การปรับปรุงคุณสมบัติดินด้วยสารเคมี RRP

นายอาคม เตชะธัญญกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-473-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018472 IA1151259

SOIL STABILIZATION WITH THE RRP CHEMICAL

MR. ARKOM TECHATUNYAKUL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1992

ISBN 974-581-473-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณสมบัติดิน ด้วยสารเคมี RRP
โดย	นาย อาคม เตชะธัญญกุล
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

---------- กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธนะเจริญกิจ)

---------- กรรมการ

(ดร.ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อาคม เตชะธัญญกุล : การปรับปรุงคุณสมบัติดิน ด้วยสารเคมี RRP (SOIL STABILIZATION WITH THE RRP CHEMICAL) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์, 129 หน้า. ISBN 974-581-473-3

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลการนำสารเคมี RRP มาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติดิน 2 ชนิด คือ ดินเหนียว จากนิคมอุตสาหกรรมบางปู และ ดินทรายปนดินเหนียว จากแหลมฉบัง เมื่อผสมสารเคมี RRP ที่ปริมาณต่างๆ โดยได้พิจารณาคุณสมบัติของส่วนผสม ดิน-สารเคมี RRP ดังนี้ คือ ค่า CBR ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าการพองตัว ค่าการดูดซึมน้ำ และความคงทน

ผลการศึกษาพบว่า สารเคมี RRP จะช่วยทำให้เสถียรภาพของดินทั้ง 2 ชนิดดีขึ้น ในขณะที่ ค่าการดูดซึมน้ำ และการพองตัวลดลง ดังนี้

- ดินเหนียวบางปู ซึ่งเป็นดินประเภท CH มีค่า LL= 73% PI= 40% CEC= 13.05meq. ได้ปริมาณสารเคมี RRP ที่เหมาะสม 0.024% โดยทำให้ส่วนผสมมีค่า soaked CBR เพิ่มจาก 2.72% เป็น 3.92% ในขณะที่ ค่าการพองตัว และค่าการดูดซึมน้ำลดลงจาก 5.77% เป็น 3.74% และ 9.71% เป็น 4.93% ตามลำดับ

- ดินทรายปนดินเหนียวแหลมฉบัง เป็นดินประเภท SC มีค่า LL= 48% PI= 22% CEC= 3.95 meq. ได้ปริมาณสารเคมี RRP ที่เหมาะสม 0.012% โดยทำให้ส่วนผสมมีค่า soaked CBR เพิ่มจาก 7.27% เป็น 10.90% ในขณะที่ ค่าการพองตัวและค่าการดูดซึมน้ำลดลงจาก 0.70% เป็น 0.11% และ 7.05% เป็น 1.31% ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต อาคม เตชะธัญญกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [illegible]

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

c215028 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD : SOIL/STABILIZATION/RRP CHEMICAL

ARKOM TECHATUNYAKUL : SOIL STABILIZATION WITH THE RRP CHEMICAL.
THESIS ADVISOR : ASSO. PROF.BOONSOM LERDHIRUNWONG, Dr. Ing. 129 pp.
ISBN 974-581-473-3

This research aims at the study about the effect of using RRP chemical for soil stabilization. The clayey soil from Bangpoo Industrial Estate and clayey sand from Lam Chabung are selected as soil samples. The engineering properties of the RRP-soil mixtures such as CBR value, unconfined compressive strength, water absorption, swelling and durability are considered.

The study results showed that RRP chemical can stabilize 2 types of soil by increasing strength, reducing water absorption and swelling properties.

- Bangpoo soil sample was classified as high plastic clay (CH) having LL = 73% PI = 40% and CEC = 13.05 meq. At the optimum RRP content of 0.024%, the soaked CBR was increased from 2.72% to 3.92% while swelling was reduced from 5.77% to 3.74% and the water absorption value was reduced from 9.71% to 4.93%.

