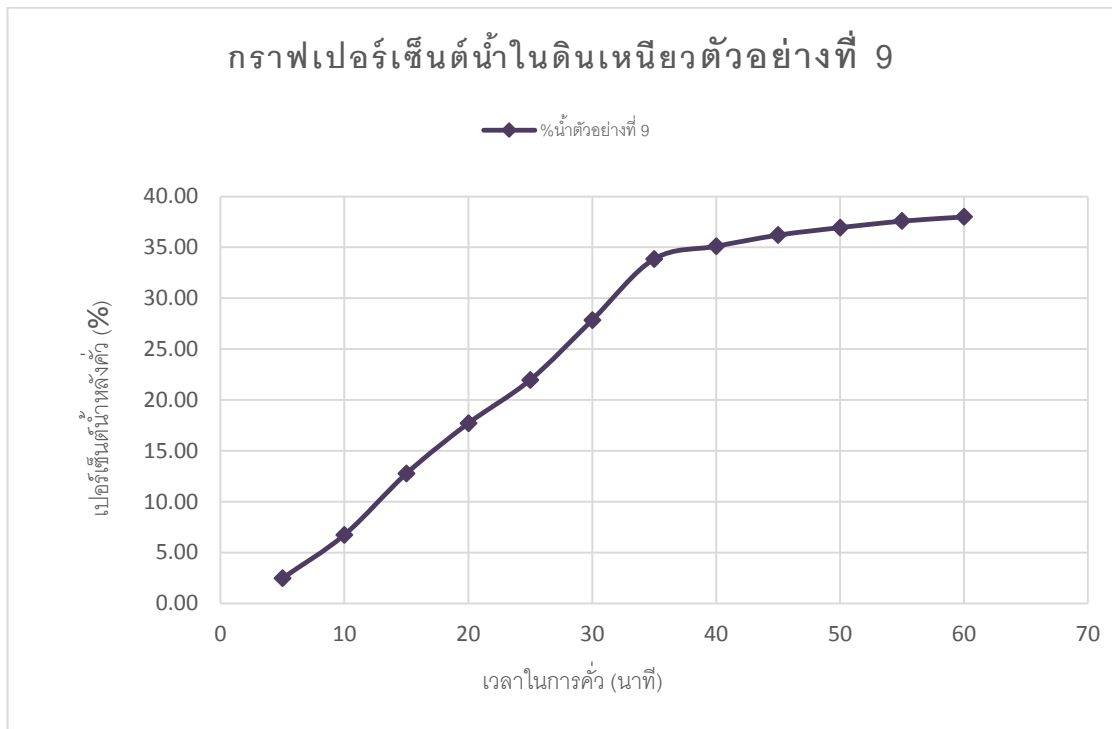
รูปที่ ข.3.7.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 7



