

การศึกษาเมคคิน เหาสำหรับพิวทางแอสพัลท์คิกคองกริดแบบผสม เย็น

นายศิริชัย กิจจาริก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

ISBN 974-567-277-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF CALCINED CLAY AGGREGATE FOR COLD-MIX  
ASPHALTIC CONCRETE PAVEMENT

MR. SIRICHAI KIJJAROUK



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาเมื่อดินเผาสำหรับผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็น  
แบบผสม เย็น


โดย                              นายศิริชัย กิจจารีก

ภาควิชา                          วิศวกรรมโยธา

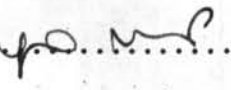
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศสิทธิ์วงศ์  
   นายชวลิต สุขะวรรณ

---

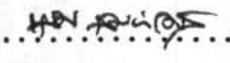
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


.....  ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ อนุกุลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศสิทธิ์วงศ์)

.....  ..... กรรมการ  
(นายชวลิต สุขะวรรณ)

.....  ..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาเบ็ดดินเผาสำหรับผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็น  
ชื่อนิพนธ์                นายศิริชัย กิจจารีก  
อาจารย์ที่ปรึกษา        รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์  
                                  นายชวลิต สุขะวรรณ  
ภาควิชา                    วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา                2529

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการศึกษาวัดคุณสมบัติเบ็ดดินเผาในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบสำหรับผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็น โดยได้ทำการทดลองหาคุณสมบัติทางวิศวกรรม อาทิเช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความสึกหรอ ค่า PSV และค่าการเคลือบผิวและการหลุดลอกของเบ็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุกที่ ๙๐๐<sup>๐</sup>ซ 1๐๐๐<sup>๐</sup>ซ และ 11๐๐<sup>๐</sup>ซ แล้วนำเบ็ดดินเผาทั้ง 3 อุณหภูมิมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ และใช้ทรายและหินฝุ่น เป็นวัสดุมวลรวมละเอียด มาออกแบบเป็นส่วนผสมที่มีการเรียงขนาดแน่น เพื่อใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็น โดยใช้วิธีมาตรฐานของอิลลินอยส์ มียางแอสฟัลท์ชนิดเหลว เกรด CM-K MC-250 และ SS-K เป็นอย่างประสาน

ผลจากการศึกษา พบว่า การใช้เบ็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุกที่ 1๐๐๐<sup>๐</sup>ซ เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็น มียางแอสฟัลท์ชนิดเหลว เกรด CM-K MC-250 และ SS-K เป็นอย่างประสาน จะให้คุณสมบัติแบบผสม เย็นอยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานมากที่สุด และการใช้ยางคัทแม็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นอย่างประสาน จะให้ผลของค่าเสถียรภาพในกรณีแช่น้ำ ค่าความหนาแน่นรวมแห้ง ค่าช่องว่างอากาศทั้งหมดดีกว่าการใช้ยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด CM-K และ SS-K ตามลำดับ ทั้งนี้ต้องอยู่ในสภาพที่น้ำท่วมไม่ถึง สำหรับในสภาพที่มีน้ำท่วมแล้ว การใช้ยางเกรด CM-K จะให้ผลดีที่สุด เนื่องจากเกิดการหลุดล่อนน้อย ส่วนการใช้ยางเกรด SS-K จะมีช่องว่างอากาศทั้งหมดค่อนข้างสูง อันจะส่งผลต่อการใช้งานให้สั้นลงซึ่งแก้ไขได้โดยทำซิลิโคนปิดทับผิวหน้าอีกครั้ง เพื่อป้องกันน้ำจากธรรมชาติซึม เข้าสู่ผิวทางได้ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาให้ค่าทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่อาจสามารถจะนำไปใช้ทำผิวทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำถึงการจราจรขนาดปานกลางได้

Thesis Title      A Study of Calcined Clay Aggregate for Cold-Mix  
Asphaltic Concrete Pavement  
Name                Mr. Sirichai Kijjarouk  
Thesis Advisor    Associate Prof. Boonsom Lerdhirunwong  
                      Mr. Chawalit Sukhawan  
Department        Civil Engineering  
Academic Year     1986

