การปรับปรุงคุณภาพดิน เพื่อใช้เป็นชั้นพื้นทาง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายปริญญา แสงสุวรรณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-198-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016232 I10307002X

SOIL STABILIZATION FOR BASE COURSE

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Mr. Parinya Sangsuwan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thiesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-198-8

ค

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพดิน เพื่อใช้เป็นชั้นพื้นทาง
โดย	นายปริญญา แสงสุวรรณ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ศุกรี กัมปนานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..............................คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..............................ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

..............................กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

..............................กรรมการ

(นายพิภัฒน์ คูหิรัญ)

..............................กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศุกรี กัมปนานนท์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญา แสงสุวรรณ : การปรับปรุงคุณภาพดิน เพื่อใช้เป็นชั้นพื้นทาง (SOIL STABILIZATION FOR BASE COURSE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ศุกรี กัมปนานนท์ 297 หน้า, ISBN 974-577-198-8.

การวิจัยมีวัตถุประสงค์หลักสองอย่างด้วยกัน คือ เพื่อศึกษาความเหมาะสมทางวิศวกรรมโยธา ในการนำดินประเภท Silty Clay และ Silty Sand มาปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อใช้ทำเป็นชั้นพื้นทางของถนน การทดลองดำเนินการโดยใช้วิธีของฮวีม (Hveem) และศึกษาความเหมาะสมในการนำสารอีวีเอ (EVA-Ethylene Vinyl Acetate) มาปรับปรุงแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติของเสถียรภาพของฮวีม (Hveem Stability) และคุณสมบัติการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) ซึ่งจะก่อให้เกิดความแข็งแรงของถนนมากขึ้น

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบการนำดิน Silty Clay และ Silty Sand มาปรับปรุงด้วยหินคลุกไม่เกิน 30% และแอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่เกิน 10% โดยน้ำหนัก ปรากฏว่าเมื่อทดสอบหาค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Relative Stability) ค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) และค่าการบวมตัว (Swell) สรุปผลได้ว่า ดิน Silty Clay สามารถปรับปรุงให้เป็นชั้นพื้นทางถนนที่มีระดับการจราจรต่ำได้ และดิน Silty Sand สามารถปรับปรุงให้เป็นชั้นพื้นทางถนนที่มีระดับการจราจรปานกลางได้

ผลการวิจัยการนำสารอีวีเอมาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอช่วง 2-5% กับที่ไม่ผสม ปรากฏว่าที่อุณหภูมิต่ำ (25°ซ.) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมสารอีวีเอ ให้ค่าเสถียรภาพของฮวีม (Hveem Stability) และค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) สูงขึ้น โดยเฉพาะที่การผสมสารอีวีเอ 3% จะให้ค่าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากสารอีวีเอจะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์อ่อนตัวลงเหนียวขึ้นและไม่เปราะ และจากการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ (25°ซ.) ปริมาณการผสมสารอีวีเอที่เหมาะสม คือ ที่ 3% โดยน้ำหนัก แต่การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิสูง (60°ซ.) เมื่อทำการผสมสารอีวีเอในแอสฟัลต์ซีเมนต์ กลับจะให้ค่าเสถียรภาพและค่าการยึดเหนี่ยวต่ำกว่าการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ดังนั้นจึงไม่เหมาะแก่การนำสารผสมเพิ่มชนิดดังกล่าวมาใช้ในประเทศไทย ซึ่งมีอากาศร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ....วิศวกรรมโยธา....

สาขาวิชา ....วิศวกรรมโยธา....

ปีการศึกษา ....2532....

ลายมือชื่อนิสิต ....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

PARINYA SANGSUWAN : SOIL STABILIZATION FOR BASE COURSE. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. SUKREE KAMPANANONDA, 297 PP. ISBN 974-577-198-8

There are two main objectives for this research. First is to improve physical properties of silty clay and silty sand for base course by stabilized them with asphalt cement. Hveem method of mix design was employed in the process. The second part is to add additive trade name EVA (Ethylene Vinyl Acetate) to improve Hveem stability and cohesiometer value of the mix.

The results of mixing silty clay and silty sand with crushed rock not exceeding 50% by weight and asphalt cement not exceeding 10% by weight revealed that relative stability, cohesiometer value were improved and can be used as base course for low traffic volume road and for medium traffic volume road for silty sand respectively.