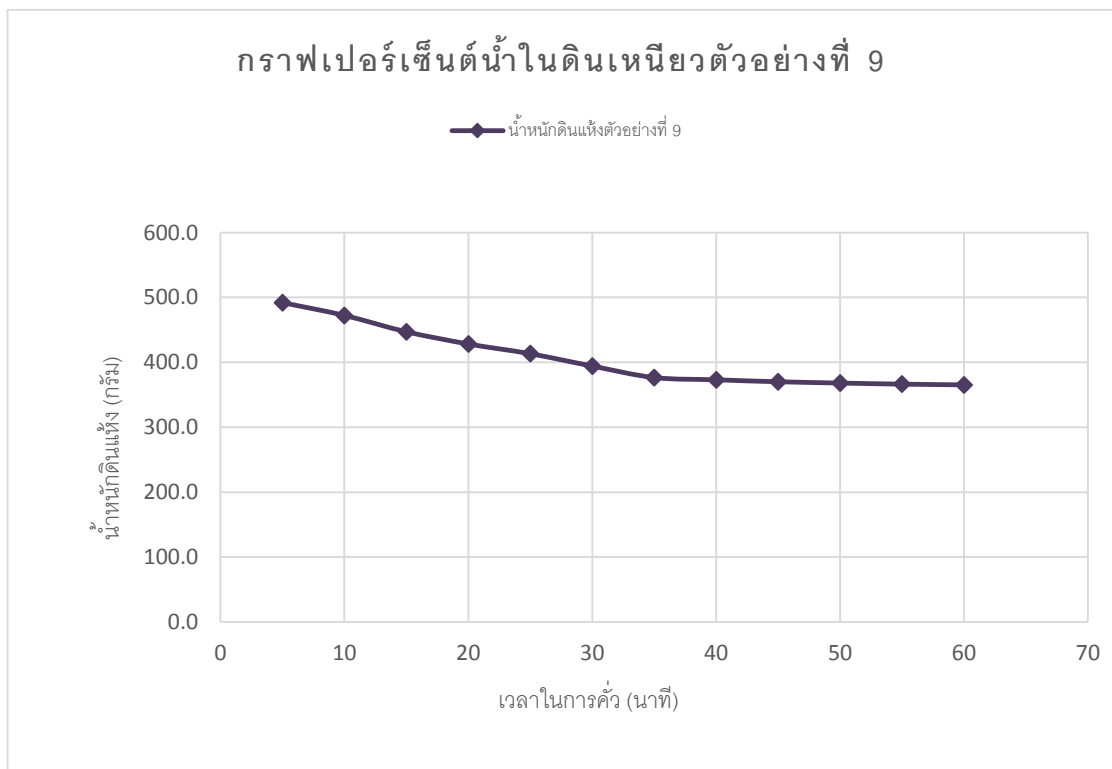
รูปที่ ข.3.8.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 8



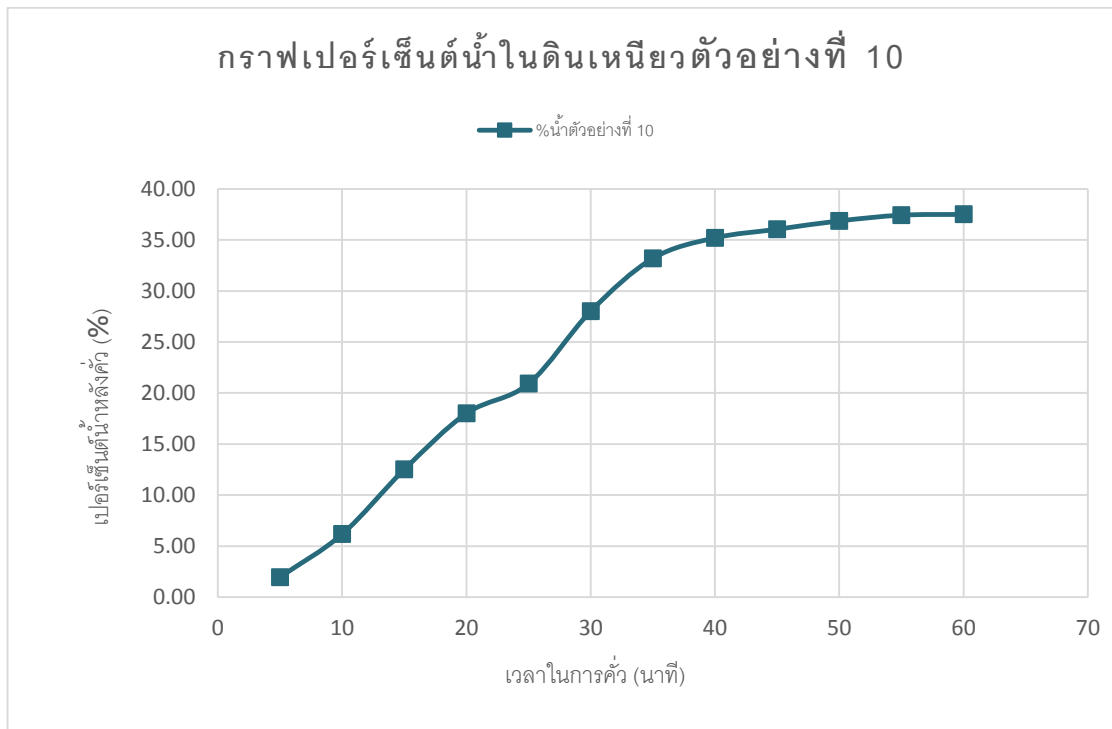
รูปที่ ข.3.8.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 8



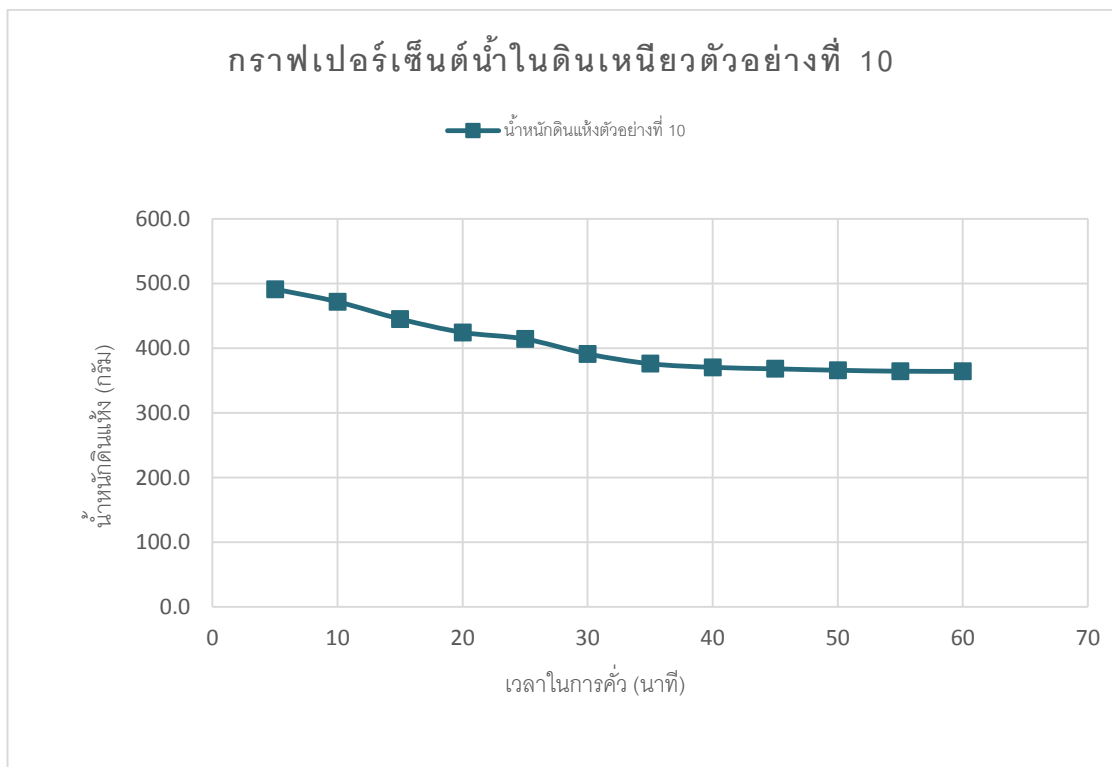
รูปที่ ข.3.9.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 9



รูปที่ ข.3.9.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 9



รูปที่ ข.3.10.1 กราฟเปอร์เซ็นต์น้ำในดินเหนียวตัวอย่างที่ 10



รูปที่ ข.3.10.2 กราฟน้ำหนักดินแห้งของดินเหนียวตัวอย่างที่ 10

ประวัติย่อผู้ทำโครงการงาน

ประวัติย่อผู้จัดทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล

นายปองคุณ ศรีน้ำทอง

วันเดือนปีเกิด

12 กุมภาพันธ์ 2538

สถานที่เกิด

อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

9/1 หมู่ 2 ต.ทับมา อ.เมือง

จ.ระยอง 21000

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

086-035-2417

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554

มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนแก่งหางแมวพิทยาคาร

พ.ศ. 2556

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