#### ABSTRACT

This research presents a laboratory study of calcined clay to be used as coarse aggregate in cold-mix asphaltic concrete pavement. The engineering properties such as specific gravity, water absorption, abrasion, PSV, stripping and coating values were tested of calcined clay aggregate heating to final temperature of 900°C, 1,000°C and 1,100°C. Then each kind was used as coarse aggregate with sand and dust stone as fine grain material in dense-graded cold-mix asphaltic concrete design using Marshall Method under Illinois Standard. Two types of liquid asphalts namely CM-K, SS-K and MC-250 were used as binder.

The results show that for cold-mix asphaltic concrete using 1,000°C calcined clay as coarse aggregate and CM-K, MC-250, and SS-K as binder give the best asphaltic concrete properties according to standard. For unsoaked condition, using the cutback asphalt grade MC-250 as binder gives soaked stability, dry bulk density, total voids results better than using asphalt emulsion grade CM-K and SS-K respectively. However, in soaked condition, using the asphalt emulsion grade CM-K as binder gives the best results for cold-mix asphaltic concrete due to less stripping value. On the other hand, using the asphalt grade SS-K gives more total voids effects shorter service life, but it can be improved by seal coat preventing the water to seep in. However, the research shows that it is applicable for light to medium traffic volume only.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอย่างสูง ต่อท่านที่ได้ช่วยเหลือให้งานวิจัยวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้สำเร็จ  
ลุล่วงไปด้วยดี ดังรายนามต่อไปนี้

ศาสตราจารย์ ดร. สุประติษฐ์ มุนนาค ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในระยะแรก ซึ่งได้  
กรุณาหาหัวข้อวิจัย ให้ความรู้และให้คำปรึกษาแนะนำอัน เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยอย่างมาก จน  
งานวิจัยใกล้เกือบสำเร็จ

รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและเป็นกรรมการ  
พิจารณาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์ ประธานกรรมการพิจารณาวิทยานิพนธ์  
ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ อนุภักย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา กรรมการพิจารณาวิทยานิพนธ์ ที่ได้  
กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญย์ศิริ กรรมการพิจารณาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำ  
แนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

อธิบดีกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ที่ได้กรุณาอนุญาตให้ข้าราชการในสังกัด ซึ่ง  
เป็นผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาเฉพาะด้าน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

คุณชวลิต สุชะวรณ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมและเป็นกรรมการพิจารณาวิทยานิพนธ์  
ฉบับนี้ด้วย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ดร. รัช ศตายุ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ตั้งแต่เริ่มแรก พร้อมทั้งจัดหา  
หนังสือเพื่อการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดลอง

คุณสุนทร กังวานพินิชย์ คุณพิภักดิ์ สุทธิรัฐ คุณวิจิตร เก่งตรง คุณเสรี พงศ์ศรีวัฒน์  
ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ตลอดมา

คุณปริมนต์ เสถียรกาล หัวหน้าหน่วยยางแอสฟัลท์และเจ้าหน้าที่ในหน่วยงาน  
ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ จัดหาตัวอย่างยางแอสฟัลท์พร้อมผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ  
ตลอดจนให้ข้อมูลต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

คุณสุรพงษ์ สุธรรมเกษม และเจ้าหน้าที่ในหน่วยงาน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ  
และให้ความช่วยเหลือในการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่าง เม็ดดินเผา

อธิการบดี มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ที่กรุณาอนุญาตให้เก็บตัวอย่างดินภายในบริเวณ  
มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์จรินทร์ โชติภักดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างดิน ตลอดจนให้ข้อมูล  
ดินอัน เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

อาจารย์สถาพร ภูวิจิตรจารุ แผนก Geotechnical & Transportation  
Engineering สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ที่ได้กรุณาให้ยืมเครื่องมือทดลองมาร์แชลล์ตลอดการ  
วิจัยนี้

คุณทินกร ไธจงธรรมา คุณวินิจ ชัยชนะศิริวิทยา คุณพงษ์ศักดิ์ อโชนัยไพบุลย์  
ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยนี้ตลอดมา