When using EVA (ranging 2-5% by weight) as additive in the design mix, the test results revealed that at low temperature 25°C the Hveem stability, cohesiometer value were higher than those without additive. EVA of 3% yielded the highest strength and cohesiometer value because EVA increase ductility and toughness property of the mix. However, at high temperature (60°C) the mixture gave lower strength, lower Hveem stability and lower cohesiometer value and when compared to non additive mixture, it is inferior. Therefore, mix with EVA additive may not be appropriate for Thailand warm climate.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ เพราะได้รับการสนับสนุน การให้ความรู้และข้อเสนอแนะจากอาจารย์และบุคคลที่เกี่ยวข้อง ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ

รองศาสตราจารย์ ศุกรี กัมปนานนท์ ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ โดยให้คำปรึกษาแนะนำ ติดตาม พร้อมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และอำนวยความสะดวกจัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ต้องการในการทดลองวิจัย

ศาสตราจารย์ ดิเรก ลาวัณย์ศิริ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณพิภัฒฑ์ คูหิรัญ วิศวกรโยธา 7 กองวิเคราะห์วิจัย กรมทางหลวง ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ โดยให้คำปรึกษาแนะนำ และอำนวยความสะดวกจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ พร้อมทั้งวัสดุที่ต้องการในการทดลองวิจัย

ศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี ที่กรุณาอนุมัติให้ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์การทดลองของภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ครรชิต ผิวนวล ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ

คุณบัญชา ชุณหสวัสดิกุล บริษัท เคมีคอล อินโนเวชั่น ที่กรุณาเอื้อเฟื้อมอบตัวอย่างสาร EVA ให้ใช้ในการทดลองวิจัย

เจ้าหน้าที่ห้องทดลองภาควิชาวิศวกรรมโยธา ทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือแนะนำการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ การทดลองในห้องปฏิบัติการของภาควิชา

เจ้าหน้าที่ศูนย์หนังสือเอเชีย กรมทางหลวง เอไอที ที่ได้อำนวยความสะดวกในการจัดยืมเอกสารวิชาการ

ผู้บังคับบัญชาทุกระดับ ที่ได้ให้การสนับสนุน

ระลึกถึงพระคุณบิดา มารดาเป็นอย่างยิ่งที่ได้ช่วยเหลือ อบรม ส่งเสริม เลี้ยงดูให้ได้รับการศึกษาดีได้

และขออุทิศ แด่ นายประสิทธิ์ แสงสุวรรณ บิดาของผู้เขียนที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษาวิจัยวิทยานิพนธ์ จนใกล้จะเสร็จสมบูรณ์

ปริญญา แสงสุวรรณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ

กิตติกรรมประกาศ... ฉ

สารบัญตาราง... ฎ

สารบัญภาพ... ฑ

บทที่

1 บทนำ.. 1

1.1 คำนำ.. 1

1.2 วัตถุประสงค์.. 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย... 3

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.. 3

1.5 ความสำคัญ... 6

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง................................. 9

2.1 การปรับปรุงดิน... 9

2.1.1 คุณสมบัติของดินในทางวิศวกรรมการทาง....................... 9

2.1.2 การปรับปรุงดินโดยใช้ปูนขาว............................... 16

2.1.3 การปรับปรุงดินโดยใช้ปูนซีเมนต์........................... 17

2.1.4 การปรับปรุงดินโดยใช้แอสฟัลต์............................. 28

2.2 คุณลักษณะของความแข็งแรงของ Soil-Aggregate Mixture. 43

2.3 การปรับปรุงแอสฟัลต์ด้วยสารโพลิเมอร์.......................... 55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3 ลักษณะและคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.............................. 100

3.1 วัสดุดิน.. 100

3.2 วัสดุมวลรวมหินคลุก.. 106

3.3 แอสฟัลต์... 112

3.4 สารอีวีเอโคโพลีเมอร์... 114

4 วิธีการดำเนินการทดลอง.. 119

4.1 การทดลองคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์.......................... 119

4.1.1 การทดลองความถ่วงจำเพาะ................................ 120

4.1.2 การทดลองหาค่าการทะลวง.................................. 120

4.1.3 การทดลองหาค่าการยืดตัว.................................. 121

4.1.4 การทดลองหาจุดอ่อนตัว.................................... 122

4.1.5 การทดลองหาจุดวาบไฟ...................................... 122

4.1.6 การทดลองหาค่าสูญเสียสารประกอบแอสฟัลต์เมื่อได้รับ ความร้อน.. 124

4.1.7 การทดลองผลของความร้อนและอากาศที่มีผลต่อวัสดุ แอสฟัลต์... 124

4.1.8 การทดลองหาค่าความหนืดแบบคิเนมาติคของแอสฟัลต์... 125

4.1.9 การทดลองความคงทนและความเหนียว....................... 127

4.1.10 การทดลองการบิดตัวกลับ.................................. 129

4.2 การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต.................................... 130

