

การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็ดดินผสมทรายเฒ่า หินปูนเฒ่า แก้ว
ตะกรันเตาถลุง และตะกรันเตาหลอม เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง.



นายปรีชา ไกรสิริเดช

001663

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2521

I16504689

THE ENGINEERING PROPERTIES OF CLAY AGGREGATE, CALCINED LIMESTONE,
GLASS, BLASTFURNACE SLAG, AND STEEL SLAG FOR PAVEMENT SURFACES.

Mr. Preecha Kraisiridej

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

1978

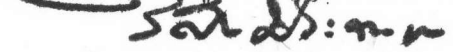
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็คคินผสมทรายเผา หินปูนเผา
แก้ว ตะกรันเตาถลุงและตะกรันเตาหลอม เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุฉนวนทาง

โดย นายปรีชา ไกรสิริเกษ

แผนกวิชา วิศวกรรมโยธา


อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุญนาค

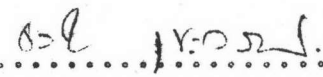
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

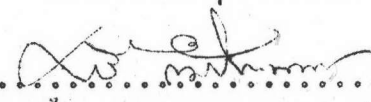

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)

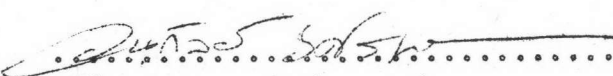
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ คาร์นันนท์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุญนาค)


..... กรรมการ
(นายชวลิต สุชะวรรณ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศุกรี กัมปนานนท์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุกัตย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็คคินผสมทรายเผา หินปูนเผา
แก้ว ตะกรันเตาถลุงและตะกรันเตาหลอม เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง

ชื่อนิสิต นายปรีชา ไกรสิริเดช
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุประคิษฐ์ บุญนาค
แผนกวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2520



บทคัดย่อ

หินปูนซึ่งใช้เป็นมวลรวมในผิวทางทั่วไปในภาคกลางของประเทศไทย มักให้
ค่าความต้านทานการลื่นไถลต่ำเมื่อเปียก หลังจากใช้งานได้ไม่นาน ซึ่งอาจก่อให้เกิด
อุบัติเหตุรุนแรงอันเนื่องจากการลื่นไถล การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรม
ของมวลรวมประคิษฐ์ที่เลือกไว้ ซึ่งอาจใช้เป็นมวลรวมแทนหินปูน มวลรวมเหล่านี้ได้แก่
เม็คคินเหนียวปทุมธานี และราชบุรี ผสมทรายละเอียด 20% เผาที่ 600-1200 °C หิน
ปูนสีคำ สีเทา สีขาว เผาที่ 176-700 °C เศษแก้ว ตะกรันเตาถลุง และตะกรันเตาหลอม
การทดลองกระทำในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความถ่วงจำเพาะ ส่วนประกอบทางเคมี
การดูดซึมน้ำ การหลุดลอกของมวลรวมจากยางแอสฟัลท์ ค่าความสึกหรอ และค่า
Polished Stone Value (PSV) ของมวลรวม ผลการทดลองซึ่งถือตามมาตรฐาน
ของหินทางทั่วไปของกรมทางหลวง พบว่า ตะกรันเตาถลุง หินปูนสีคำ เม็คคินปทุมธานี
เผาที่ 800-1200 °C และตะกรันเตาหลอม เหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นมวลรวมผิวทาง
นอกจากนี้ มวลรวมสองชนิดหลังยังสามารถนำมาใช้ตามจุดอันตราย เช่น ทางโค้ง
หรือวงเวียน ได้อีกด้วย

Thesis Title The Engineering Properties of Clay Aggregate,
 Calcined Limestone, Glass, Blastfurnace Slag and
 Steel Slag for Pavement Surfaces.

Name Mr. Preecha Kraisiridej.

Thesis Advisor Asst. Prof. Dr. Supradit Bunnag.

Department Civil Engineering.

Academic Year 1977.