เจ้าหน้าที่ทดลองของหน่วยงานผิวจราจร กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง  
ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวก ช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือทดลอง

เจ้าหน้าที่ห้องสมุด กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง และเจ้าหน้าที่ห้องสมุด  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการค้นหาเอกสาร  
ต่าง ๆ

รัฐบาลฝรั่งเศส ที่ได้มอบ เครื่องมือเคาะเสาไฟฟ้าแบบหมุนรอบแกนชนิดกระบอก เคียว  
เพื่อใช้ในการวิจัยนี้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาอนุญาตให้ใช้ห้องทดลองในงาน  
วิจัยนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในห้องทดลองทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก  
ในการใช้เครื่องมือ

อธิบดี กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนและอนุญาตให้ลา  
ศึกษาต่อ และขอขอบคุณคุณคุณวิชาติ วงศ์วิวัฒน์ ผู้ตรวจการโยธาธิการ และคุณวิโรจน์ คลังบุญครอง  
ผู้ตรวจการโยธาธิการ กรมโยธาธิการ ที่กรุณาให้การสนับสนุนในการศึกษาครั้งนี้โดยตลอด  
สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณอย่างสูงต่อท่านอื่น ๆ ที่มีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ได้  
ช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จการศึกษาระดับนี้

นายศิริชัย กิจจารีก

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ฅ
สารบัญตาราง .....	ฐ
สารบัญรูป .....	ค
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	น
 บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
2. ทฤษฎีและผลการศึกษาในอดีต .....	4
2.1 แอสฟัลต์ติกคอนกรีต .....	4
2.2 วัสดุมวลรวม .....	7
2.3 ยางแอสฟัลต์ .....	14
2.4 การเลือกใช้ยางแอสฟัลต์ชนิดเหลวให้เหมาะสมกับงาน .....	27
2.5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของดินเหนียว เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูง .....	37
2.6 ผลการศึกษาในอดีต .....	39
3. การดำเนินการวิจัย .....	51
3.1 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม .....	51
3.2 การทดสอบคุณสมบัติยางแอสฟัลต์ .....	51
3.3 การพิจารณาเลือกการเรียงขนาดของวัสดุมวลรวม .....	52
3.4 การออกแบบส่วนผสม .....	52
3.5 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็น โดยวิธี บาร์แชล .....	62

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล .....	63
4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุมวลรวม .....	63
4.2 ผลการทดลองคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว .....	63
4.3 ผลการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น .....	70
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	85
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	87
เอกสารอ้างอิง .....	89
ภาคผนวก .....	94
ก. การผลิตเม็ดดินเผา .....	95
ก.1 แหล่งวัสดุที่นำมาทำการวิจัย .....	96
ก.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเม็ดดินเผา .....	96
ก.3 การเตรียมเม็ดดินเหนียว .....	101
ก.4 การเผาเม็ดดินเหนียว .....	103
ข. การวิเคราะห์ขนาดผลึกของวัสดุมวลรวม .....	106
ข.1 การผสมวัสดุมวลรวมโดยน้ำหนัก .....	107
ข.2 การปรับแก้ขนาดผลึกโดยการร่อนทั้ง .....	119
ข.3 การผสมวัสดุมวลรวมโดยปริมาตร .....	122
ข.4 การคำนวณน้ำหนักในแต่ละกะบะดวงในห้องทดลอง .....	127
ค. ตัวอย่างการคำนวณแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น .....	129
ค.1 ยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด CM-K เป็นยางประสาน .....	130
ค.2 ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน .....	130
ค.3 ยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด SS-K เป็นยางประสาน .....	131

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ง. วิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็นโดยวิธีมาร์แชล	145
ง.1 การประมาณปริมาณเนื้อยางล้น ๗.....	146
ง.2 การเคลือบผิวของวัสดุมวลรวม .....	146
ง.3 การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบดอัด .....	150
ง.4 การหาเสถียรภาพที่เหมาะสมที่สุดจาก เปอร์ เซนคียงแอสฟัลท์ต่าง ๗	151
ง.5 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็น โดยใช้ยางแอสฟัลท์อิมัลชัน และการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล .....	152
ง.6 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสม เย็น โดยใช้ยางคัทแบ็คและการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล .....	166
จ. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม .....	168
จ.1 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาการกระจายขนาดของวัสดุ มวลรวม .....	169
จ.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน เผา .....	170
จ.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของทราย และหินฝุ่น .....	173
จ.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม หยาบ .....	178
จ.5 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่า Sand Equivalent ...	182
จ.6 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม	187
จ.7 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการเคลือบผิวและการหลุดลอกของ ยางแอสฟัลท์ .....	188
จ.8 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าดัชนีความแบน .....	194
จ.9 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง Polished-Stone Value ..	196

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ฉ. การทดสอบคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว .....	๒๐๒
ฉ.๑ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความหนืดโดยวิธี Saybolt Furol .....	203
ฉ.๒ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความหนืด Kinematic ของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ .....	206
ฉ.๓ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการแยกชั้นหลังจาก 7 วัน .....	209
ฉ.๔ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาปริมาณยางแอสฟัลท์ที่ค้าง บนตะแกรง .....	210
ฉ.๕ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการผสมกับซีเมนต์ .....	212
ฉ.๖ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองตรวจสอบประจุไฟฟ้าของยาง แอสฟัลท์อีมีลชั่น .....	213
ฉ.๗ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองความเป็นกรด-ด่าง .....	214
ฉ.๘ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการกลั่นยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น .....	217
ฉ.๙ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการกลั่นยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ .....	222
ฉ.๑๐ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าเพเนเตรชั่นของวัสดุ บิทูมินัส .....	224
ฉ.๑๑ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่า Ductility ของวัสดุ แอสฟัลท์ .....	228
ฉ.๑๒ การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาการละลายของวัสดุบิทูมินัส .....	230
ช. การพิจารณาความเสียหายของผิวทาง เพื่อซ่อมบำรุง .....	235
ช.๑ การพิจารณาความเสียหายของผิวทาง เพื่อซ่อมบำรุง .....	236
ช.๒ วิธีการบำรุงทาง .....	250
ประวัติผู้เขียน .....	251