4.2.1 การทดสอบหาค่า CKE....................................... 130

4.2.2 การทดสอบหาค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์......................... 132

4.2.3 การทดสอบหาค่าการยึดเหนี่ยว.............................. 135

4.2.4 การทดสอบหาค่าการบวมตัว................................. 137

4.2.5 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์คอนกรีต. 139

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 (ต่อ) หน้า

4.2.6 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดและค่าช่องว่างอากาศ.......... 139

4.2.7 การหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม.......... 140

5 ผลการทดลอง.......... 142

5.1 ผลการทดลองคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์.......... 142

5.1.1 ผลการทดลองค่าความถ่วงจำเพาะ.......... 142

5.1.2 ผลการทดลองค่าการทะลวง.......... 142

5.1.3 ผลการทดลองค่าการยืดตัว.......... 144

5.1.4 ผลการทดลองจุดอ่อนตัว.......... 144

5.1.5 ผลการทดลองจุดวาบไฟ.......... 146

5.1.6 ผลการทดลองค่าสูญเสียสารประกอบแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อน.......... 146

5.1.7 ผลการทดลองธินฟิมล์โอเวิน.......... 146

5.1.8 ผลการทดลองค่าความหนืดแบบคิเนมาติคของแอสฟัลต์... 146

5.1.9 ผลการทดลองความคงทนและความเหนียว.......... 148

5.1.10 ผลการทดลองค่าการบิดตัวกลับ.......... 148

5.2 ผลการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีวีม.......... 148

5.2.1 มวลรวมหินคลุกเป็นวัสดุหลัก.......... 148

5.2.2 มวลรวมประเภทดิน Silty Clay เป็นวัสดุหลัก...... 164

5.2.3 มวลรวมประเภทดิน Silty Sand เป็นวัสดุหลัก...... 169

6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.......... 178

6.1 สรุปผลการทดลองแอสฟัลต์ซีเมนต์.......... 178

6.2 สรุปผลการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต.......... 179

6.3 ข้อเสนอแนะ.......... 182

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บรรณานุกรม.. 184

ภาคผนวก

ก. ผลการศึกษาค่าเสถียรภาพของอวีมกับความสูงของตัวอย่าง............ 190

ข. เครื่องบดอัดแบบ Electro-Hydraulic Kneading Compactor..... 198

ค. เครื่องสเตบิโลมิเตอร์...................................... 202

ง. ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต...................... 206

ประวัติผู้เขียน.. 297

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณปูนขาวที่ใช้ในการปรับปรุงดินบางชนิด.................. 18

2.2 การประเมินความแข็งแรงโดยวิธี Uncanfined Compressive Strength.................................... 19

2.3 ปริมาณขนาดคละของดินที่เหมาะสมในการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์........ 21

2.4 ค่า PI ที่เหมาะสมของหินแต่ละชนิดในการปรับปรุงด้วยซีเมนต์......... 22

2.5 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ปรับปรุงดินบางประเภทเพื่อเป็นชั้นพื้นทาง........... 23

2.6 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ปรับปรุงดินตามขนาดของดิน Sandy Soils........ 24

2.7 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ปรับปรุงดินตามขนาดของดิน Clayey Soils....... 25

2.8 ค่า Unconfined Compressive Strength ของดินซีเมนต์บ่ม 7 วัน และ 28 วัน.. 26

2.9 คุณลักษณะของดินชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสำหรับการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์... 29

2.10 แสดงขนาดและปริมาณของดินพร้อมค่า PI ที่เหมาะสำหรับดินที่ปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์... 30

2.11 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินที่เหมาะสมในการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์.. 30

2.12 ขนาดคละของดินที่เหมาะในการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เพื่อเป็นชั้นพื้นทาง... 32

2.13 ขนาดของดินทรายประเภทต่าง ๆ ที่เหมาะสำหรับการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ 32

2.14 ค่าขนาดคละ, ค่า PI และค่าการทนต่อการขัดสีของดินที่เหมาะสำหรับการปรับปรุงด้วยอีมัลชั่น เพื่อใช้ทำวัสดุชั้นพื้นทางของถนน........... 33