- Lam Chabung soil sample was classified as clayey sand (SC) having LL = 48% PI = 22% and CEC = 3.95 meq. At the optimum RRP content of 0.012%, the soaked CBR was increased from 7.27% to 10.90% while swelling was reduced from 0.70% to 0.11% and the water absorption value was reduced from 7.05% to 1.31%.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต อาคม เตชะชีปกรณ์
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [illegible]
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ก่อนอื่น ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ผู้เขียนได้เข้ามาค้นคว้าหาความรู้จวบจนสำเร็จการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จากรองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์สำหรับการค้นคว้าวิจัยนี้มาโดยตลอด

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธนะเจริญกิจ และอาจารย์ ดร.ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ ตำแหน่งวิศวกรโยธา 6 (ผู้เชี่ยวชาญ) กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนความรู้และวิชาการต่าง ๆ ที่ถ่ายทอดให้แก่ศิษย์ขณะทำการศึกษาที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับการวิเคราะห์ส่วนประกอบสารเคมี ผู้เขียนได้รับความอนุเคราะห์จากคุณภาวนา ปริยะวาท กรมวิทยาศาสตร์บริการ และการวิเคราะห์แร่ดินเหนียว โดยคุณสาหร่าย และคุณประนอม จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์

และผู้เขียนขอขอบคุณ คุณสาลินี ไวเบิ้ล ที่ได้เอื้อเฟื้อตัวอย่างสารเคมี RRP เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ ความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายอันพึงได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ ที่ได้ให้การอบรมศึกษาแก่ผู้เขียน

นายอาคม เตชะธัญญกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
สัญญลักษณ์ ..... ณ

บทที่ หน้า

1. บทนำ 1
   1.1 คำนำ 1
   1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
   1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
   1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. การวิจัยที่ผ่านมาและทฤษฎี 4
   2.1 สารประเภท Natural and Synthetic Polymers 4
      2.1.1 สารทำให้อนุภาคดินรวมตัว (Aggregants) 5
      2.1.2 สารทำให้อนุภาคดินเป็นระเบียบ (Dispersants) 7
   2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อกำลังของส่วนผสม 9
      2.2.1 ชนิดของดิน 9
      2.2.2 ชนิดของสารปรับปรุงคุณสมบัติดิน 11
      2.2.3 พลังงานการบดอัด 11
   2.3 ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวก 12
   2.4 ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุลบ 14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่		หน้า
3.	ขั้นตอนและวิธีการวิจัย	17
	3.1 การศึกษาสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย	17
	3.1.1 การศึกษาสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย	17
	3.1.2 สารเคมี RRP	18
	3.2 การศึกษาสมบัติทางด้านวิศวกรรมของส่วนผสมตัวอย่างดิน - สารเคมี RRP ..	21
	3.2.1 การทดสอบการบดอัด	21
	3.2.2 การทดสอบการรับน้ำหนัก (CBR test)	22
	3.2.3 การทดสอบการพองตัวและการดูดซึมน้ำของดิน	23
	3.2.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	24
	3.2.5 การทดสอบความคงทน	25
	3.3 การศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมีของส่วนผสมตัวอย่างดิน - สารเคมี RRP	
	3.3.1 การทดสอบหาค่า pH	27
	3.3.2 การทดสอบสมบัติทางด้านพลาสติก	27
	3.3.3 การทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดิน	28
	3.3.4 การทดสอบหาค่า C.E.C. (Cation Exchange Capacity) ..	28
	3.3.5 X-Diffraction Analysis	28
4.	ผลการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย	29
	4.1 ตัวอย่างดิน 2 ชนิด	29
	4.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางด้านฟิสิกส์และเคมีของตัวอย่างดิน	29
	4.1.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของตัวอย่างดิน	35
	4.2 สารเคมี RRP	36
	4.2.1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของสารเคมี RRP	36
	4.2.2 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปทางเคมี	45
5.	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	46
	5.1 คุณสมบัติทางด้านการบดอัด	46
	5.2 คุณสมบัติทางด้านกำลังด้วยวิธี CBR	47
	5.2.1 ผลของปริมาณสารเคมี RRP	57

หน้า

5.2.2 ผลของระยะเวลาการบ่มก่อนบดอัด 61
5.2.3 ผลของพลังงานการบดอัด 71

5.3 การศึกษาผลระยะเวลาบ่มหลังการบดอัด 71
5.4 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านความคงทน 77
5.5 การศึกษาการพองตัวและการทรุดตัวในแนวดิ่ง 86
5.6 คุณสมบัติด้านฟิสิกส์และเคมีของส่วนผสม 94

6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 101
6.1 สรุปผลการวิจัย 101
6.2 ข้อเสนอแนะ 102

เอกสารอ้างอิง 103
ภาคผนวก ก. 107
ภาคผนวก ข. 118
ภาคผนวก ค. 125
ประวัติผู้เขียน 130

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลของสารประเภท dispersant ต่อค่า Liquid limit ของดินเหนียว 2 ชนิด	8
2.2	ผลของสารประเภท dispersant ต่อการบดอัด	10
4.1	สรุปคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ และเคมีของดินตัวอย่าง	34
4.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี X-ray Flourescence	44
5.1 ก.	ผลการทดสอบการบดอัดส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP (บ่มเป็นระยะเวลา 5 วัน ก่อนทำการบดอัด)	54
5.1 ข.	ผลการทดสอบการบดอัดส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP (บ่มเป็นระยะเวลา 5 วัน ก่อนทำการบดอัด)	54
5.2 ก.	ผลการทดสอบ CBR สภาพแช่น้ำ พร้อมกับวัดการพองตัวและการดูดซึมน้ำของส่วนผสมดิน บางปู-สารเคมี RRP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	58
5.2 ข.	ผลการทดสอบ CBR สภาพแช่น้ำ พร้อมกับวัดค่าการพองตัวและการดูดซึมน้ำของส่วนผสมดิน แหลมฉบัง-สารเคมี RRP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	58
5.3 ก.	ผลการทดสอบ CBR สภาพแช่น้ำของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณ 0.012% ที่ระยะเวลาบ่มก่อนบดอัดต่าง ๆ	62
5.3 ข.	ผลการทดสอบ CBR สภาพแช่น้ำของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP ปริมาณ 0.012% ที่ระยะเวลาบ่มก่อนบดอัดต่าง ๆ	62
5.4 ก.	ผลการศึกษาพลังงานการบดอัดของส่วนผสมสารเคมี RRP-ดินบางปู ที่อัตราส่วน 0%, 0.012% และ 0.024%	72
5.4 ข.	ผลการศึกษาพลังงานการบดอัดของส่วนผสมสารเคมี RRP-ดินแหลมฉบัง ที่อัตราส่วน 0%, 0.012% และ 0.024%	73
5.5 ก.	ผลการทดสอบค่ากำลังแรงอัดของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP	76
5.5 ข.	ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสม ดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

5.6 ก. ผลการทดสอบความคงทนของก้อนตัวอย่างส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP 80

5.6 ข. ผลการทดสอบความคงทนของก้อนตัวอย่างส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP... 80

5.7 สรุปผลการทดลอง One dimensional swell ของส่วนผสมดินทั้งสองชนิด - สารเคมี RRP 87

5.8 ก. การกระจายขนาดคละของอนุภาคเม็ดดิน ส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP 95

5.8 ข. การกระจายขนาดคละของอนุภาคเม็ดดิน ส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP... 95

5.9 ก. คุณสมบัติด้านพลาสติกของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP 98

5.9 ข. คุณสมบัติด้านพลาสติกของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP 98

5.10 ก. คุณสมบัติด้านเคมีของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP 100

5.10 ข. คุณสมบัติด้านเคมีของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP 100

ก.1 การวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียว โดยวิธี X-ray Diffraction 114

ก.2 การแปลงมุม θ ไปเป็นระยะห่างของ interlayer ตามกฎของ Bragg เมื่อสารที่ใช้ทำเป้าเป็นทองแดง 115