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ .....	17
2.2	แนะนำการให้ความร้อนยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ เกรดต่าง ๆ สำหรับ งานก่อสร้าง อุณหภูมิ เป็น °ฟ .....	17
2.3	ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ชนิดแข็งตัวเร็ว.....	19
2.4	ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง.. ..	19
2.5	ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ชนิดแข็งตัวช้า .....	21
2.6	ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าลบ .....	25
2.7	ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวก .....	25
2.8	แนะนำการเลือกใช้ยางแอสฟัลท์อีมีลชั่นที่เหมาะสมกับงานลักษณะต่าง ๆ ....	29
2.9	แนะนำการเลือกใช้ชนิดและ เกรดของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ที่เหมาะสม กับงานลักษณะต่าง ๆ .....	30
2.10	แนะนำการให้ความร้อนแก่ยางแอสฟัลท์ชนิดเหลวสำหรับงานก่อสร้างแบบผสม เย็น	31
2.11	ปฏิกิริยาของดินเหนียวที่เกิดขึ้น เมื่อถูก เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	38
3.1	มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม .....	53
3.2	มาตรฐานการทดสอบและข้อกำหนดของยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น .....	55
3.3	มาตรฐานการทดสอบและข้อกำหนดของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ .....	56
3.4	แนะนำการเลือกใช้วัสดุมวลรวมคละที่มีการเรียงขนาดต่าง ๆ และคุณสมบัติ ของวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ทดลอง .....	57
3.5	การปรับแก้ร้อยละโดยปริมาตร เป็นร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมคละ เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 900°ซ ททราย และหินฝุ่น .....	58
3.6	การจัดขนาดผสมของส่วนผสมมวลรวมคละที่ออกแบบ สำหรับ เม็ดดินเผา.... ที่อุณหภูมิ 900°ซ .....	58
3.7	การปรับแก้ร้อยละโดยปริมาตร เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ของวัสดุมวลรวม ... คละ เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 1,000°ซ ททรายและหินฝุ่น .....	59
3.8	การจัดขนาดผสมของส่วนผสมมวลรวมคละที่ออกแบบ สำหรับ เม็ดดิน .....	59
	เผาที่อุณหภูมิ 1,000°ซ .....	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
๓.๙ การปรับแก้ร้อยละโดยปริมาตร เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ของวัสดุมวลรวม คละเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 1,100 <sup>o</sup> ซ ทราาย และหินปูน .....	60
๓.10 การจัดขนาดผสมของส่วนผสมมวลรวมคละที่ออกแบบ สำหรับ เม็ดดินเผาที่ อุณหภูมิ 1,100 <sup>o</sup> ซ .....	60
๓.11 ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลท์ติก คอนกรีตแบบผสม เย็น ตามวิธีมาร์แชล	62
4.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของ เม็ดดินเผาและข้อกำหนดมาตรฐาน .....	66
4.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของทราาย หินปูนและข้อกำหนดมาตรฐาน .....	66
4.3 ผลการทดลองคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว เกรดต่าง ๆ และข้อ กำหนดมาตรฐานของ ASTM และ AASHO .....	69
4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองแอสฟัลท์ติก คอนกรีตแบบผสม เย็นโดยใช้เม็ดดิน เผาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ และยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน .....	72
4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองแอสฟัลท์ติก คอนกรีตแบบผสม เย็นโดยใช้เม็ดดิน เผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ เป็นวัสดุมวลรวมหยาบกับหินปูน กรวด จากแหล่งวัสดุต่าง ๆ .....	81
ก.1 ส่วนประกอบทางเคมี คุณสมบัติและดัชนีขั้นพื้นฐาน ของแหล่งดินเหนียว บางเขน .....	100
ข.1 การผสมวัสดุมวลรวมโดยวิธีทดลองทำ .....	107
ข.2 ข้อกำหนดการจัดขนาดคละและการแยกค้ำยตะแกรงของวัสดุมวลรวม	109
ข.3 การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวมหลังจากการผสมวัสดุมวลรวม 2 ชนิด .....	110
ข.4 ข้อกำหนดการจัดขนาดคละและการแยกค้ำยตะแกรงของวัสดุมวลรวม	112
ข.5 การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวมหลังจากการผสมวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ชนิด	112
ข.6 การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวมหลังการแยกค้ำยตะแกรงใหม่ .....	113
ข.7 ข้อกำหนดการจัดขนาดคละและการแยกค้ำยตะแกรงร้อนของวัสดุมวลรวม	114

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
ข.8	ข้อกำหนดการจัดขนาดคละและการแยกด้วยตะแกรงร้อนของวัสดุรวม	117
ข.9	การปรับแก้การจัดหาขนาดคละโดยการร่อนทิ้ง สำหรับเปอร์เซ็นต์ที่ผ่าน ตะแกรงเบอร์ 4 .....	121
ข.10	การปรับแก้การจัดหาขนาดคละโดยการร่อนทิ้ง สำหรับ เปอร์เซ็นต์ที่ผ่าน ตะแกรงเบอร์ 30 .....	122
ข.11	ค่าความถ่วงจำเพาะและสัดส่วนของการผสมโดยปริมาตรของวัสดุรวม 3 ชนิด .....	124
ข.12	การปรับแก้ เปอร์ เซนต์โดยปริมาตร เป็น เปอร์ เซนต์โดยน้ำหนัก .....	125
ข.13	ข้อกำหนดของวัสดุรวมและ เปอร์ เซนต์ผ่านตะแกรงร้อนของวัสดุรวม แต่ละชนิด .....	125
ข.14	การเรียงขนาดคละของวัสดุรวม 3 ชนิดหลังจากการผสมโดยปริมาตร	126
ข.15	การเรียงขนาดคละของวัสดุรวมหลังจากการผสมโดยวิธีซึ่งน้ำหนักใน แต่ละกะบะดวง .....	128
ค.1	การคำนวณแบบผสม เย็น ที่ใช้มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรด CM-K เป็นยางประสาน ...	132
ค.2	การคำนวณแบบผสม เย็น ที่ใช้มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรด CM-K เป็นยางประสาน	133
ค.3	การคำนวณแบบผสม เย็น ที่ใช้มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,100 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรด CM-K เป็นยางประสาน	134
ค.4	การคำนวณแบบผสม เย็น ที่ใช้มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900 <sup>o</sup> ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน	138
ค.5	การคำนวณแบบผสม เย็น ที่ใช้มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน	139
ค.6	การคำนวณแบบผสม เย็น ที่ใช้มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,100 <sup>o</sup> ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน	140
ค.7	การคำนวณแบบผสม เย็น ที่ใช้มวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรด SS-K เป็นยางประสาน	144