2.15 ขนาดคละของดินที่เหมาะกับการปรับปรุงด้วยอีมัลซีไฟด์แอสฟัลต์......... 33

2.16 ประเภทของคัทแบคและอีมัลชั่นที่เหมาะกับดินบางประเภท........... 34

2.17 การเลือกชนิดของแอสฟัลต์ให้เหมาะกับชนิดของมวลรวม.............. 36

2.18 มาตรฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์.................................. 38

2.19 มาตรฐานของคัทแบคแอสฟัลต์.................................. 39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่		หน้า

2.20 มาตรฐานของอีมัลชั่น.. 40

2.21 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตของชั้นพื้นทางถนน.......... 45

2.22 ปริมาณของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรดต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรต่าง ๆ กัน.. 46

2.23 ข้อกำหนดของการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับชั้นพื้นทางถนน โดยวิธี Marshall, Hveem และ Habbard Field ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการจราจร 47

2.24 ข้อกำหนดในการออกแบบพื้นทางถนนโดยวิธีมาร์แชล........................ 48

2.25 ข้อกำหนดของการออกแบบชั้นพื้นทางถนน โดยดินที่ปรับปรุงด้วยคัทแบคแอสฟัลต์ และอีมัลชั่น ตามวิธีมาร์แชล........................ 48

2.26 ข้อกำหนดของการออกแบบชั้นพื้นทางถนน โดยดินที่ปรับปรุงด้วยอีมัลชั่นโดยวิธีฮวีม.. 48

2.27 ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นพร้อมสาเหตุของปัญหาของถนน........................ 57

2.28 ปัญหาของถนนและแนวทางแก้ไข.. 59

2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการใช้และปริมาณการใช้สารผสมเพิ่ม.... 60

2.30 สรุปการประเมินอัตราการใช้สารผสมเพิ่ม พร้อมทั้งปริมาณความต้องการของประเทศแคนาดา และสหรัฐอเมริกา........................ 61

2.31 คุณลักษณะในด้านต่าง ๆ ของสารโพลีเมอร์แต่ละชนิด........................ 62

2.32 องค์ประกอบของแอสฟัลต์ซีเมนต์จากเท็กซัส และซานโจควินวอลเลย์.... 70

2.33 คุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์จากเท็กซัส ทั้งที่ปรับปรุงด้วยสารผสมเพิ่ม และไม่ได้ปรับปรุง.. 70

2.34 คุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์จากซานโจควิน ทั้งที่ปรับปรุงด้วยสารผสมและไม่ได้ปรับปรุง.. 71

2.35 ค่าของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากการทดลอง Fatigue ที่อุณหภูมิ 1 °ซ. และ 25 °ซ. ของแอสฟัลต์ธรรมดา และที่ถูกปรับปรุงด้วยสารโพลีเมอร์.. 74

2.36 คุณสมบัติพื้นฐานและการนำไปใช้ สำหรับสาร Elvax........................ 80

2.37 คุณสมบัติทางกายภาพของสาร Elvax.. 84

ตารางที่ หน้า

2.38 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติ เพนนิเตรชั่น, ความหนืด, การยืดตัว และความเครียดแรงดึงของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยสารโพลีเมอร์.......... 87

2.39 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 80-100 ที่ปรับปรุงด้วยสารโพลีเมอร์ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70.......... 87

2.40 ค่าการเปลี่ยนแปลงของเพนนิเตรชั่นและความหนืด เมื่อสารผสมโพลีเมอร์ที่ 5%.......... 88

2.41 คุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ จากอ่าวคลาคสัน ประเทศสหรัฐอเมริกา และเมืองบรอนเต ประเทศอังกฤษ.......... 92

2.42 คุณสมบัติพื้นฐานของสารโพลีเอททีลีนชนิดต่าง ๆ.......... 92

2.43 ผลการทดลองความหนืดของสารโพลีเอททีลีนที่ปรับปรุงแอสฟัลต์ซีเมนต์... 99

2.44 ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมร้อนของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมสารโพลีเอททีลีนและไม่ผสม.......... 99

3.1 ขนาดต่าง ๆ ของดินที่เหมาะในการนำมาใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง.......... 102

3.2 คุณสมบัติของดิน Silty Clay.......... 103

3.3 คุณสมบัติของดิน Silty Sand.......... 104

3.4 คุณสมบัติของมวลรวมหินคลุก.......... 109

3.5 ผลการจัดขนาดคละแบบแน่นของหินคลุก.......... 110

3.6 คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์.......... 113

5.1 ผลการทดลองคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะผสมสารอีวีเอ.......... 143

5.2 ผลการทดลอง CKE.......... 152

5.3 ผลการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีของฮวีม.......... 158

ก.1 ส่วนผสมของการทดลองเสถียรภาพของฮวีม.......... 191

ก.2 การเปรียบเทียบทางสถิติของค่าผลการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีฮวีมที่ความสูงตัวอย่างแตกต่างกัน.......... 192

ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง กับค่าเสถียรภาพของฮวีมทางสถิติ.......... 194

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 แผนผังวิธีดำเนินการทดลอง.............................. 7

2.1 แนวทางการเลือกวิธีการปรับปรุงดิน.......................... 12

2.2 การเลือกสารเคมีในการปรับปรุงดิน.......................... 13

2.3 การประเมินหาค่า Unconfined Compressive Strength ที่บ่มครบ 7 วัน จากปริมาณดินที่ค้างตะแรกงหมายเลข 4 และปริมาณดินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.05 มิลลิเมตร.............................. 27

2.4 ความเหมาะสมในการเลือกอิมัลชั่นประเภทแคทอิออนหรือแอนอิออน..... 37

2.5 ปริมาณธาตุซิลิก้า และสารอัลคิวไลน์ของมวลรวมชนิดต่าง ๆ.......... 37

2.6 คุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวมขนาดใหญ่และขนาดเล็ก.................. 50

2.7 ค่าความหนาแน่นสูงสุด, ความชื้นสูงสุด และค่าเปอร์เซนต์การบดอัดของมวลรวมขนาดเล็ก สำหรับแต่ละอัตราส่วนของมวลรวมขนาดใหญ่และเล็ก 52

2.8 ค่าความแข็งแรงพร้อมประเมินหาค่า Bearing Capacity ของ Soil-Aggregate.. 53

2.9 การจำลองโครงสร้างภายในของ Soil-Aggregate ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 54

2.10 แผนผังแนวทางการเลือกใช้สาร.................................. 67

2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความเค้น........................ 72

2.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Resilient Modulus กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา และที่ถูกปรับปรุงด้วยสารโพลีเมอร์........ 72

2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และค่าเพนนิเตรชั่นกับอุณหภูมิผสม...... 75

2.14 เกรดต่าง ๆ ของสาร Elvax.. 79

2.15 รูปแบบของความล้าสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์.......................... 90

2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดของการดึงกับเปอร์เซนต์การยืด...... 90

2.17 การทดลอง Flexural Stress-Strain.............................. 94

2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับระยะงอโค้งที่เปลี่ยนแปลงของการทดลอง Flexular Stress-Strain.............................. 94

ภาพที่ หน้า

2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ที่ผสม LLPDE 5% และที่ไม่ผสม.................... 95

2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด กับปริมาณสาร LLDPE ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 95

2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพของมาร์แชล กับปริมาณของแอสฟัลต์ทั้งที่ปรับปรุงด้วย LLDPE และที่ไม่ได้ปรับปรุง โดยใช้วัสดุมวลรวมที่จัดเกรดตามวิธีของ Disher-Ferrand (HL-4).................. 96

2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Marshall Flow กับปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงด้วย LLPDE และไม่ได้ปรับปรุง โดยใช้วัสดุมวลรวมที่จัดเกรดตามวิธีของ Disher-Ferrand (HL-4).................................. 96

2.23 ความสัมพันธ์ของปริมาณช่องว่างที่บดอัดได้กับปริมาณแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุมวลรวมที่จัดเกรดตามวิธีของ Disher-Ferrand.................. 97

2.24 ผลการจัดขนาดคละของ Disher-Ferrand............................ 97

3.1 ขนาดคละของดิน Silty Clay.. 105

3.2 การจัดขนาดคละของดิน Silty Sand...................................... 106

3.3 การจัดขนาดคละของหินคลุก.. 111

4.1 เครื่องมือทดลองจุดวาบไฟ.. 123

4.2 เครื่องมือทดลองหาความหนืดแบบคิเนมาติค.......................... 126

4.3 เครื่องมือทดลองหาค่าความคงทนและความเหนียว..................... 128

4.4 เครื่องมือทดลองการบิดตัวกลับ.. 129

4.5 เครื่องมือทดลอง CKE.. 131

4.6 เครื่องผสมส่วนผสมร้อน.. 131

4.7 เครื่องมือบดอัดตัวอย่างแบบฮวีม.. 133

4.8 เครื่องมือ Stabilometer สำหรับหาค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์.......... 134