ABSTRACT

Limestone, which is generally used as pavement aggregate in central part of Thailand, always gives low wet skid resistance after a short period of service. This may cause fatal accident due to skidding. This research attempted to study the engineering properties of selected artificial aggregates, which could be used as surface aggregates, to replace the limestone. These aggregates are Pathumthani and Rachaburi clay with 20 % fine sand, calcined at 600-1200°C; black gray and white limestone, calcined at 176-700°C; glass chips, blastfurnace slag and steel slag. The laboratory investigations were made to investigate the specific gravity, chemical compositions, water absorption, stripping, abrasion, and the Polished Stone Values of the aggregates. Conforming to the general requirements for pavement aggregates of Royal Thai Highway Department, the blastfurnace slag, the black limestone, the Pathumthani clay calcined at 800-1200°C and steel slag are suitable to be used as pavement aggregates. Moreover, the latter two may also be used even in the difficult sites of the roadway i.e. curve, roundabout.

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็คตินผสมทรายเผา หินปูนเผา
แก้ว ตะกรันเตาถลุงและตะกรันเตาหลอม เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง

โดย นายปรีชา ไกรศิริเดช

แผนกวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุประคิษฐ์ บุญนาค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ คารานันท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุประคิษฐ์ บุญนาค)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุศักดิ์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อท่านที่ได้อำนวยเหลือจนวิทยานิพนธ์สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ดังรายนามต่อไปนี้

ผศ.ดร.สุประคิษฐ์ นูนาค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ศ.ดร.นิวัตต์ คารานันท์ รศ.ศุภรี กัมปนาพันธ์ ผศ.อนุภักดิ์ อิศรเสนา ณ อยุธยา ได้สละเวลาเพื่อตรวจวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

คุณชวลิต สุขะวรรณ ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือของกรมทางหลวง

ผศ.ดร.เล็ก อุตตะมะศิริ ได้ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือของแผนกวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

คุณสันต์ ไชยโชติช่วง คุณสุรพงษ์ สุธรรมเกษม คุณสรสิทธิ์ กาญจนนินิต์ คุณสัมพันธ์ บัวเจริญ คุณเชิดศักดิ์ พุ่มศิริอุดม ได้ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง และในการทดลอง

คุณสุทิน ฮอรวาท คุณอมรา ตันเสถียร คุณอำไพ อิทธิเกษม คุณมุกดา ธรรมบท ได้ช่วยวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่าง

คุณองค์คุณ อยู่มั่น ได้มอบตะกอนเตาถลุง คุณอัศวิน เศรษฐบุตร ได้ช่วยจัดหาตะกอนเตาหลอม โรงโมเสลามาณี โรงโมเสลาบริการทอง โรงโมเสลาเพิ่มพูน ได้มอบหินปูนชนิดต่างๆเป็นตัวอย่างในการทดลอง

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อหน่วยงานที่ได้อำนวยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทดลอง ดังต่อไปนี้

ห้องทดลองงานวิจัย งานวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุ งานวิเคราะห์วัสดุทางเคมี งานควบคุมผิวทาง กองวิเคราะห์วิจัย กรมทางหลวง

แผนกเคมี กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

แผนกเคมี โรงงานแก้ว บางนา

สารบัญ

หน้า

หน้าอนุมัติ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ฆ
สารบัญ	ง
รายการตารางประกอบ	ฉ
รายการรูปประกอบ	ช
ศัพท์เปรียบเทียบ ความหมาย และอักษรย่อ	ฉ
บทที่	

1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
2 การสำรวจการวิจัยที่เคยกระทำมา	5
2.1 องค์ประกอบของความต้านทานการคืนใจของฉิวทาง	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฉิวมหภาคและฉิวจุลภาคต่อความต้านทานการคืนใจ	5
2.3 ผลของความเป็ยงของฉิวทางต่อความต้านทานการคืนใจ	8
2.4 อิทธิพลของฉิวทางต่อความต้านทานการคืนใจ	8
2.5 ประสิทธิภาพของมวลรวมในฉิวทางแอสฟัลท์และฉิวทางคอนกรีต	9
2.6 การศึกษาค่าความต้านทานการคืนใจ	9

2.7	ค่าขั้นต่ำที่ไรกำหนดความต้านทานการลื่นไถล	10
2.8	แบบที่ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการคำนวณเพื่อผลิตมวลรวมประคิษฐ์ . . .	12
2.9	การศึกษามวลรวมประคิษฐ์เพื่อใช้ในงานทาง	14
2.10	การศึกษาการใช้ดินเหนียวเป็นมวลรวมประคิษฐ์	15
2.11	การศึกษาความต้านทานการลื่นไถลของหินปูน	16
2.12	การศึกษาการใช้แกลบเป็นมวลรวมประคิษฐ์	17
2.13	การศึกษาการใช้ตะกรันเตาถลุงและตะกรันเตาหลอมในงานทาง . .	17
2.14	มาตรฐานของมวลรวมที่นำมาใช้เป็นวัสดุผิวทางของกรมทางหลวง .	18
3	วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการทดลอง	19
3.1	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	26
3.3	วิธีการทดลอง	35
4	ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	42
4.1	ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะ และการดูซึมน้ำของมวลรวม .	42
4.2	ผลการทดลองหาการหลุดลอกของมวลรวมจากยางแอสฟัลต์ . . .	53
4.3	ผลการทดลองหาค่าความสึกหรอของมวลรวม	57
4.4	ผลการทดลองหาค่า PSV ของมวลรวม	64
5	สรุปการวิจัย และขอเสนอแนะ	73
5.1	สรุปการวิจัย	73
5.2	ขอเสนอแนะเพื่อศึกษาเพิ่มเติมต่อไป	74
	เอกสารอ้างอิง	75
	ภาคผนวก	81
	ประวัติผู้เขียน	86

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของดินปทุมธานี และดินราชบุรี	23
3.2 คัชนีและการแยกประเภทของดินปทุมธานี และดินราชบุรี	23
3.3 ส่วนประกอบทางเคมีของหินปูน	24
3.4 ส่วนประกอบทางเคมีของแกลบ	24
3.5 ส่วนประกอบทางเคมีของตะกอนดินเหนียว และตะกอนดินทราย	25
3.6 ขนาดและน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละเกรดที่ใช้วัดความสึกหรอ	34
3.7 จำนวนลูกเหล็กที่ใช้กับตัวอย่างแต่ละเกรด	34
4.1 ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของมวลรวม	46
4.2 ผลการทดลองหาการหลุดลอกของมวลรวมจากยางแอสฟัลต์	56
4.3 ผลการทดลองหาค่าความสึกหรอของมวลรวม	59
4.4 ผลการทดลองหาค่า PSV ของมวลรวม	68



รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบของแรงเสียดทานระหว่างยางและผิวทาง 6
2.2	ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะผิวทาง 7
2.3	แบบของมวลรวมที่ใช้ทำผิวทางเพื่อให้เกิดความต้านทานการลื่นไถลสูง. 13
3.1	แผนที่แสดงตำแหน่งแหล่งหินปทุมธานี. 21
3.2	แผนที่แสดงตำแหน่งแหล่งหินราชบุรี 22
3.3	เครื่องบดหิน 27
3.4	เครื่องอัดหิน 27
3.5	เตาเผาไฟฟ้า. 28
3.6	เครื่องร่อนหิน. 28
3.7	เครื่องวัดความสึกหรอของมวลรวมหยาบ 32
3.8	เครื่องวัดความต้านทานการลื่นไถล 32
3.9	เครื่องชั่ง 33
3.10	แม่คหินผสมทราย เเผที่อุณหภูมิต่างๆ. 39
3.11	หินปูน เเผที่อุณหภูมิต่างๆ 39
3.12	ตะกรันเตาถลุงเหล็กสยาม และตะกรันเตาหลอม จี เอส สตีล . . . 40
3.13	แม่คหินผสมทรายเเผ ก่อนเข้าเครื่องวัดความสึกหรอ. 40
3.14	หินปูนสีค่า เเผ 500°C ก่อนเข้าทดลองวัดความสึกหรอ. 41
3.15	แก้ว ก่อนเข้าทดลองวัดความสึกหรอ. 41
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะ และอุณหภูมิที่ใช้เเผ ของแม่คหิน ปทุมธานีผสมทราย 48
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิที่ใช้เเผของแม่คหิน ราชบุรีผสมทราย 48
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างการकुคิมน้ำและอุณหภูมิที่ใช้เเผ ของแม่คหิน ปทุมธานีผสมทราย 49