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.1 อัตราร่วมสหสัมพันธ์เสถียรภาพ .....	163
ง.2 ตัวอย่างตารางคำนวณส่วนผสมยางแอสฟัลท์อิมัลชัน .....	165
จ.1 ความถ่วงจำเพาะของน้ำ .....	177
จ.2 ขนาดและน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละ เกรดที่ใช้วัดความสึกหรอ .....	181
จ.3 แนะนำการให้ความร้อนแก่วัสดุขุยมิเนส สำหรับทดลองการเคลือบผิว	190
จ.4 ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ลอคผ่านเครื่องมือวัดความหนา .....	195
ฉ.1 เกลือ Buffer ชนิดต่าง ๆ ที่นำไปทำเป็นสารละลาย .....	216
ฉ.2 สารละลายมาตรฐานซึ่งมีค่า PH ที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	216



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภูมิการผลิตยางแอสฟัลท์จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม .....	18
2.2 การเปรียบเทียบค่าความหนืดของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ .....	18
ความข้อกำหนดใหม่และเก่าที่อุณหภูมิ 60 <sup>o</sup> ซ .....	20
2.3 แผนภูมิในการผลิตแอสฟัลท์อิมัลชัน .....	21
2.4 ชนิดของประจุที่ผิวของวัสดุมวลรวม .....	31
2.5 การจำแนกวัสดุมวลรวม .....	33
2.6 ช่วงประสิทธิผลโดยประมาณของยางแอสฟัลท์อิมัลชัน เมื่อใช้กับวัสดุมวลรวม ชนิดต่าง ๆ .....	33
2.7 ปฏิกริยาระหว่างยางแอสฟัลท์อิมัลชันชนิดประจุบวกกับวัสดุมวลรวมพวก ซิลิกา .....	34
2.8 ปฏิกริยาระหว่างยางแอสฟัลท์อิมัลชันชนิดประจุลบกับวัสดุมวลรวมพวกหินปูน	34
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ระยะเวลาในการผสมกับ การเคลือบผิวของยางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรดต่าง ๆ .....	36
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณของของเหลวที่ใช้ผสม ระยะเวลาในการ ผสมกับกำลังของวัสดุมวลรวม เมื่อใช้ยางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรดต่าง ๆ	36
3.1 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น จาก ลึกลับร้อยละ โดยปริมาตร เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก .....	61
4.1 ผลการทดลองแบบผสม เย็นโดยมียางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรด CM-K เป็นยาง ประสานกับมวลรวม เม็คคิน เผาซึ่ง เผาที่อุณหภูมิสุดท้ายต่าง ๆ .....	73
4.2 ผลการทดลองแบบผสม เย็นโดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสานกับมวล เม็คคิน เผาซึ่ง เผาที่อุณหภูมิสุดท้ายต่าง ๆ .....	74
4.3 ผลการทดลองแบบผสม เย็นของมวลรวม เม็คคิน เผา ที่อุณหภูมิสุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์อิมัลชัน เกรด SS-K เป็นยางประสาน	75
4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองแบบผสม เย็นของมวลรวม เม็คคิน เผาที่อุณหภูมิเผา สุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์ เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน	76

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.5	เปรียบเทียบผลการทดลองแบบผสม เย็น ระหว่างมวลรวม เม็ดดินเผา หินปูนย่อยและกรวด โดยมียางแอสฟัลท์เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน	82
4.6	เปรียบเทียบผลการทดลองแบบผสม เย็น ระหว่างมวลรวม เม็ดดินเผา ที่อุณหภูมิเผา 1,000 <sup>o</sup> ซ กับหินปูนย่อยจาก CFS โดยมียางแอสฟัลท์ เกรดต่าง ๆ เป็นยางประสาน .....	83
4.7	เปรียบเทียบผลการทดลองแบบผสม เย็นระหว่างมวลรวม เม็ดดินเผา และหินปูน โดยมียางแอสฟัลท์อีมีลชั้น เกรด SS-K เป็นยางประสาน	84
ก.1	แผนที่แสดงแหล่งดินเหนียวอ่อนบาง เช่น กรุงเทพมหานคร .....	97
ก.2	แผนผังแสดงสถานที่เก็บดินเหนียวอ่อนตัวอย่าง ภายในบริเวณมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร .....	98
ก.3	เครื่องบดอัดดิน .....	99
ก.4	เครื่องเผาเผาไฟฟ้าแบบ Monotube Rotary Kiln .....	99
ก.5	ตัวอย่าง เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายต่าง ๆ .....	199
ก.6	เครื่องเผาเผาไฟฟ้าแบบ Monotube Rotary Kiln และอุปกรณ์ .....	102
ข.1	การหาลึกลับส่วนผสมของวัสดุมวลรวม 2 ชนิด .....	116
ข.2	การหาลึกลับส่วนผสมของวัสดุมวลรวม 3 ชนิด .....	117
ข.3	แผนรูปการวิเคราะห์ขนาดคละก่อนและหลังการร่อนทั้ง .....	119
ข.4	แผนภูมิสำหรับหาเปอร์เซ็นต์ของส่วนร่อนทั้ง เพื่อการปรับแก้การเรียงขนาด คละของวัสดุมวลรวม .....	123
ค.1	ผลการทดลองแบบผสม เย็นของมวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์อีมีลชั้น เกรด CM-K เป็นยางประสาน	135
ค.2	ผลการทดลองแบบผสม เย็นของมวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์อีมีลชั้น เกรด CM-K เป็นยางประสาน	136
ค.3	ผลการทดลองแบบผสม เย็นของมวลรวม เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,100 <sup>o</sup> ซ โดยมียางแอสฟัลท์อีมีลชั้น เกรด CM-K เป็นยางประสาน	137

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.4 ผลการทดลองแบบผสม เย็นของมวลรวมเบ็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900 <sup>o</sup> ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์เกรด MC-250 เป็นยางประสาน	141
ค.5 ผลการทดลองแบบผสม เย็นของมวลรวมเบ็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน	142
ค.6 ผลการทดลองแบบผสม เย็นของมวลรวมเบ็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,100 <sup>o</sup> ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน	143
ง.1 เครื่องมือสำหรับบดอัดตัวอย่างโดยวิธีมาร์แชล .....	159
ง.2 เครื่องมือบดอัดตัวอย่างแบบ ใช้ไฟฟ้า .....	160
ง.3 เครื่องมือทดลองมาร์แชล .....	161
ง.4 การฝั่งตัวอย่างในอากาศ ที่อุณหภูมิห้อง .....	162
ง.5 การแช่ตัวอย่างในน้ำหลังจากทิ้งให้แห้งในอากาศ 3 วัน .....	164
จ.1 ตะแกรงร่อนชุดใหญ่ .....	171
จ.2 ตะแกรงร่อนชุดเล็ก .....	171
จ.3 เครื่องมือ Los Angeles .....	180
จ.4 ชุดเครื่องมือทดลอง Sand Equivalent .....	185
จ.5 วิธีการเขย่าตัวอย่างทดลอง Sand Equivalent .....	186
จ.6 การเคลื่อนหิววัสดุเบ็ดดินเผาแบบแห้ง ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายต่าง ๆ ด้วยยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 .....	191
จ.7 การเคลื่อนหิววัสดุเบ็ดดินเผาแบบเปียก ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายต่าง ๆ ด้วยยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 .....	192
จ.8 การเคลื่อนหิววัสดุเบ็ดดินเผาแบบแห้ง ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายต่าง ๆ ด้วยยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด CS-K .....	192
จ.9 การเคลื่อนหิววัสดุเบ็ดดินเผาแบบแห้ง ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้าย 1,000 <sup>o</sup> ซ ด้วยยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น เกรด SS-K .....	193
จ.10 เครื่องมือวัดความหนา .....	193