4.9 เครื่องมือทดลองค่าการยืดเหนี่ยว.. 136

4.10 ชุดเครื่องมือทดสอบการบวมตัว.. 138

ภาพที่		หน้า

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Penetration กับค่าการผสมสาร EVA ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test (TFOT)................ 145

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (Ring & Ball Softeuing Point) กับค่าการผสมสาร EVA ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test (TFOT).. 145

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดแบบคิเนมาติค กับค่าการผสมสาร EVA ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test (TFOT).......... 147

5.4 การประเมินหาค่าความคงทนและความเหนียว........................ 147

5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงทนและค่าความเหนียว กับค่าการผสมสาร EVA.. 149

5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบิดตัวกลับ กับปริมาณการผสมสาร EVA ในแอสฟัลต์ซีเมนต์.. 150

5.7 การหาค่าคงที่ Kf ของมวลรวมละเอียด จากค่า CKE ของการออกแบบของฮวีม.. 153

5.8 การหาค่าคงที่ Kc จากปริมาณน้ำมันที่ค้างอยู่....................... 154

5.9 การหาค่าคงที่ Km จากผลต่างระหว่างค่าคงที่ Kc และ Kf กับปริมาณมวลรวมหยาบ และค่าพื้นที่ผิวของมวลรวม......................... 155

5.10 การคำนวณอัตราส่วนน้ำมันของแอสฟัลต์สำหรับการออกแบบแอสฟัลต์-คอนกรีตแบบแน่น.. 156

5.11 การหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์จากค่าความหนืด กับอัตราส่วนน้ำมันของแอสฟัลต์.. 157

5.12 การประเมินหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ของวัสดุหินคลุก จากคุณสมบัติค่าปริมาณช่องว่างอากาศ, ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ และค่าการยืดเหนี่ยว.... 163

5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสาร EVA และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 °ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากหินคลุก.. 165

ภาพที่ หน้า

5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดเหนี่ยว กับปริมาณการผสมสาร EVA และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 °ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากหินคลุก......... 166

5.15 การประเมินหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 20% จากคุณสมบัติค่าปริมาณช่องว่างอากาศ, ค่าเสถียรภาพสัมพันธ์ (Felative Stability) และค่าการยืดเหนี่ยว........... 167

5.16 การประเมินหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 30% จากคุณสมบัติค่าปริมาณช่องว่างอากาศ, ค่าเสถียรภาพสัมพันธ์ และค่าการยืดเหนี่ยว........................... 168

5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ กับค่าปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 °ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจาก Silty Clay ผสมหินคลุก 30%........................... 170

5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดเหนี่ยว กับปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 °ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 30%........................ 171

5.19 การประเมินหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30% จากคุณสมบัติของปริมาณช่องว่าง, ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ และค่าการยืดเหนี่ยว............................ 172

5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ กับค่าปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 °ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30%.................... 174

5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดเหนี่ยว กับค่าปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ และจำนวนวันที่บ่มที่ 60 °ซ. ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำจากดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30%........................ 175

5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ที่ 25 °ซ. กับปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ของวัสดุหินคลุก, ดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30% และดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 30%................... 176

ภาพที่ หน้า

5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดเหนี่ยวที่ 25 °ซ. กับปริมาณสาร EVA ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ ของวัสดุหินคลุก, ดิน Silty Sand ผสมหินคลุก 30% และดิน Silty Clay ผสมหินคลุก 30%........................ 177

ก.1 การปรับค่าเสถียรภาพของฮวีมที่ความสูงประสิทธิผลใด ๆ ให้เป็นค่าเสถียรภาพที่ความสูงมาตรฐาน........................ 191

ก.2 ตัวอย่างปรับค่าเสถียรภาพของฮวีม ที่ความสูงต่าง ๆ ให้เป็นค่าเสถียรภาพที่ความสูงมาตรฐาน........................ 194

ก.3 ค่าเสถียรภาพของฮวีม ที่น้ำหนักกดต่าง ๆ กัน........................ 195

ก.4 กราฟการปรับค่าเสถียรภาพของฮวีมที่ความสูงตัวอย่างใด ๆ ให้เป็นค่าที่ความสูงมาตรฐาน........................ 197

ข.1 เครื่องบดอัดแบบ Electro-Hydraulic Kneading Compactor.... 199

ข.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องบดอัด........................ 201

ค.1 ส่วนประกอบของเครื่องสเตบิโลมิเตอร์........................ 203

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย