วิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีตเก่านำมาใช้งานใหม่ในประเทศไทย

นายสมเกียรติ เตรียมแจ้งอรุณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-812-9

009859

17613061

The Methodology of Recycling Asphaltic Concrete Pavement Materials in Thailand

Mr. Somkiat Triamjangarun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีตเก่า นำมาใช้งานใหม่ในประเทศไทย
โดย	นายสมเกียรติ เครียบแจ้งอรุณ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศุกรี กัมปนานนท์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ครรชิต ผิวนวล)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ วิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีตเก่านำมาใช้งานใหม่ในประเทศไทย

ชื่อนิสิต นายสมเกียรติ เตรียมแจ้งอรุณ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2527

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อที่จะเสนอและศึกษาวิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรแอสฟัลติกคอนกรีตเก่า นำมาใช้งานใหม่เป็นวิธีการซ่อมแซมถนนวิธีใหม่ เนื่องจากวิธีการนี้ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่าย ค่าวัสดุและสามารถปรับระดับของผิวจราจรให้มีสภาพทางเรขาคณิต (Geometric) ของถนนที่เหมาะสม

เทคนิคของวิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจร สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ (1) การปรับสภาพเฉพาะผิวบน (Surface recycling) เป็นการซ่อมแซมเฉพาะผิวบนที่มีความลึกไม่มากกว่า 1 นิ้ว (2) การปรับสภาพในสนาม (In-place recycling) เป็นการซ่อมแซมผิวจราจรที่มีความลึกมากกว่า 1 นิ้ว ในสนาม (3) การปรับสภาพในโรงงาน (Central-plant recycling) เป็นการซ่อมแซมโดยการขุดลอกวัสดุเก่านำไปปรับสภาพในโรงงาน แล้วจึงนำกลับมาปูบนผิวจราจรอีกครั้ง การเลือกใช้วิธีการใดขึ้นอยู่กับลักษณะความเสียหายของผิวจราจร การมีวัสดุ เครื่องมือและโรงงานผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ใกล้สถานที่ก่อสร้าง

วัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต ที่มีอายุการใช้งานมาแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ โดยที่ขนาดของวัสดุมวลรวม (Aggregate) จะเล็กลงเนื่องจากการรับน้ำหนักจราจรและการบดอัดในการก่อสร้าง แอสฟัลท์จะเกิดการแข็งตัวที่เรียกว่า "Hardening" ในการปรับสภาพจะปรับขนาดของวัสดุมวลรวมโดยการเพิ่มวัสดุมวลรวมใหม่ และจะนำแอสฟัลท์ไปผสมกับแอสฟัลท์ชนิดที่มีเกรดอ่อนหรือสารปรับสภาพ (Modifier) ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

ที่มีลักษณะทางกายภาพที่คัดเลือกเพื่อทำให้แอสฟัลท์เก่ามีคุณสมบัติเปลี่ยนกลับเหมือนเช่นข้อกำหนดของแอสฟัลท์ ในขบวนการของการปรับสภาพ สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของการผสมได้เป็น 2 ลักษณะคือ (1) การปรับสภาพโดยวิธีการผสมร้อน (Hot-mix recycling) เป็นวิธีที่ใช้ความร้อนในการผสม (2) การปรับสภาพโดยวิธีการผสมเย็น (Cold-mix recycling) เป็นวิธีที่ไม่ใช้ความร้อนในการผสม โดยการใช้แอสฟัลท์เหลว (Liquid asphalt) ปูนขาว (Lime) หรือ ซีเมนต์ (Cement) เป็นตัวประสานใหม่

ในการวิจัยนี้เลือกใช้ข้อกำหนดวัสดุของกรมทางหลวงในการพิจารณา และทดสอบตัวอย่างวัสดุแอสฟัลติก คอนกรีตที่ได้จากบริเวณสี่แยกศาลาแดง ถนนพระรามที่ 4 มีอายุการใช้งานประมาณ 7 ปี นำมาแยกแอสฟัลท์และวัสดุมวลรวมออกจากกัน ทำการทดสอบขนาดของวัสดุมวลรวมและทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ได้ค่าพีนีเตรชั่น (Penetration) และค่าการดึงเป็นเส้น (Ductility) ต่ำกว่าข้อกำหนดและมีจุดอ่อนตัว (Softening point) ที่อุณหภูมิสูง

เนื่องจากในประเทศไทยไม่เคยนำวิธีการนี้มาใช้ จึงไม่มีแอสฟัลท์ที่มีเกรดอ่อน และสารปรับสภาพจำหน่ายภายในประเทศ ในการวิจัยนี้เลือกใช้น้ำมันเตาแทนเป็นสารปรับสภาพ จากการทดสอบหาปริมาณการผสมระหว่างแอสฟัลท์และน้ำมันเตา ได้ปริมาณที่เหมาะสมของแอสฟัลท์เก่าและน้ำมันเตาเท่ากับ 82:18 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้ค่าพีนีเตรชั่น(Penetration) อยู่ในข้อกำหนด และทำการทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ ของส่วนผสมนี้ พบว่ามีคุณสมบัติอยู่ในข้อกำหนดทุกประการ และมีจุดอ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำลง แสดงว่าน้ำมันเตาสามารถนำมาใช้เป็นสารปรับสภาพแอสฟัลท์เก่าได้

เมื่อทำการทดสอบหาปริมาณแอสฟัลท์ในส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตเก่า ได้ปริมาณแอสฟัลท์เฉลี่ย 5.2 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม ทำการผสมใหม่และทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์ พบว่าสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้ เมื่อนำวัสดุแอสฟัลติก คอนกรีตเก่ามาเพิ่มวัสดุมวลรวมใหม่และน้ำมันเตา ทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์ พบว่าปริมาณของแอสฟัลท์ที่เหมาะสมเท่ากับ 4.83 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมและสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นผิวทางได้ เนื่องจากได้คุณสมบัติตามข้อกำหนดทุกประการ จากผลของการศึกษานี้ วิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรเก่า สามารถนำมาใช้เป็นวิธีการซ่อมแซมถนนในประเทศไทยได้

Thesis Title	The Methodology of Recycling Asphaltic Concrete Pavement Materials in Thailand
Name	Mr. Somkiat Triamjangarun
Thesis Advisor	Associate Professor Direk Lavansiri, Ph.D.
Department	Civil Engineering
Academic Year	1984

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study how recycling asphaltic concrete materials can be used in road maintenance, since it would save construction costs, materials, and can be easily worked in providing suitable geometric design of the road.

Techniques in recycling pavement material may be divided into 3 categories. (1) Surface recycling - Reworking of the surface of a pavement to a depth of less than 1 inch. (2) In-place recycling - In-place reclaiming of a pavement to a depth of greater than 1 inch. (3) Central-plant recycling - Scarification of the pavement material, removal of the pavement, processing of the pavement material in the plant and laydown to the roadway again. The technical selection is based on the characteristics of pavement distress, materials and equipment availability, and asphaltic concrete plant near the construction site.

Asphaltic concrete material which has been used for a period of time will change in its properties by degradation of aggregate owing to traffic loading and compaction during the construction, asphalt will harden and is called "hardening".

In the recycling process, the aggregate gradation will be adjusted by adding new aggregate; and asphalt will be mixed with softer asphalt or hydrocarbon modifier of which physical characteristics are selected to restore aged asphalt to the requirements of current asphalt specifications. Recycling process can be divided according to the characteristics of mixing into 2 types. (1) Hot-mix recycling - Process which require additional heat. (2) Cold-mix recycling - Process which require no additional heat and use liquid asphalt, lime, or cement as a binder.

In this study, the Department of Highways' specification for materials was used in experimental consideration. The sample of old asphaltic concrete mixture was obtained from Saladang square, Rama 4 road, Bangkok, which had been used as a surface course for about 7 years. Asphalt and aggregate were separated. Aggregate gradation was determined and asphalt properties were tested. According to the experiment, penetration and ductility values of the old asphalt were lower than the specifications and softening point was at a high temperature.

Due to the fact that this method has never been used in Thailand, soft asphalt and modifiers are not available in the country. Fuel oil or bunker oil was, therefore, selected as a modifier. According to the experiment, the quantitative blending between old asphalt and fuel oil was in the proportion of 82 : 18 i.e., the penetration value of the blending met the specifications. The blending was also tested to determine other properties and it was found that all those properties met the asphalt specifications and softening point was at a lower temperature. Thus the fuel oil can be used to reclaim old asphalt.

By the experiment, asphalt content in the old asphaltic concrete was 5.2 percent by weight of aggregate. Remixing and testing the old asphaltic concrete by Marshall test, it was clear that the mixture can be used as a base course material. When new aggregate and fuel oil were added in the old asphaltic concrete mixture and were remixed and tested by Marshall test, the optimize asphalt content was found to be 4.83 percent by weight of aggregate and the mixture can be used as a surface course material for it met all specifications. By these results, the method of recycling old pavement material can be a roadway maintenance method in Thailand.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้จะสำเร็จลงไม่ได้ ถ้าขาดการสนับสนุน การให้ความรู้และข้อเสนอแนะจากอาจารย์และบุคคลอื่น ๆ ผู้เขียนขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความสนใจและให้การเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ศุกรี กัมปนานนท์ รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา และรองศาสตราจารย์ ครรชิต ผิวนวล คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ ข้อเสนอแนะในการวิจัยและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัท เชลล์แห่งประเทศไทย จำกัด และบริษัทผลิตภัณฑ์ยางมะตอย จำกัด ที่ได้มอบวัสดุน้ำมันเตาและแอสฟัลท์ ที่ใช้ในการทดสอบและเอกสารที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณ บริษัท เอสโซ่แสตนดาร์ดประเทศไทย จำกัด ที่ได้ให้ทุนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์และบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ช่วยเหลือในการติดต่อขอทุนวิจัยและข้อมูลจากบริษัทและหน่วยงานต่าง ๆ

ผู้เขียนระลึกถึงพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้ให้กำลังใจและทุนในการศึกษาจนถึงบัดนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 5

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 6

1.6 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 7

2. เทคนิคในการปรับปรุงซ่อมแซมผิวจราจร 9

2.1 แนวทางในการเลือกวิธีการซ่อมแซม 9

2.2 การเลือกวิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรเก่านำมาใช้งานใหม่เป็นวิธีซ่อมแซม 9

2.3 เทคนิคของวิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรเก่า 12

2.4 การเลือกใช้วิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรเก่าที่เหมาะสม ... 47

3. เทคนิคในการปรับสภาพวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต 55

3.1 ลักษณะของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต 55

3.2 การปรับสภาพโดยวิธีการผสมร้อน (Hot-mix Recycling) .. 59

3.3 การปรับสภาพโดยวิธีการผสมเย็น (Cold-mix Recycling) .. 67

3.4 สารปรับสภาพแอสฟัลท์ (Recycling Modifiers) 71

3.5 การศึกษาพลังงานและค่าใช้จ่าย 83

3.6 การศึกษาผลงานที่ผ่านมา 89

หน้า

บทที่

4. การวิจัยในประเทศไทย 91
4.1 ขบวนการในการผลิตแอสฟัลท์ 91
4.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 93
5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 135
5.1 สรุปเทคนิคและวิธีการ 135
5.2 สรุปผลการวิจัย 136
5.3 ข้อเสนอแนะ 139
เอกสารอ้างอิง 140
ภาคผนวก 145
ภาคผนวก ก. ข้อกำหนดวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต 147
ภาคผนวก ข. การทดสอบแอสฟัลท์ 155
ภาคผนวก ค. การทดสอบวัสดุมวลรวม (Aggregate) 177
ภาคผนวก ง. การทดสอบแอสฟัลติกคอนกรีต 206
ประวัติผู้เขียน 222

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	การเลือกใช้เทคนิคในการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรแอสฟัลท์ติคคอนกรีต	16
2-2	ข้อดีและข้อเสียของวิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรในแต่ละวิธีการ ..	46
2-3	ลักษณะต่าง ๆ ของผิวจราจรที่ทำการศึกษา	48
2-4	การเลือกเทคนิควิธีการปรับสภาพบนพื้นฐานของลักษณะของผิวทาง ..	51
2-5	การเลือกเทคนิควิธีการปรับสภาพผิวจราจรบนพื้นฐานของลักษณะของโครงสร้าง	52
2-6	การเลือกเทคนิควิธีการปรับสภาพเฉพาะผิวบนบนพื้นฐานของความราบเรียบของผิวจราจร	54
3-1	ลักษณะโดยทั่วไปในแต่ละส่วนของส่วนประกอบทั้ง 4 ตามลักษณะการไหล	56
3-2	สูตรการหาปริมาณวัสดุผสมต่าง ๆ สำหรับการออกแบบวิธีปรับสภาพโดยการผสมร้อน	63
3-3	สูตรสำหรับการหาปริมาณแอสฟัลท์ใหม่ต่อแอสฟัลท์ผสมทั้งหมด ...	64
3-4	การหาปริมาณของส่วนผสมใน Method A	65
3-5	การหาเกรดความหนืดของแอสฟัลท์ใหม่ใน Method A	65
3-6	การหาปริมาณของแอสฟัลท์ใหม่ใน Method B	66
3-7	การหาปริมาณของวัสดุผสมต่าง ๆ ใน Method B	66
3-8	ส่วนหนึ่งของสารปรับสภาพต่าง ๆ ของบริษัทผู้ผลิตน้ำมัน	72
3-9	การทดสอบคุณสมบัติของสารปรับสภาพ	74
3-10	การแบ่งเกรดของสารปรับสภาพโดยช่วงของความหนืด	75
3-11	ค่าต่ำสุดของจุดวาบไฟของสารปรับสภาพ	75
3-12	ค่าสูงสุดของ RTF-C Oven Weight Changes ของสารปรับสภาพ .	76
3-13	ข้อกำหนดของสารปรับสภาพที่มีจุดวาบไฟสูง	77
3-14	ข้อกำหนดของสารปรับสภาพที่ใช้สำหรับการผสมร้อน	78
3-15	ข้อกำหนดสำหรับสารปรับสภาพเสนอโดย Witco Chemical ..	78
3-16	ข้อกำหนดของ Emulsified Modifiers	79

ตารางที่ หน้า

3-17 ลักษณะพื้นฐานของส่วนประกอบทางเคมีของแอสฟัลท์ 81

4-18 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างวิธีการปรับสภาพและวิธีการใช้วัสดุใหม่ของถนนในเมือง 87

3-19 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างวิธีการปรับสภาพและวิธีการใช้วัสดุใหม่ของถนนในชนบท 88

3-20 ค่า AASHTO Structural Coefficient ของวัสดุที่ทำการปรับสภาพ 89

4-1 ข้อมูลในการทดสอบวิธีการแยกวัสดุจากส่วนผสมแอสฟัลท์ติคคอนกรีต .. 97

4-2 การทดสอบหาขนาด (Gradation) ของวัสดุมวลรวมเก่า ... 98

4-3 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบในวัสดุมวลรวมเก่า 99

4-4 การปรับปริมาตรของ Pycnometer ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมชนิดเม็ดละเอียด 99

4-5 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียดในวัสดุมวลรวมเก่า 101

4-6 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ในวัสดุมวลรวมเก่า 102

4-7 การทดสอบการดูดซึมแอสฟัลท์ของวัสดุมวลรวมเก่า 103

4-8 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์เก่า 105

4-9 คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเตา 106

4-10 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเตา 107

4-11 การทดสอบหาค่า Penetration ที่ปริมาณการผสมของแอสฟัลท์และน้ำมันเตาต่าง ๆ กัน 108

4-12 การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแอสฟัลท์และน้ำมันเตาที่ปริมาณต่าง ๆ 108

4-13 การทดสอบหาการละลายใน CCl_4 ของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว ..112

4-14 การทดสอบการสูญเสียเมื่อให้ความร้อน (Loss on heating) ของแอสฟัลท์ที่ปรับสภาพแล้ว 113

ตารางที่ หน้า

4-15 ขนาด (Gradation) ของวัสดุมวลรวมใหม่ 114
4-16 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบในวัสดุมวลรวมใหม่ 115
4-17 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียดของวัสดุมวลรวมใหม่ 116
4-18 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ในวัสดุมวลรวมใหม่ 117
4-19 การทดสอบการดูดซึมแอสฟัลท์ของวัสดุมวลรวมใหม่ 118
4-20 การทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุมวลรวมใหม่ 119
4-21 การทดสอบหา Soundness ของวัสดุมวลรวมใหม่ 120
4-22 การทดสอบหาค่าดรรชนีความแบนและดรรชนีความยาวของวัสดุมวลรวมใหม่ 121
4-23 การหาปริมาณของส่วนผสมในการเตรียมตัวอย่างแอสฟัลท์ติคคอนกรีตในการทดสอบมาร์แชลล์ 123
4-24 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 4.0 % โดยวิธีมาร์แชลล์ 125
4-25 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 4.5 % โดยวิธีมาร์แชลล์ 126
4-26 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 5.0 % โดยวิธีมาร์แชลล์ 127
4-27 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 5.5 % โดยวิธีมาร์แชลล์ 128
4-28 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณแอสฟัลท์ 6.0 % โดยวิธีมาร์แชลล์ 129
4-29 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติคคอนกรีตเก่าโดยวิธีมาร์แชลล์ 133
4-30 เปรียบเทียบผลการทดสอบมาร์แชลล์ของแอสฟัลท์ติคคอนกรีต ... 134

ตารางที่ หน้า

5-1 ผลการทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลท์เก่าและส่วนผสมของแอสฟัลท์เก่ากับน้ำมันเตา 136

5-2 คุณสมบัติวัสดุมวลรวมใหม่ที่ใช้ปรับสภาพแอสฟัลท์ติคคอนกรีต ... 137

5-3 ผลการทดสอบแอสฟัลท์ติคคอนกรีตเก่าและแอสฟัลท์ติคคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้วโดยวิธีการทดสอบมาร์แชลล์ 138

ผ-1 ขนาดผ่านตะแกรงต่าง ๆ ของ Mineral Filler ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง 148

ผ-2 ตารางแสดงขนาดของวัสดุ Aggregates และปริมาณ A.C. ที่ผสมตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง 149

ผ-3 ขนาดของวัสดุ Aggregate ต่าง ๆ ที่นำมาคละกันตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง 149

ผ-4 มาตรฐานของแอสฟัลท์ซีเมนต์ตามข้อกำหนดกรมทางหลวง 150

ผ-5 ข้อกำหนดในการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลล์ของกรมทางหลวง ... 151

ผ-6 เปอร์เซนต์ของช่องว่างต่ำสุดในวัสดุมวลรวม 151

ผ-7 ขนาดของส่วนผสมอย่างละเอียดตามข้อกำหนดกรุงเทพมหานคร .. 153

ผ-8 ขนาดของส่วนผสมอย่างหยาบตามข้อกำหนดกรุงเทพมหานคร ... 153

ผ-9 ค่าแตกต่างในการยอมรับผลการทดลองหาค่า Penetration ... 158

ผ-10 ผลการทดสอบ Loss on heating ที่ต่างกัน 176

ผ-11 น้ำหนักตัวอย่างในการหาขนาดจากขนาดที่ใหญ่ที่สุดของวัสดุ ... 179

ผ-12 ขนาดของตัวอย่างในการหาความถ่วงจำเพาะสูงสุดทางทฤษฎีของแอสฟัลท์ติคคอนกรีต 189

ผ-13 จำนวนและน้ำหนักลูกเหล็กกลมในการทดสอบความสึกหรอ ... 191

ผ-14 การแบ่งเกรดของตัวอย่างในการทดสอบความสึกหรอ ... 191

ผ-15 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ใน Soundness Test 200

ผ-16 ตะแกรงที่ใช้ทดสอบการสึกกร่อนใน Soundness Test ... 201

ผ-17 Stability Correlation Ratios 220

สารบัญภาพ

รูปภาพที่		หน้า
2-1	แนวทางในการเลือกใช้วิธีปรับปรุงซ่อมแซมผิวจราจร	10
2-2	การเลือกใช้วิธีการปรับสภาพวัสดุเก่านำมาใช้งานใหม่เป็นวิธีการซ่อมแซม	11
2-3	ขั้นตอนในการเลือกใช้วิธีการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรเก่าเป็นวิธีการปรับปรุงซ่อมแซม	13
2-4	วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการปรับสภาพเฉพาะผิวบน	17
2-5	เครื่องมือและเครื่องจักรกลในการใช้ Heater planer	19
2-6	เครื่องมือและเครื่องจักรกลในการใช้ Heater scarifier ..	21
2-7	แผนภูมิของวิธีการที่ใช้ในการ Heater planer และ Heater scarifier	23
2-8	เครื่องมือที่ใช้ใน Hot milling	24
2-9	ภาพแสดงถึงเครื่องมือที่ใช้ใน Cold milling	26
2-10	แนวทางในการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรในสนาม	30
2-11	ชนิดของการปรับสภาพในสนามที่ไม่ใช้สารเพิ่มเสถียรภาพวัสดุ เพิ่มลงในวัสดุ	31
2-12	ชนิดของการปรับสภาพในสนามที่ใช้สารเพิ่มเสถียรภาพวัสดุ เพิ่มลงในวัสดุ	32
2-13	เครื่องมือที่ใช้ในการปรับสภาพวัสดุผิวจราจรในสนาม	33
2-14	การปรับสภาพผิวจราจรแอสฟัลท์ติคคอนกรีตภายในโรงงาน	37
2-15	โรงงานมาตรฐานของถังกลมผสม	37
2-16	ถังกลมผสมซึ่งมีแผงกระจายความร้อน	38
2-17	ถังกลมใบเล็กในถังกลมผสม	38
2-18	ถังกลมผสมที่แยกทางป้อนวัสดุต่าง ๆ กัน	39
2-19	ถังกลมผสมพิเศษที่มีท่อแลกเปลี่ยนถ่ายเทความร้อน	39
2-20	โรงงานมาตรฐานที่ผสมวัสดุเก่าและวัสดุมวลรวมร้อนที่ Pug mill ..	40

รูปภาพที่ หน้า

2-21 โรงงานมาตรฐานที่ผสมวัสดุเก่าและวัสดุมวลรวมร้อนที่ Drier discharge 41

2-22 ถังกลม 2 ใบวางต่อกัน ใบแรกสำหรับให้ความร้อนวัสดุมวลรวม อีกใบสำหรับให้ความร้อนวัสดุเก่าและผสมกันใน Pug mill ... 41

2-23 วิธีการปรับสภาพในโรงงานโดยปราศจากการใช้ความร้อน ... 42

2-24 เครื่องมือชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับสภาพภายในโรงงาน ... 43

2-25 การใช้วิธีการปรับสภาพให้เหมาะสมกับความต้องการในการปรับปรุงโครงสร้างผิวจราจร 53

3-1 แผนภาพแสดงวิธีการแยกส่วนประกอบโดย Clay Gel Analysis 57

3-2 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบระหว่างการเกิดการแข็งตัวของแอสฟัลท์เป็นค่าเฉลี่ยจากแหล่งน้ำมัน 6 แหล่ง ทดสอบโดย The Michigan Test Road 57

3-3 ผลจากการแข็งตัวของแอสฟัลท์ต่อการเปลี่ยนแปลงความข้นเหลว .. 58

3-4 เทคนิควิธีการของการปรับสภาพวัสดุแบ่งตามขบวนการผสม ... 60

3-5 ความสัมพันธ์ของค่าพีนีเตรชั่น ของแอสฟัลท์ใหม่ เก่าและแอสฟัลท์ผสม 64

3-6 ความสัมพันธ์ของค่าความหนืดของแอสฟัลท์ใหม่ เก่าและแอสฟัลท์ผสม . 64

3-7 แผนภาพแสดงวิธี Rostler Analysis 80

3-8 ภาพถ่ายแสดงส่วนประกอบเคมีทั้ง 5 ของแอสฟัลท์ 80

3-9 แผนภาพการผสมสารปรับสภาพและแอสฟัลท์เก่าของ West Coast User Producer Group 84

3-10 แผนภาพการผสมแอสฟัลท์เก่าและสารปรับสภาพของ Michigan Dept. of Transport 85

4-1 แผนภาพขบวนการกลั่นน้ำมันดิบและการผลิตแอสฟัลท์ 92

4-2 วิธีการและขั้นตอนในการใช้น้ำมันเตาผสมเพื่อปรับสภาพแอสฟัลท์ติดคอนกรีตเก่า 93

4-3 การปรับน้ำหนักขวด Pycnometer ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียด 100

รูปภาพที่ หน้า

4-4 การหาปริมาณการผสมระหว่างแอสฟัลท์เก่าและน้ำมันเตา 110

4-5 กราฟความสัมพันธ์จากผลการทดสอบแอสฟัลท์ติดคอนกรีตที่ปรับสภาพแล้ว โดยวิธีมาร์แชลล์ 130

ผ-1 เข็มมาตรฐานใช้ในการทดสอบหาค่า Penetration 156

ผ-2 แบบมาตรฐานในการทดสอบ Ductility 160

ผ-3 เครื่องมือทดสอบจุดอ่อนตัว โดยวิธี Ring-and-Ball 164

ผ-4 ถ้วยทดลอง Cleveland Open Cup 166

ผ-5 ที่รองรับถ้วยทดลอง 167

ผ-6 เครื่องมือ Cleveland Open Cup 168

ผ-7 Pycnometer และฝาปิด 169

ผ-8 เครื่องมือที่ใช้ในการกรองสารละลายของวัสดุบิทูเมน 173

ผ-9 ชั้นวางตัวอย่างของการทดสอบ Loss on heating 176

ผ-10 เครื่องมือลอสแองเจลิสในการทดสอบความสึกหรอ 192

ผ-11 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาค่า Sand Equivalent 195

ผ-12 การเขย่าด้วยเครื่องที่ใช้แรงมือในการเขย่า 196

ผ-13 ช่องวัดความหนาในการหาค่าดรรชนีความแบน 203

ผ-14 ช่องวัดความยาวในการหาดรรชนีความยาว 205

ผ-15 Extraction Apparatus 207

ผ-16 เครื่องมือสำหรับแยกบิทูเมนออกจากสารละลาย 211

ผ-17 แท่นรองแบบสำหรับบดทับและค้อนใช้ในการเตรียมตัวอย่างมาร์แชลล์ .. 221

ผ-18 เครื่องทดสอบมาร์แชลล์ 221