4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างการคุกคามน้ำและอุณหภูมิที่ไช้เผา ของเม็คดิน ราชบุรีผสมทราย	49
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูน สีคำ.	50
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูน สีเทา	50
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูน สีขาว	51
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างการคุกคามน้ำและอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูนสีขาว	51
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างการคุกคามน้ำและอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูนสีคำ	52
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างการคุกคามน้ำและอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูนสีเทา	52
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ไช้เผา ของเม็คดินปทุมธานี ผสมทราย	61
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ไช้เผา ของเม็คดินราชบุรี ผสมทราย.	61
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูนสีคำ. .	62
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูนสีเทา .	62
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AAV และอุณหภูมิที่ไช้เผา ของหินปูนสีขาว .	63
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และอุณหภูมิที่ไช้เผา ของเม็คดิน ปทุมธานีผสมทราย	70
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และอุณหภูมิที่ไช้เผาของเม็คดินราชบุรี ผสมทราย.	70
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และอุณหภูมิที่ไช้เผาของหินปูนสีคำ . .	71
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และอุณหภูมิที่ไช้เผาของหินปูนสีเทา. .	71
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSV และอุณหภูมิที่ไช้เผาของหินปูนสีขาว. .	72

ศัพท์เปรียบเทียบ ความหมาย และอักษรย่อ

มวลรวม (Aggregate) วัสดุที่เป็นก้อนหรือเม็ด ที่ใช้ในงานทางหรืองานก่อสร้างทั่วไป
 มวลรวมธรรมชาติ (Natural aggregate) มวลรวมที่ได้จากวัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติ
 มวลรวมประดิษฐ์ (Artificial aggregate) มวลรวมที่ได้จากการประดิษฐ์ คัด
 แผลง ปรับปรุง หรือของเหลือจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ที่นำมาใช้แทน
 มวลรวมธรรมชาติ

ความลึกผิว (Texture depth) ค่าความลึกเฉลี่ยซึ่งอยู่ที่ระนาบซึ่งผ่านจุดยอดของ
 มวลรวมบนผิวทาง

ผิวมหภาค (Macro texture) ลักษณะความขรุขระ ของผิวทางซึ่งเกิดจากความสูงต่ำ
 ระหว่างก้อนของมวลรวม

ผิวจุลภาค (Micro texture) ลักษณะความหยาบของผิวมวลรวมที่เกิดจาก grain
 เล็กๆบนผิวแต่ละก้อนของมวลรวม

ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) คุณสมบัติของวัสดุที่ยึดหยุ่นในการคุกคืบหลังจากที่เกิดจาก
 การกระแทก

ความต้านทานการลื่นไถล (Skid resistance) ความเสียดทานระหว่างยางและผิว
 ทางขณะขับขี่ยาน

ค่าความต้านทานการลื่นไถล หรือ SRV (Skid Resistance Value) ค่าความ
 เสียดทานสูงสุดที่เกิดระหว่างยางกับผิวทางขณะยานครึ่งล้อ

ค่า PSV (Polished Stone Value) ค่าแรงเสียดทานของมวลรวมที่หล่อเป็นแผ่น
 หลังจากขัดด้วยเครื่องขัด คำนวณโดยใช้เครื่องวัดความต้านทานการลื่นไถล
 แบบ British Portable Tester

ค่า SFC (Side Force Coefficient) ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่ได้จากการวัด
 ด้วยเครื่องวัดความต้านทานการลื่นไถลแบบ Side Force Friction Tester

ค่าความสึกหรอของมวลรวม หรือ AAV (Aggregate Abrasion Value) ค่าความ
 สึกหรอของมวลรวมหลังจากทดสอบความสึกหรอ (ในที่นี้ทดสอบด้วยเครื่อง

Los Angeles Abrasion Machine) เทียบกับมวลรวมเดิม

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ หรือ G_a (Apparent Specific Gravity) อัตราส่วน
 ระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรส่วนที่เป็นของแข็งรวมทั้งรูพรุนปิด (Close pore)
 ของมวลรวม

ความถ่วงจำเพาะรวม หรือ G_b (Bulk Specific Gravity) อัตราส่วนระหว่าง
 น้ำหนักต่อปริมาตรรวมของมวลรวม

ความถ่วงจำเพาะจริง หรือ G_t (True Specific Gravity) อัตราส่วนระหว่าง
 น้ำหนักต่อปริมาตรส่วนที่เป็นของแข็งของมวลรวม