ก.3 ข้อมูล X-ray Diffraction ของแร่ที่พบทั่วไปในดิน 116

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ผลการใช้สารประเภท Aggregant เพื่อช่วยในการบดอัดดิน Virginia-sandy clay (Lambe, 1955)	6
2.2	แสดงการจัดเรียงตัวของอนุภาคดินและปริมาณน้ำที่ใช้ต่าง ๆ กัน	11
3.1	แผนภูมิศึกษาและวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2	แผนภูมิการศึกษาสมบัติของส่วนผสมดิน - สารเคมี RRP	20
4.1 ก.	การกระจายของดินเหนียวบางปู	31
ข.	การกระจายคละของดินแหลมฉบัง	32
4.2 ก.	Compaction curve ของดินเหนียวบางปู	35
ข.	Compaction curve ของดินเหนียวแหลมฉบัง	35
4.3 ก.	ผลการทดสอบ CBR สภาพแช่น้ำ ของตัวอย่างดินบางปู	37
ข.	ผลการทดสอบ CBR สภาพแช่น้ำ ของตัวอย่างดินแหลมฉบัง	38
4.4 ก.	สเปคตรัมมาตรฐานของสารละลายกรดซัลฟุริก (6 N H_2SO_4)	40
ข.	สเปคตรัมมาตรฐานของตัวอย่างสารเคมี RRP	40
4.5 ก.	สเปคตรัมมาตรฐานของสารที่ได้จากการกลั่นสารเคมี RRP	41
ข.	สเปคตรัมมาตรฐานของสาร Sodium sulfate, hydrate ($Na\ HSO_4$) ...	42
5.1 ก.	Compaction curve ของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP	48
ข.	Compaction curve ของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP	50
5.2 ก.	แสดงการเปรียบเทียบ Compaction curve ดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณต่าง ๆ	52
ข.	แสดงการเปรียบเทียบ Compaction curve ดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP ปริมาณต่าง ๆ	53
5.3 ก.	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมกับปริมาณสารเคมี RRP ในส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณต่าง ๆ	55
5.3 ข.	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมกับปริมาณสารเคมี RRP ในส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP ปริมาณต่าง ๆ ...	56

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.4 ก. การเปลี่ยนแปลงค่า CBR สภาพแช่น้ำและไม่แช่น้ำ การพองตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP 59

5.4 ข. การเปลี่ยนแปลงค่า CBR สภาพแช่น้ำและไม่แช่น้ำ การพองตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP 60

5.5 ก. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR สภาพแช่น้ำ ค่าการพองตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP กับระยะเวลาบ่มก่อนบดอัด 63

5.5 ข. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR สภาพแช่น้ำ ค่าการพองตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP กับระยะเวลาบ่มก่อนบดอัด 64

5.6 ก. ผลการทดสอบหาค่า CBR ของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณ 0% , 0.003% , 0.006% , 0.012% , 0.018% และ 0.024% ตามลำดับ 65

ข. ผลการทดสอบหาค่า CBR ของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP ปริมาณ 0% , 0.003% , 0.006% , 0.012% , 0.018% และ 0.024% ตามลำดับ 68

5.7 ก. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR สภาพแช่น้ำ ค่าการพองตัว และการดูดซึมน้ำของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP กับ พลังงานการบดอัด 74

ข. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR สภาพแช่น้ำ ค่าการพองตัว และการดูดซึมน้ำของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP กับ พลังงานการบดอัด 75

5.8 ก. ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัด กับระยะเวลาบ่มของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP 78

ข. ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัด กับระยะเวลาบ่มของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP 79

5.9 ก. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการแตกตัว และปริมาณสารเคมี RRP ของก้อนตัวอย่างผสม ดินบางปู-สารเคมี RRP หลังจากนำไปแช่น้ำ 81

5.9 ข. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการแตกตัว และปริมาณสารเคมี RRP ของก้อนตัวอย่างผสม ดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP หลังจากนำไปแช่น้ำ 81

5.10 X-ray diffraction diagram ของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณต่าง ๆ 82

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.11 X-ray diffraction diagram ของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณ 0.012% ที่ระยะเวลาบ่มหลังทำการบดอัด 1, 5, 30 วัน 83