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.11 เครื่องชั่ง .....	199
จ.12 เครื่องมือวัดความต้านทานการลื่นไถล .....	200
จ.13 ตัวอย่างเม็ดดินเผาที่ทดลองทำ PSV ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายต่าง ๆ	201
ฉ.1 เครื่องมือทดลองหาค่าความหนืดแบบ Saybolt Furol .....	205
ฉ.2 เครื่องมือทดลองหาค่าความหนืดแบบ Kinematic .....	208
ฉ.3 เครื่องมือทดลองตรวจสอบประจุไฟฟ้า.....	209
ฉ.4 เครื่องมือทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำ .....	216
ฉ.5 การกลั่นสำหรับยางแอสฟัลท์อีมีลชั่น .....	221
ฉ.6 การกลั่นสำหรับยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ .....	221
ฉ.7 เครื่องมือทดลองหาค่าเพเนเตรชั่น .....	227
ฉ.8 แบบสำหรับหล่อตัวอย่าง .....	229
ฉ.9 เครื่องมือทดลองหาค่า Ductility.....	229
ฉ.10 เครื่องมือทดลองหาค่าการละลาย .....	234
ช.1 คานเบนเคลแมน .....	236
ช.2 รอยแตกร้าวแบบหนึ่งจรเข้ .....	238
ช.3 รอยแตกร้าวจากการหดตัว .....	239
ช.4 รอยแตกร้าวตามแนวขอบผิวทาง .....	239
ช.5 รอยแตกร้าวตามรอยเดิมของผิวทางเดิม .....	240
ช.6 รอยแตกร้าวจากการรถไถ .....	240
ช.7 รอยแตกร้าวตามแนวรอยค่อช่องจราจร .....	241
ช.8 รอยแตกร้าวจากการขยายผิวทาง .....	242
ช.9 รอยร่องทางล้อ .....	243
ช.10 ถนนเป็นคลื่นลูกขนาด .....	243
ช.11 ถนนขุมตัวเป็นหลุม .....	244

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ช.12	ถนนที่เกิดการบวมแตก .....	245
ช.13	การทรุดตัวของระดับผิวทาง .....	246
ช.14	การเกิดหลุมบ่อบนถนน .....	246
ช.15	การแตกแยก .....	247
ช.16	การเย็บของยางแอสฟัลท์ .....	248
ช.17	วัสดุมวลรวมผิว เรียบในชั้นผิวทางของถนน .....	249

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

๐ ช	=	องศาเซลเซียส
๐ ฟ	=	องศาฟาเรนไฮท์
AASHTO	=	The American Association of State Highway and Transportation Officials
AAV	=	Aggregate Abrasion Value ค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม
ASTM	=	The American Society for Testing Materials
BS	=	British Standard
CM-K	=	ยางแอสฟัลท์อีมีลชนิดแตกตัวเร็วปานกลางที่มีประจุไฟฟ้าบวก
Gag	=	ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
G <sub>b</sub>	=	ค่าความถ่วงจำเพาะรวม
Gradation	=	การเรียงขนาดคละ ส่วนขนาดคละ
MC-250	=	ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง ซึ่งมีความหนืดต่ำสุด 250 เซนติ-สโตก
PSV	=	Polished Stone Value ค่าความต้านทานการสึกกร่อนของมวลรวมหลังขัด
S.E.	=	ค่า Sand Equivalent
SS-K	=	ยางแอสฟัลท์อีมีลชนิดแตกตัวช้าที่มีประจุไฟฟ้าบวก