5.12 X-ray diffraction diagram ของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณ 0.012% ที่ระยะเวลาบ่มหลังทำการบดอัด 7, 15, 30 วัน 84

5.13 X-ray diffraction diagram ของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP ปริมาณต่าง ๆ 85

5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VOID RATIO กับแรงดันแนวดิ่งของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณ 0% 88

5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VOID RATIO กับแรงดันแนวดิ่งของส่วนผสมดินบางปู สารเคมี RRP ปริมาณ 0.012% 89

5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VOID RATIO กับแรงดันแนวดิ่งของส่วนผสมดินบางปู สารเคมี RRP ปริมาณ 0.024% 90

5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VOID RATIO กับแรงดันแนวดิ่งของส่วนผสมดินแหลมฉบัง สารเคมี RRP ปริมาณ 0% 91

5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VOID RATIO กับแรงดันแนวดิ่งของส่วนผสมดินแหลมฉบัง สารเคมี RRP ปริมาณ 0.012% 92

5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VOID RATIO กับแรงดันแนวดิ่งของส่วนผสมดินแหลมฉบัง สารเคมี RRP ปริมาณ 0.024% 93

5.20 Grain size distribution diagram ของส่วนผสมดินบางปู-สารเคมี RRP ปริมาณต่าง ๆ 96

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.21 Grain size distribution diagram ของส่วนผสมดินแหลมฉบัง-สารเคมี RRP ปริมาณต่าง ๆ 97

ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีและความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแทนที่ของอิเลคตรอนใน shell ต่าง ๆ 108

ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีและความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดความเร็วของอิเลคตรอนใน shell ต่าง ๆ 108

ก.3 ความสัมพันธ์รวมของความเข้มของการแผ่รังสีเอ็กซ์กับความยาวคลื่น 110

ก.4 ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของการสะท้อนรังสีเอ็กซ์ตามกฎของ Bragg 110

ข.1 ตำแหน่งของช่วงคลื่นอินฟราเรดในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 118

ข.2 ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัมของสาร Benzenesulfonamide และ Sulfanilamide 120

ข.3 แผนผังขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือวัดการดูดคลื่นอินฟราเรด 123

ข.4 เครื่องมือบันทึกสเปกตรัมอัตโนมัติแบบทั่วไปที่ใช้ระบบ Optical-null 124

ข.5 แผนผังอุปกรณ์ภายในของเครื่องมือบันทึกอินฟราเรดสเปกตรัม แบบ Perkin-Elmer รุ่น 137 124

ค.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Void Ratio กับแรงดันแนวดิ่ง (Log Pressure) 126

ค.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา - การพองตัว (Time-Swell curve) . 127

ค.3 รายละเอียดการสร้างกราฟ สำหรับวิธีการ Method C 129

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

°ซ	=	องศาเซลเซียส
°ฟ	=	องศาฟาเรนไฮต์
กก	=	กิโลกรัม
ซม.	=	เซนติเมตร
ม.	=	เมตร
มม.	=	มิลลิเมตร
A°	=	อังสตรอม (Angstrom = $1x10^{-10}$ ม.)
°C	=	องศาเซลเซียส
C.E.C	=	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity)
cm	=	เซนติเมตร
d	=	ระยะห่างระหว่างอนุภาค
in	=	นิ้ว (inch)
G_s	=	ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific gravity of solid)
Hz	=	เฮิรตซ์ (1 Hertz = 1 cycle per second)
kg	=	กิโลกรัม
Ib	=	ปอนด์
IR	=	Infrared Spectroscopy
OMC	=	ปริมาณความชื้นพอเหมาะ (Optimum moisture content)
pH	=	ค่าความเป็นกรดและด่าง
q_u	=	Unconfined compressive strength
r_{dmax}	=	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด
%	=	เปอร์เซนต์
CBR	=	การทดสอบ California Bearing Ratio
meq	=	milliequivalent

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย