คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ

นางสาวเสาวรส หะสิตะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETES USING LIMESTONE, GRANITE AND STEEL SLAG AS AGGREGATES

Saowarot Hasita

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2015

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
ประธานกรรมการ

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เสาวรส หะสิตะ : คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ (ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETES USING LIMESTONE, GRANITE AND STEEL SLAG AS AGGREGATES) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข, 79 หน้า

วัสดุมวลรวมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศไทยคือหินปูน แหล่งหินปูนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีน้อยและมีแนวโน้มลดลงและไม่เพียงพอต่อโครงการก่อสร้างถนน การประยุกต์ใช้ตะกรันเหล็กซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม เป็นวัสดุแทนที่หินปูนสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวอีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการกำจัดตะกรันเหล็ก ในสภาวะปัจจุบันปริมาณจราจรและน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนทำให้ในถนนหลักหลายสายรับน้ำหนักกระทำซ้ำจากปริมาณจราจรเกินกว่าน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบ และส่งผลให้เกิดปัญหาร่องล้อและการเสียรูปอย่างถาวรทั้ง Wearing course และ Binder course ชั้นผิวทาง Wearing course เป็นผิวทางชั้นบนสุด ทำหน้าที่รับแรงกดจากแรงของน้ำหนักบรรทุก และ Binder course เป็นชั้นที่อยู่ถัดลงมาทำหน้าที่รับแรงดึง จากน้ำหนักบรรทุก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้การแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กแต่ละขนาดของหินในการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรมของหินปูน หินแกรนิต ตะกรันเหล็ก เหมาะสำหรับผิวทางชั้น Wearing course หรือ Binder course และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมของหินปูน และตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบในสัดส่วนต่างๆ กับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้เฉพาะหินปูนและหินแกรนิตเป็นมวลรวมหยาบ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีสองชนิด ได้แก่ AC60/70 และโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (PMA) การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตใช้วิธีของมาร์แชล คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ศึกษาประกอบด้วยเสถียรภาพ การไหล และกำลังรับแรงดึงทางอ้อม ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตเป็นมวลรวมหยาบมีเสถียรภาพสูงกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมหยาบ และมีเสถียรภาพต่ำที่สุด การแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเสถียรภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการแทนที่ของตะกรันเหล็กที่มากขึ้น แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้สัดส่วนผสมของหินปูนและตะกรันเหล็กของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 มีค่าเสถียรภาพสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้สัดส่วนผสมของแกรนิตของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 และ PMA การแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กไม่มีผลต่อการไหลและดัชนีกำลัง อย่างไรก็ตาม การแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กส่งผลให้กำลังรับแรงดึงทางอ้อมลดลงทุกอุณหภูมิทดสอบ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนพบว่าการแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กมีความ

คุ้มค่าเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้แอสฟัลต์คอนกรีตเป็น Wearing course (รับแรงอัด) แต่ไม่มีความคุ้มค่าหากใช้เป็น Binder course (รับแรงดึง) การประยุกต์ใช้ตะกรันเหล็กเป็นวัสดุทดแทนหินปูนเพื่อทำผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแบบยั่งยืนมีประโยชน์อย่างมากในด้านวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

SAOWAROT HASITA : ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETES USING LIMESTONE, GRANITE AND STEEL SLAG AS AGGREGATES. THESIS ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., 79 PP.

RUTTING/ASPHALT CONCRETE/LIMESTONE/GRANITE/STEEL SLAG

Limestone is generally used as aggregates in asphalt concrete in Thailand. Limestone in northeast Thailand is becoming increasingly scarce to source for road infrastructure projects. The reuse and recycling of industry by-products such as steel slag as a replacing material in limestone can reduce this problem and also reduce the disposal of steel slag. Presently, traffic volume significantly increases and causes the cyclic load on the pavement over the design load; hence, the existence of rutting and permanent deformation both wearing course and binder course. wearing course is top layer of pavement perform compression, binder course is next layer perform tensile. This research attempts to investigate the visibility of replacing limestone with steel slag in the engineering property improvement of asphalt concrete. The engineering properties of asphalt concrete at various steel slag replacement ratios are compared with those of limestone asphalt concrete and granite asphalt concrete. AC60/70 and Polymer modified asphalt (PMA) were used as binders and the mix design was based on Marshal's method. The studied engineering properties include stability, flow and indirect tension. Laboratory test results show that the granite asphalt concrete exhibits the highest stability while the limestone asphalt concrete exhibits the lowest stability. The slag replacement improves the stability of limestone asphalt concrete; i.e., the

stability increases with increasing slag replacement ratio. The limestone-steel slag asphalt concrete using AC 60/70 as binder exhibits higher stability than the granite asphalt concretes using AC 60/70 and PMA as binders. The slag replacement does not affect the flow and strength index; all samples have essentially the same strength index. However, the steel replacement results in the reduction in indirect tension at various temperatures tested. A cost analysis reveals that the steel replacement is economical when asphalt concrete is used as compression wearing course whereas it is not economical when asphalt concrete is used as tensile binder course. The reuse of steel slag as the replacement material to develop sustainable asphalt concrete pavement is useful in term of engineering, economical and environmental perspectives.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Civil Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2015 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การ อบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และ ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ ประธานกรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร กรรมการที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณบริษัท ถนอมวงศ์บริการ จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณบริษัท ไทยสเลอรี่ซิล จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการใช้วัสดุ ในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ประโยชน์อันเนื่องวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

เสาวรส หะสิตะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 แนวคิดทฤษฎี 6

2.2 ตะกรันเหล็ก 6

2.2.1 เทคโนโลยีการรีไซเคิลตะกรันเหล็กที่เกิดในเตาอาร์คไฟฟ้า 7

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตะกรันเหล็ก 8

2.2.3 การคัดขนาดและการบดย่อย 9

2.2.4 การบ่ม 9

2.2.5 การนำตะกรันเหล็กไปใช้งาน 10

2.3 แอสฟัลต์คอนกรีต 13

2.3.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต 14

2.3.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต 16

2.3.3 คุณสมบัติที่ดีของแอสฟัลต์คอนกรีต 18

2.4 Indirect Tensile Strength Test 19

2.5 ร่องล้อ 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 การปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 29
2.6.1 การศึกษาปรับปรุงสมรรถนะของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยการเปลี่ยนชนิดยาง 31
2.6.2 การเติมวัสดุผสมแทรก 34
3 วิธีดำเนินการศึกษา 39
3.1 การเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปออกแบบส่วนผสม 39
3.2 การทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต 42
3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต 48
3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต 49
3.4.1 การทดสอบหาค่าดัชนีความแข็งแรง 49
3.4.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม 50
4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล 52
4.1 บทนำ 52
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม 52
4.3 ผลการออกแบบส่วนผสม 57
4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม 61
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุน 68
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 74
5.1 สรุปผลการศึกษา 74
5.2 ข้อเสนอแนะ 75
รายการอ้างอิง 77
ประวัติผู้เขียน 79

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ขนาดคละมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ 3
1.2 แสดงส่วนผสมมวลรวมชนิดต่างๆ 4
2.1 ส่วนผสมทางเคมีของตะกรันในกระบวนการหลอมเหล็กกล้า 7
2.2 องค์ประกอบทางแร่ของตะกรัน 8
3.1 ขนาดคละมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ 40
3.2 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก 41
3.3 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต 48
4.1 แสดงคุณสมบัติของหินปูน หินแกรนิต ตะกรันเหล็ก ที่ใช้ทดสอบ 52
4.2 แสดงชนิดวัสดุมวลรวมชนิดแอสฟัลต์ และ Mix Proportion ต่างๆ ที่ใช้ทดสอบ 58
4.3 ต้นทุนของแอสฟัลต์คอนกรีต 69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 กราฟขนาดคละมวลรวม ชั้นรองผิวทาง 4
2.1 การบ่มตะกรันเหล็ก 10
2.2 ส่วนประกอบทั่วไปของแอสฟัลต์คอนกรีต 13
2.3 การให้น้ำหนักกระทำก้อนตัวอย่างและลักษณะการแตกร้าวของก้อนตัวอย่าง 20
2.4 การกระจายตัวของความเค้นดึงและความเค้นอัดในการทดสอบแรงดึงทางอ้อม 21
2.5 รูปแบบการเกิดร่องล้อ (White และคณะ, 2002) 23
2.6 แสดงพฤติกรรมการเฉือนของมวลรวม 24
2.7 แสดงการยึดเหนี่ยวกันของอนุภาคมวลรวม 25
2.8 ร่องล้อที่เกิดจากชั้นดินเดิมหรือชั้นพื้นทางอ่อนแอ 26
2.9 รอยร่องล้อที่เกิดจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตอ่อนแอ 27
3.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม 51
4.1 ค่า Los Angeles abrasion value, LAA ของหินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็ก ในการทดสอบ 53
4.2 ผลทดสอบ Soundness ของหินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็ก 54
4.3 Aggregate impact value, AIV (%) ของหินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็กในการทดสอบ 55
4.4 Aggregate crushing value, ACV (%) ของหินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็ก ในการทดสอบ 56
4.5 Polished stone value, PSV ของหินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็ก ในการทดสอบ 56
4.6 การกระจายขนาดคละของมวลรวม ใน Mix Proportion ที่ 1, 6 59
4.7 การกระจายขนาดคละของมวลรวม ใน Mix Proportion ที่ 2, 7 59
4.8 การกระจายขนาดคละของมวลรวม ใน Mix Proportion ที่ 3, 8 60
4.9 การกระจายขนาดคละของมวลรวม ใน Mix Proportion ที่ 4, 9 60
4.10 การกระจายขนาดคละของมวลรวม ใน Mix Proportion ที่ 5, 10 61
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพ (Stability) กับสัดส่วนผสม 62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.12 ผลการทดสอบหาค่าการไหล (Flow) 63
4.13 ดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต 64
4.14 กำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 64
4.15 กำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 65
4.16 กำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 66
4.17 กำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส 67
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของแอสฟัลต์คอนกรีตและสัดส่วนผสม 69
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเสถียรภาพต่อต้นทุนและสัดส่วนผสม 70
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่อต้นทุนแล สัดส่วนผสม 70
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ต่อต้นทุนและ สัดส่วนผสม 71
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อต้นทุนและ สัดส่วนผสม 72
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ต่อต้นทุนและ สัดส่วนผสม 72

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะปัจจุบัน ปริมาณจราจรและน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนทำให้ถนนหลักหลายสายรับน้ำหนักกระทำซ้ำจากการจราจรเกินกว่าน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบ และส่งผลให้เกิดปัญหาร่องล้อ และการเสียรูปอย่างถาวร ปัญหาร่องล้อบนผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะบริเวณที่มีการชะลอความเร็วเพื่อจอดรอสัญญาณไฟจราจร การหยุดและออกตัวของรถก่อให้เกิดความเครียดแบบเฉือนในแนวราบ (horizontal shear strain) อย่างมาก ซึ่งมีผลทำให้ผิวทางปูดบวม (shoving) และเสียรูปเป็นร่องล้อ Xiao-di and Walubita (2011) สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสียหายของผิวทางก่อนอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้

การแก้ไขปัญหาการเกิดร่องล้อของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหลายวิธีเช่น การเติมวัสดุผสมแทรก (minaral filler) เช่น Gilsonite ปูนขาว เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ เป็นต้น การเปลี่ยนขนาดคละที่ใหญ่ขึ้น การเปลี่ยนชนิดของยางแอสฟัลต์คอนกรีตจากเกรด 60-70 เป็น 40-50 และการเลือกใช้วัสดุมวลรวมที่มีความแข็งแรงสูง วัสดุมวลรวมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศไทยคือหินแกรนิต หินปูน และหินบะซอลท์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่ขาดแคลนและอยู่ห่างไกลจากแหล่งหินคุณภาพ สิทธิโชค ลี้มิ่งสวัสดิ์ (2543) จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งมีความแข็งแรงของอนุภาคสูงมาใช้แทนมวลรวมหินธรรมชาติ

งานวิจัยนี้จะใช้ตะกรันเหล็กซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตเหล็ก เป็นมวลรวมหยาบแทนที่หินปูนบางส่วน หินปูนถูกเลือกเป็นมวลรวมหลักในงานวิจัยนี้เนื่องจากเป็นหินที่มีปริมาณไม่มากในประเทศไทย และเป็นที่นิยมใช้ในการผลิตแอสฟัสต์คอนกรีต คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนผสมตะกรันเหล็กเป็นมวลรวม จะนำมาเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตเป็นมวลรวม และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม วัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตคือแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 และโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (PMA) ผลการศึกษาที่มีประโยชน์อย่างมากต่อการตัดสินใจเลือกใช้ตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งมีคุณค่าทั้งในทางวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมระหว่างหินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ อันได้แก่ กำลังรับแรงดึงทางอ้อม เสถียรภาพ และการไหล
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมระหว่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ AC60/70 และโพลิเมอร์โมดิฟายแอสฟัลต์ (PMA) เมื่อใช้ส่วนผสมระหว่างหินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ
3. เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนและตะกรันเหล็กเป็นมวลรวม และเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตเป็นมวลรวม และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม

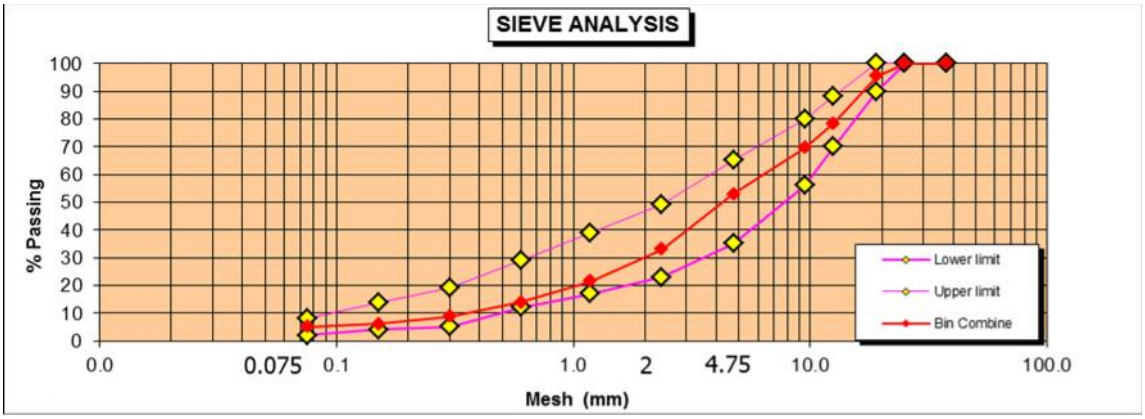
1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. มวลรวมที่ใช้ในการศึกษาจะใช้หินปูน หินแกรนิต ตะกรันเหล็ก ที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง และขนาดคละของมวลรวมเป็นไปตามข้อกำหนดของวิธีการทดสอบ โดยวิธี Marshall (เทียบเท่า ASTM.D-1559) โดยกำหนด กราฟของขนาดคละเป็นหลัก และใช้ข้อกำหนด มาตราฐานที่ ทล.-ม.408/2532 ในการออกแบบขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับชั้นรองผิวทาง ดังตารางที่ 1.1 และรูปที่ 1.1
2. ชนิดของวัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ในการศึกษา คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 และโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ โดยเป็นไปตามข้อกำหนดกรมทางหลวง
3. ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว เตรียมจากการบดอัดโดยวิธี Marshall ทำการบดอัด 75 Blows/end ตามมาตราฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517
4. การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยกำลังรับแรงดึงทางอ้อม เสถียรภาพ และการไหล สัดส่วนของแอสฟัลต์คอนกรีตแสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ขนาดคละมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ชั้นทาง		Wearing Course	Wearing Course	Binder Course
		ชั้นผิวทาง	ชั้นผิวทาง	ชั้นรองผิวทาง
ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0
	(นิ้ว)	(3/8)	(1/2)	(3/4)
ความหนา	มิลลิเมตร	25 - 35	40 - 70	40 - 80
ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล		
มิลลิเมตร	(นิ้ว)			
37.5	(1 1/2)			
25.0	(1)			100
19.0	(3/4)		100	90-100
12.5	(1/2)	100	80-100	-
9.5	(3/8)	90-100	-	56-80
4.75	(เบอร์ 4)	55-85	44-74	35-65
2.36	(เบอร์ 8)	32-67	28-58	23-49
1.18	(เบอร์ 16)	-	-	-
0.600	(เบอร์ 30)	-	-	-
0.300	(เบอร์ 50)	7-23	5-21	5-19
0.150	(เบอร์ 100)	-	-	-
0.075	(เบอร์ 200)	2-10	2-10	2-8
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0 - 8.0	3.0 - 7.0	3.0 - 6.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 1.1 กราฟขนาดคละมวลรวม ชั้นรองผิวทาง

ตารางที่ 1.2 แสดงส่วนผสมมวลรวมชนิดต่าง

Mix Proportion	Filter	Bin 1 หิน 3/8	Bin 2 หิน 1/2	Bin 3 หิน 3/4	Bin 4 หิน 1	Binder
1	L	L	L	L	L	AC 60/70
2	L	L	G	G	G	AC 60/70
3	L	L	S	S	S	AC 60/70
4	L	L	L	S	S	AC 60/70
5	L	L	L	L	S	AC 60/70
6	L	L	L	L	L	PMA
7	L	L	G	G	G	PMA
8	L	L	S	S	S	PMA
9	L	L	L	S	S	PMA
10	L	L	L	L	S	PMA

หมายเหตุ : L คือหินปูน

G คือหินแกรนิต

S คือตะกรันเหล็ก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ตะกรันเหล็ก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ ใช้ในงานก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

2. ได้ทราบถึงคุณสมบัติค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม เสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็ก เป็นมวลรวมหยาบ และใช้ที่แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 และโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ เป็นวัสดุเชื่อมประสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเพื่อนำตะกรันเหล็กมาใช้แทนหินธรรมชาติ ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 แนวคิดทฤษฎี

หินเป็นวัสดุที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการก่อสร้างถนน โดยเฉพาะผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต จะประกอบไปด้วยหินขนาดต่างๆ ตามที่กำหนด โดยหินจะทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักที่เกิดจากการสัญจรไปมา ส่วนแอสฟัลต์จะทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสานยึดเกาะเม็ดหิน ในปัจจุบันหินส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ทำแอสฟัลต์คอนกรีต จะเป็นหินปูน (Limestone) ที่ได้จากการระเบิดภูเขา ซึ่งเป็นการทำลายระบบนิเวศวิทยา และเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งบางพื้นที่ในภาคอีสานมีแหล่งหินปูนที่ไม่เพียงพอ ในบางครั้งเมื่อทำการก่อสร้างถนน ต้องขนส่งวัสดุมาจากจังหวัดใกล้เคียง มาใช้ในการก่อสร้าง แต่จะมีตะกรันเหล็ก วัสดุเหลือใช้ที่ได้จากกระบวนการผลิตเหล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติมีความแข็งแรงและต้านทานการขัดสีค่อนข้างสูง ความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุธรรมชาติจึงแข็งแรง ค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานสูงทำให้ไม่ลื่นไถล อีกทั้งยังสามารถเก็บความร้อนได้ดีทำให้ส่วนผสมแอสฟัลต์อุ่นได้นาน ทำให้การปูผิวทางจะสามารถปรับระดับพื้นถนนได้ง่ายขึ้น กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2556) นอกจากนี้ยังเป็นนำวัสดุเหลือใช้มาทดแทนทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด

2.2 ตะกรันเหล็ก

ตะกรันเหล็กเป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำเหล็ก ในการหลอมเศษเหล็กที่เป็นวัตถุดิบมักจะมีปริมาณองค์ประกอบที่เกินกว่ามาตรฐาน ที่ต้องการเสมอ อาทิ คาร์บอน ซิลิคอน แมงกานิส ไททาเนียม ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ การทำน้ำเหล็กให้มีองค์ประกอบตามที่ต้องการ ต้องมีการกำจัดหรือลดปริมาณสารมลทินเหล่านี้ ผ่านปฏิกิริยาทางเคมีด้วยการใส่สารสร้างตะกรัน เช่น หินฟันม้าหรือปูนขาว ลงไป ตะกรันจึงเป็นสารประกอบอโลหะที่ประกอบด้วยซิลิกา อะลูมินา หินปูน แมกนีเซียม เหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ องค์ประกอบทางเคมีของตะกรันน้ำเหล็กค่อนข้างไม่คงที่เท่าใดนัก ตะกรันที่เกิดขึ้นในเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric arc furnace

slag, EAF slag) มีปริมาณเหล็กออกไซด์เจือปนค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 25-40 โดยน้ำหนัก มีแคลเซียมออกไซด์ และซิลิกอนออกไซด์ที่ประมาณร้อยละ 30 และ 15 มีสีดำค่อนข้างเข้ม จัดเป็นวัสดุไม่ใช้แล้วที่ไม่มีพิษ

ตะกรันที่เกิดในเตาอาร์คไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นิยมใช้เป็นมวลรวมผสมในยางมะตอยสำหรับงานก่อสร้างถนน และวัสดุกรุพื้นถนนมากกว่าตะกรันที่เกิดขึ้นในเตาอุ่นน้ำเหล็ก เพราะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำกว่า

2.2.1 เทคโนโลยีการรีไซเคิลตะกรันเหล็กที่เกิดในเตาอาร์คไฟฟ้า

ตะกรันที่นำมาใช้นี้จะต้องผ่านการบด การคัดขนาดและทำให้เสถียรเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรให้น้อยที่สุดก่อนนำไปใช้งานต่อไป การทำให้ตะกรันเสถียรมี 2 ลักษณะ คือ 1. ทำให้เย็นตัวลงในอากาศอย่างช้าๆ แล้วตามด้วยการบ่มด้วยน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และ 2. ปรับสภาพด้วยทรายแล้วจึงนำมาคัดขนาด คุณสมบัติของตะกรันเหล็กแสดงตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของตะกรันในกระบวนการหลอมเหล็กกล้า

Constituents (%)	EAF slag
CaO	25-35
SiO2	8-18
Al2O3	3-10
MgO	2-9
Fe2O3	20-30
others	1.7-4.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Identified phase	Chemical composition	BOF slag	EAFslag	Ladle slag
Dicalcium silicate-calcium phosphate	Ca_2SiO_4-$Ca_3(PO_4)_2$	X	X	
Dicalcium silicate	Ca_2SiO_4			x
Tricalcium silicate	$(Ca,Mg,Mn,Fe)_3SiO_5$	X		x
Wustite	(Fe,Mg,Ca,Mn)O	X	X	
Magnesiowustite	((Mg,Fe,Mn,Ca)O	X	X	
Dicalciumferrite	$Ca_2(Fe,Al)_2O_5$-$Ca(Ti,Si)O_3$	X	X	
Magnetite	Fe_3O_4	X		
Calcium ferrite	$CaFe_2O_4$	X		
Mervinite	$3CaO.MgO.2SiO_2$		X	x
Spinel	$(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$		X	x
Lime	(Ca,Mg,Mn)O	x	X	
Fluorspar	CaF_2			x

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขาวหรือโดโลไมต์ที่ละเอียดเพื่อให้ละลายได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม หากอนุภาคละเอียดเกินไปอาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายได้ 5. ควบคุมการเย็นตัวของตะกรันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะช่วยแก้ปัญหาการบวมตัวจากแมกนีเซียมอิสระได้

2. การเปลี่ยนเฟสของไดแคลเซียมซิลิเกตขณะเย็นตัว ขณะที่ตะกรันเย็นตัวลงมาอย่างช้าๆ จะเกิดการเปลี่ยนเฟสของเบต้า-ไดแคลเซียมซิลิเกต (β) เป็นแกมมา-ไดแคลเซียมซิลิเกต (γ) ส่งผลให้เกิดการขยายตัวประมาณร้อยละ 12 โดยปริมาตร และทำให้เกิดการป่นเป็นผงของตะกรันเรียกว่า Falling slag มีขนาดประมาณไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ดังนั้นควรทำให้ตะกรันเย็นตัวอย่างรวดเร็วหรืออาจใช้สารเติมต่างๆ เพื่อยับยั้งการเปลี่ยนเฟสและการตกตะกอน อีกทั้งลดจุดหลอมตัวของตะกรัน เช่น สารประกอบ Borate หรือสารประกอบ Phosphate ลงในตะกรันหลอมเหลว

3. การหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกระหว่างการเย็นตัวของตะกรันค่อนข้างสูงเนื่องจากสภาพการนำความร้อนของตะกรันต่ำ ทำให้เกิดความเค้นภายในก้อนตะกรัน ทำให้ตะกรันแตกย่อยเป็นก้อนเล็กๆ ขนาดประมาณ 20 มิลลิเมตร

2.2.3 การคัดขนาดและการบดย่อย

เป็นการลดขนาดของตะกรันที่ได้จากกระบวนการให้เล็กลงก่อนนำไปใช้งาน ส่วนใหญ่จะใช้เป็นมวลรวมในงานก่อสร้าง การคัดขนาดใช้วิธีการและอุปกรณ์คล้ายกับงานทางเหมืองแร่ ได้แก่ เครื่องบดย่อยและตะแกรงคัดขนาด และจำเป็นต้องคัดแยกเอาเหล็กที่ติดตกค้างมากับตะกรันออกด้วย ขั้นตอนการเตรียมตะกรันมีลำดับดังนี้

1. Main steel slag jaw/cone crusher ให้มีขนาดประมาณ 25 มิลลิเมตร
2. Bucket conveyer ขนย้ายวัตถุดิบที่ผ่านการบดแล้วไปตามสายพานสู่เครื่องบดย่อยละเอียดขึ้น
3. Secondary slag milling machine ให้มีขนาดประมาณ ¾ มิลลิเมตร
4. Bucket conveyer ขนย้ายวัตถุดิบไปตามสายพานไปยังเครื่องแยกเหล็ก
5. Magnetic scrap/chips separating machine แยกเอาส่วนที่เป็นเหล็กด้วยการใช้แม่เหล็ก
6. Ball mill เป็นการบดในขั้นตอนสุดท้าย

2.2.4 การบ่ม

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าหินปูนอิสระสามารถก่อให้เกิดการบวมตัวของตะกรันได้อย่างรวดเร็วในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เกิดจากการบวมน้ำของแมกนีเซียมในระยะยาว การทำให้ตะกรันดูดซับความชื้นในบรรยากาศและขยายตัวอย่างเต็มที่ก่อนนำไปใช้งานเป็นการเพิ่ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. ใช้เป็นวัสดุดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และใช้เป็น Carbonated block ตะกรันจากเตาอุ่นน้ำเหล็กมีแนวโน้มที่จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เนื่องจากมีหินปูนอิสระอยู่มาก ตะกรันจากเตาอุ่นน้ำเหล็กถูกอัดกันอย่างหลวมๆ มีความพรุนตัวประมาณร้อยละ 20-40 แล้วให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไหลผ่าน ที่ผิวจะเกิดการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ที่ผิวได้ประมาณร้อยละ 1-7 โดยน้ำหนัก กลายเป็นสารประกอบคาร์บอเนต กระบวนการนี้เรียกว่า Carbonation หรือ Sequestration ซึ่งสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ทางอ้อม ส่วนของตะกรันที่ดูดซับก๊าซไว้เรียบร้อยแล้วสามารถใช้ทำเป็น Carbonated block ใช้เป็นเรือนเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลและเป็นสถานที่อนุบาลสัตว์น้ำ ขั้นตอนการเตรียมตะกรันสำหรับดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์การใช้งานในลักษณะนี้ยังอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัยโดยบริษัท JFE steel ประเทศญี่ปุ่น

4. ใช้ผสมกับกากของเสียอื่นๆ ผลิตเป็น Block สำหรับงานก่อสร้าง เช่น FerroformTM ที่ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท JFE steel ประเทศญี่ปุ่น ผลิตจากตะกรันของเหล็กผสมกับเถ้าลอย ตะกรันจากเตาพ่นลม (Blast furnace slag) น้ำและตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกอัลคาไลน์และขึ้นรูปเป็นชิ้นงานใช้แทนคอนกรีต พบว่ามีสมบัติใกล้เคียงกัน แต่สามารถลดปริมาณการใช้มวลรวมจากวัสดุธรรมชาติได้มากและมีความเสถียรทางเคมีและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ใช้งานเป็นแนวกั้นคลื่นตามชายฝั่ง หรือในประเทศอังกฤษ ปี 2007 มหาวิทยาลัย Leeds มีการพัฒนาวัสดุก่อสร้าง เนื้อวัสดุประกอบด้วยกากของเสียต่างๆทั้งหมด ได้แก่ ตะกรันเหล็กทั้งที่ได้จากเตาอาร์คไฟฟ้าและเตาอุ่นน้ำเหล็ก เศษแก้วบด เถ้าลอย ตะกอนในท่อระบายน้ำผสมกับน้ำมันดิบ ผสมให้ทั่วถึงและขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่างๆ จากนั้นจึงทำการอบด้วยความร้อนเพื่อให้น้ำมันดิบเกิดการเซตตัวสามารถใช้แทนคอนกรีตได้เช่นกัน ขณะนี้อยู่ระหว่างพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

5. เป็นวัสดุปรับปรุงและปุ๋ยบำรุงพืช ในตะกรันเหล็กประกอบด้วยสารอาหารที่สามารถเป็นอาหารบำรุงพืชได้เมื่อนำตะกรันมาผ่านกระบวนการที่เหมาะสม นอกจากนี้ตะกรันเตาอุ่นน้ำเหล็กซึ่งมีฤทธิ์เป็นเบสยังช่วยลดสภาพความเป็นกรดของดินได้

6. การใช้ตะกรันแทนปูนขาวในกระบวนการหลอมรีไซเคิลเศษเหล็ก พัฒนาโดยบริษัท Sumitomo Metals Industries ปี 2006 การนำ LF slag (Ladle slag) กลับมาใช้ใหม่เรียกว่า SRP (Simple Refining Process) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ 1. การปรับกระบวนการเพื่อให้ขั้นตอนการกำจัดคาร์บอนและฟอสฟอรัสส่วนเกินมีประสิทธิภาพและ 2. การนำกากของเสียที่ได้กลับมาใช้ในกระบวนการหลอม ในการหลอมเหล็กด้วยเตา Blast furnace จำเป็นต้องมีการกำจัดคาร์บอนและฟอสฟอรัสส่วนเกินใน Converter กระบวนการ SRP จะใช้ Converter 2 ตัว Converter ตัวหนึ่งกำจัดฟอสฟอรัส (Dephosphorization) และ Converter อีกตัวกำจัดคาร์บอน (Decarbulization) ฟลักซ์ที่ใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสคือปูนขาว (Lime) ซึ่งมีจุดหลอมตัวสูง

ประมาณ 2000 องศาเซลเซียส จึงหลอมละลายในเตาได้ยากและไม่สามารถทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสในน้ำเหล็กได้เท่าที่ควร กระบวนการ SRP ได้เพิ่มส่วนของท่อเป่าออกซิเจน ติดตั้งทางด้านบนของเตา พ่นออกซิเจนไปพร้อมๆกับผงปูนขาว ปูนขาวในรูปของผงมีพื้นที่ผิวมากทำอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น นอกจากนี้ การเป่าผงปูนขาวผ่านท่อออกซิเจนลงใน Converterในกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสสามารถลดปริมาณการใช้ปูนขาวเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปกติ (การเติมปูนขาวเป็นก้อนใหญ่ลงน้ำเหล็ก) ประมาณร้อยละ 15 น้ำเหล็กที่ได้ภายหลังจากการกำจัดคาร์บอนและฟอสฟอรัสส่วนเกินจะถูกส่งต่อมายังเตา Basic Oxygen Furnace (BOF) เพื่อปรับปรุงส่วนผสมของน้ำเหล็กให้ได้ตามต้องการ ตะกรันที่ได้จาก BOF สามารถนำกลับไปใช้อีกครั้งในกระบวนการ SRP ได้โดยตรง โดยตะกรันเหล่านี้จะมีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นตัวที่ช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา Dephosphorization และการสร้างตะกรันเหนือผิวน้ำเหล็ก นอกเหนือจากกระบวนการ SRP มีจุดเด่นก็คือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการ Dephosphorization กระบวนการที่คิดค้นขึ้นมานี้ยังมีข้อดีอื่นอีก ได้แก่ 1. ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่ากระบวนการทั่วไป เนื่องจากปริมาณการใช้ปูนขาวในกระบวนการลดลง และ 2. ลดปริมาณการเกิดฝุ่นเหล็ก 3. ตะกรันที่เกิดขึ้นในกระบวนการ SRP มีปริมาณของ Lime น้อยกว่าตะกรันที่ได้จากกระบวนการหลอมดั้งเดิม ทำให้ระยะเวลาการบ่มสั้นลงเนื่องจากการบวมของตะกรันจากการดูดน้ำหรือความชื้นของตะกรันเหล่านี้น้อย จึงสามารถนำตะกรันไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานก่อสร้างได้เร็วกว่าเดิม 4. ตะกรันที่เกิดจากกระบวนการ SRP สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการได้ทันทีโดยไม่ต้องนำมาบำบัดด้วยวิธีการอื่นใด

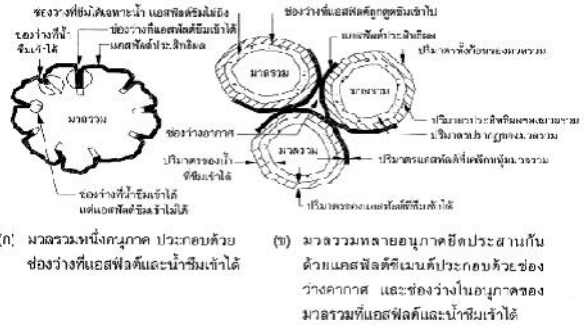
อย่างไรก็ตาม การใช้ตะกรันและของเสียดังกล่าวในกระบวนการหลอมรีไซเคิลเหล็กต้องควบคุมวิธีการเตรียมของเสียแต่ละชนิดอย่างเคร่งครัด เช่น ตะกรันในเตาอุ่นน้ำเหล็กต้องทำให้เกิดการเย็นตัวที่เหมาะสม โดยควบคุมการเปลี่ยนเฟสและการกลายเป็นผงของตะกรันในเตาอุ่นน้ำเหล็กอย่างทั่วถึง และต้องจัดเก็บผงตะกรันที่ได้ก่อนที่ตะกรันจะเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องผสมส่วนผสมของเสียต่างๆ และใช้แบบวันต่อวันเท่านั้น ไม่สามารถเตรียมไว้ล่วงหน้าได้เนื่องจากส่วนผสมมีโอกาสรวมตัวกับความชื้นได้ รวมไปถึงต้องใช้ส่วนผสมที่เตรียมไว้นี้ขณะที่ยังร้อนอยู่เท่านั้น จึงส่งผลทำให้การจัดเก็บและเคลื่อนย้ายส่วนผสมตะกรันและของเสียไม่สะดวก นอกจากนี้ ยังมีตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้งานลักษณะนี้ ได้แก่ สมบัติและลักษณะของเศษเหล็กที่นำมารีไซเคิล ซึ่งจะส่งผลต่อส่วนผสมและปริมาณการใช้ฟลักซ์จากกากของเสียดังกล่าว การใช้ของเสียจากกระบวนการหลอมเศษเหล็กในเตาอาร์คไฟฟ้า

ตะกรันเหล็กสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานโยธาต่างๆเป็นหลัก เช่น สร้างถนน ถมทะเลและขอบชายฝั่งได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายแร่ที่พบในธรรมชาติ

และยังมีสมบัติบางอย่างที่เหมาะสมกับการใช้งานมากกว่าวัสดุทางธรรมชาติ สมบัติของตะกรันขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ส่วนผสมทางเคมี อัตราการเย็นตัว วิธีการหล่อหลอม วิธีการปรับคุณสมบัติ เป็นต้น ปัญหาที่สำคัญคือตะกรันเหล็กมีหินปูนอิสระอยู่ เมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดการขยายตัวอย่างมากโดยเฉพาะตะกรันจากเตาอุ่นน้ำเหล็ก จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการบ่ม (Aging) เพื่อเพิ่มความเสถียร

2.3 แอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) หรือ Hot – Mix Asphalt หมายถึง วัสดุผิวทางที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และมวลรวม (Aggregates) ผสมกันขณะร้อนในเครื่องผสม จากนั้นนำไปปูลาดทำเป็นผิวทางของถนนในขณะที่ส่วนผสมยังร้อนอยู่ แล้วบดอัดให้แน่นและเรียบเป็นถนนลาดยางที่มีคุณภาพดี มีความแข็งแรงปลอดภัย มีเสถียรภาพและทนทานดี สีค่อนข้างดำ สามารถรับปริมาณการจราจรหนาแน่นมากๆ ได้ ทั้งยังเป็นผิวทางชนิดที่มีราคาค่าก่อสร้างต่อหน่วยต่ำกว่าผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้นแอสฟัลต์คอนกรีตจึงเป็นที่นิยมใช้ทำผิวทางสำหรับถนนทั่วไป รวมทั้งลานจอดรถและสนามบิน เป็นต้น คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์และมวลรวม ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของส่วนผสม ตลอดจนสัดส่วนที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมและกระบวนการผลิตส่วนผสม ในแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีปริมาณสัมพัทธ์ระหว่างมวลรวม แอสฟัลต์ และอากาศ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต แอสฟัลต์ที่เคลือบอยู่ที่ผิวของอนุภาคมวลรวมจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานอนุภาคมวลรวมให้เกาะติดกันแน่น เรียกว่า แอสฟัลต์ประสิทธิผล (Effective Asphalt) ที่มีแอสฟัลต์บางส่วนถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม และช่องว่างอากาศ (Air Void) ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่มีแอสฟัลต์เคลือบอยู่ ซึ่งปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมนี้จะมีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวมชนิดนั้นได้ประมาณร้อยละ 50 ดังรูปที่ 2.2



(ก) มวลรวมหนึ่งอนุภาค ประกอบด้วยช่องว่างที่แอสฟัลต์และน้ำซึมเข้าได้

(ข) มวลรวมหลายอนุภาคยึดประสานกันด้วยแคลสฟัลต์ซีเมนต์ประกอบด้วยช่องว่างอากาศ และช่องว่างในอนุภาคของมวลรวมที่แอสฟัลต์และน้ำซึมเข้าได้

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบทั่วไปของแอสฟัลต์คอนกรีต

2.3.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

1. ความหนาแน่น (Density) หมายถึง ปริมาณมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอจะทำให้อายุการใช้งานยืนยาวและมีคุณภาพดี ความหนาแน่นเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีการควบคุมภายหลังการก่อสร้าง เพราะผิวทาง ที่บดอัดเสร็จแล้วจะต้องมีความหนาแน่นสูงมากพอที่จะรับปริมาณการจราจร ในการทดลองออกแบบส่วนผสมและวิเคราะห์ความหนาแน่นของตัวอย่างที่บดอัดโดยทั่วไปมีหน่วยเป็น ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หรือกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นที่ทดลองได้ในห้องปฏิบัติการจะนำมาเป็นค่ามาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบความหนาแน่นที่บดอัดได้ในสนาม โดยคิดเป็นร้อยละของความหนาแน่นที่บดอัดได้ในห้องทดลอง

2. ช่องว่างอากาศ (Air Void : AV) หมายถึง ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับการบดอัดแล้วจะต้องมีปริมาณช่องว่างอากาศเพียงพอ หลังจากที่เปิดการจราจรแล้วยานพาหนะที่แล่นบนผิวทางจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแน่นขึ้นกว่าเดิม จึงมีปริมาณช่องว่างอากาศลดลง ดังนั้นถ้าปริมาณช่องว่างอากาศที่ก่อสร้างเสร็จใหม่มีไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนน นอกจากนี้ ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนขึ้นอีกด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 3 – 5 ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักของยานพาหนะที่แล่นบนผิวทาง ส่วนชั้นรองผิวทางอาจจะออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างอากาศมากขึ้นถึงร้อยละ 4 – 7 เป็นต้น

ปริมาณช่องว่างอากาศมีผลต่อความทนทานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ถ้าปริมาณช่องว่างอากาศน้อย น้ำและอากาศก็มีโอกาสซึมผ่านเข้าไปทำลายการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้น้อย ทำให้ผิวทางมีอายุการใช้งานนานยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าปริมาณช่องว่างอากาศมีน้อยเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนนได้ และที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ผิวทางมีแอสฟัลต์ไหลเยิ้ม (Bleeding) และเกิดการยุบตัวแบบถาวร (Permanent Deformation) หรือเกิดเป็นร่องล้อ (Rutting) เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก ขณะที่หากปริมาณช่องว่างอากาศมากเกินไปก็จะทำให้น้ำและอากาศมีโอกาสซึมผ่านเข้าไปทำลายการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้มากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างน้ำกับอากาศ จะทำให้วัสดุแอสฟัลต์เกิดการแข็งตัวเมื่อผ่านการใช้งาน (Aging) มาระยะหนึ่งทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีสภาพแข็งเปราะและเกิดการแตกร้าวได้ ยิ่งเมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุกในลักษณะซ้ำซากก็จะเกิดการเสียหายในลักษณะของการแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue Cracking)

ดังนั้น ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับปริมาณจราจรที่ออกแบบไว้จะต้องมีปริมาณช่องว่างอากาศไม่น้อยกว่าร้อยละ 3 และไม่มากเกินกว่าร้อยละ 5 ซึ่งโดยทั่วไปจะพิจารณาค่ากลางของปริมาณช่องว่างอากาศ คือ ร้อยละ 4 ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

เมื่อความหนาแน่นและปริมาณช่องว่างอากาศมีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าความหนาแน่นมากปริมาณช่องว่างอากาศจะน้อย การกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะต้องคำนึงถึงปริมาณช่องว่างอากาศด้วย โดยปกติผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดเสร็จใหม่ มักจะกำหนดความหนาแน่นต่ำสุดให้มีปริมาณช่องว่างอากาศน้อยกว่าร้อยละ 8

3. ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate : VMA) หมายถึง ปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาค ของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมทั้งช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bitumen : VFB) ดังนั้นช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมจึงเป็นปริมาณช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์รวมกับปริมาณช่องว่างอากาศ สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า VMA = VFB + AV สำหรับการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากัน แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานได้นานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า เนื่องจากมีปริมาณช่องว่างสำหรับแอสฟัลต์มากกว่า ทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิวอนุภาคของมวลรวมหนากว่า แอสฟัลต์คอนกรีตจึงมีความทนทานและมีอายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้น (Aging Resistance) ถึงแม้มีส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนดจะทำให้ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ผสมน้อยลงเพื่อความประหยัด แต่จะทำให้ผิวทางมีความคงทนลดลงและเกิดความเสียหายตามมาภายหลังได้

4. ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content) ปริมาณแอสฟัลต์มีผลต่อคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จะต้องถูกต้องและเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องปฏิบัติการหรือที่โรงผสมในสนาม ข้อกำหนดต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการในการออกแบบจะเป็นตัวกำหนดปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องใช้ในส่วนผสม ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละและคุณสมบัติในการดูดซึมแอสฟัลต์ มวลรวมที่มีขนาดคละซึ่งประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจะต้องการปริมาณแอสฟัลต์สำหรับผสมมากกว่ามวลรวมที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ เหตุผลคือ เมื่อปริมาตรเท่ากันมวลรวมที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่ามวลรวมที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ จึงต้องใช้ปริมาณแอสฟัลต์มากกว่าเพื่อเคลือบผิวอนุภาคของมวลรวม มวลรวมที่ดูดซึมแอสฟัลต์มากทำให้ต้องใช้ปริมาณแอสฟัลต์ผสมมากเพื่อชดเชยส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไป

5. เสถียรภาพและการไหล (Stability and Flow) ค่าเสถียรภาพ หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรได้โดยไม่เกิดร่องล้อหรือเป็นคลื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผิดไปจากเดิม (Deformation) เป็นค่าต้านทานแรงกดสูงสุด โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนค่าการไหล เป็นการวัดค่าการเคลื่อนที่หรือหน่วยการยุบตัว (Strain) โดยวัดจากระยะทางที่แอสฟัลต์คอนกรีตยุบตัวลงขณะที่ไม่มีแรงกระทำกับขณะที่มีแรงกระทำสูงสุดของเสถียรภาพ ความมีเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานภายในและแรงยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวม ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคของมวลรวมเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักของยานพาหนะมากระทำ

โดยทั่วไป มวลรวมที่มีรูปร่างและอนุภาคเป็นเม็ดเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูงมีแรงยึดเกาะมากหากแอสฟัลต์ที่ใช้มีความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงระดับหนึ่งจะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีค่าลดลง จึงทำให้เสถียรภาพของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตลดลงด้วย ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมจะต้องออกแบบให้มีค่าเสถียรภาพสูงพียงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ อย่างไรก็ตาม ควรคำนึงว่าค่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไปจนขาดความยืดหยุ่น อาจทำให้ผิวทางเกิดความเสียหายได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปูลงบนผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัวสูง

ปัจจุบัน การสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตส่วนใหญ่มักเป็นแบบ Dense Grade Mixture และแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นชนิด AC 60-70 ในสัดส่วนประมาณร้อยละ 3 – 8 โดยน้ำหนักของมวลรวม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของงาน

2.3.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ข้อกำหนดสำหรับส่วนผสมของผิวจราจรแบบแอสฟัลต์คอนกรีต จะระบุวิธีการออกแบบส่วนผสม และค่าที่ต้องการในการออกแบบไว้ วิธีการออกส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่นิยมแพร่หลาย ได้แก่ วิธีมาร์แชลล์ (Marshall Method) วิธีฮวีม (Hveem Method) และวิธีซูเปอร์เพฟ (SUPERPAVE Method) เป็นต้น สำหรับกรมทางหลวงนิยมใช้วิธีการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์โดยวิธีมาร์แชลล์ ในงานวิจัยนี้จึงจะกล่าวถึงวิธีมาร์แชลล์เท่านั้น

แนวคิดพื้นฐานของ วิธีมาร์แชลล์ ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตกำหนดขึ้นโดย บรูซ มาร์แชลล์ (Bruce Marshall) วิศวกรบิทูเมน กรมทางหลวงรัฐมิสซิสซิปปี ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของวิธีการทดสอบแบบอันคอนไฟน์ (Unconfined) ที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย กระทั่งต่อมา The U.S. Corps of Engineers ได้ศึกษาค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงวิธีการ และพัฒนา

หลักเกณฑ์การออกแบบส่วนผสม จนกระทั่งการทดสอบได้มาตรฐาน และกำหนดเป็นมาตรฐานการทดสอบ ASTM. D – 1559 ซึ่งกรมทางหลวงได้กำหนดเป็นมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517

วิธีมาร์แชลล์นี้ใช้กับวัสดุผสมลาดยางแบบผสมร้อน ซึ่งประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และมวลรวมที่มีการจัดขนาดคละให้เหมาะสม มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มิลลิเมตร (1 1/2 นิ้ว) วิธีการนี้ใช้ได้ทั้งการออกแบบในห้องปฏิบัติการทดลองเท่านั้น ลักษณะสำคัญของการทดสอบคือการวิเคราะห์ความหนาแน่นกับช่องว่างอากาศ และการทดสอบเสถียรภาพและการไหลของก้อนตัวอย่าง การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จะต้องเลือกสัดส่วนขนาดคละของมวลรวม ชนิดและปริมาณแอสฟัลต์ และเลือกผิวทางที่ใช้ในการออกแบบ แล้วจึงเตรียมก้อนตัวอย่างและทำการทดสอบ นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟและวิเคราะห์

แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสมของหินย่อยขนาดต่างๆ เช่น Bin 1 หิน 3/8", Bin 2 หิน1/2", Bin 3 หิน3/4", Bin 4 หิน1" ผสมกับยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตวิธีหนึ่ง ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือวิธี "มาร์แชลลล์" (Marshall test) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย U.S. Corps of Engineers โดยประเมิน เสถียรภาพ (stability) การไหล (flow) ความหนาแน่น (density) ปริมาณอากาศ (air voids) ปริมาณช่องว่างของวัสดุมวลรวม (voids in mineral aggregate, VMA) ปริมาณช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง (voids filled with binder or voids filled with asphalt cement, VFB or VFA) ตามลำดับ ซึ่งในการประเมินคุณสมบัติเหล่านี้ จะกระทำโดยผันแปรปริมาณส่วนผสมของยางหลาย ๆ ค่า ทั้งนี้ เพื่อหาค่าที่เหมาะสม (optimum) สำหรับ เสถียรภาพ ความทนทาน (durability) ความยืดหยุ่น (flexibility) ความต้านทานการล้า (fatigue resistance) กำลังต้านการแตกร้าว (fracture strength) ความต้านทานการลื่นไถล (skid resistance) ความทึบน้ำ (impermeability) และความสามารถในการทำงาน (workability) เป็นต้น กลลักษณะของการวิบัติของตัวอย่างที่ทดสอบโดยเครื่องมือมาร์แชลล์ค่อนข้างจะซับซ้อน โดยพื้นฐานแล้วอาจจะกล่าวได้ว่า วิธีทดสอบนี้เป็นชนิดหนึ่งของการทดสอบแบบ Unconfined Compression ซึ่งในสภาพความเป็นจริงของผิวจราจร จะถูกกดทับโดยยางรถยนต์ หรือน้ำหนักยวดยานพาหนะ ชั้นพื้นทาง และผิวจราจรรอบข้าง ดังนั้นการทดสอบโดยวิธีนี้จึงมีความสัมพันธ์กับการเสียรูปของผิวจราจรเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ผลทดสอบโดยทั่วไปพบว่าการเพิ่มปริมาณยางจะมีผลทำให้คุณสมบัติในการไหลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ค่าเสถียรภาพจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน จนกระทั่งปริมาณยางเพิ่มขึ้นถึงขีดจำกัดระดับหนึ่ง เสถียรภาพจะลดลง ดังนั้นในการออกแบบส่วนผสมของบางองค์กร เช่น Asphalt Institute จะมีการกำหนดค่าเสถียรภาพต่ำสุด และกำหนดค่าการไหลเป็นช่วงโดยแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น ทำถนน หรือสนามบิน เป็นต้น นอกเหนือจากปริมาณยางที่ใช้ใน

ส่วนผสมแล้ว ค่าเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตยังขึ้นอยู่กับชนิดของยาง ชั้นคุณภาพ (grade) ของมวลรวม รูปร่าง (shape) ของมวลรวม คุณสมบัติทางธรณีวิทยาของมวลรวม (สำคัญที่สุดคือความพรุน, porosity) พลังงานในการบดทับ และอื่น ๆ

2.3.3 คุณสมบัติที่ดีของแอสฟัลต์คอนกรีต

1. Stability ถ้ามีค่าสูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งมากเกินไป ขาดความยืดหยุ่น ซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ แต่ถ้าค่าต่ำไปมีสาเหตุดังนี้

- ใช้แอสฟัลต์ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกระนาด หรือเกิดร่องล้อ หรือ เกิด Bleeding

- ใช้ทรายที่มีขนาดกลาง (Medium Size Sand) มากเกินไปทำให้บดอัดยากขณะที่ทำการบดอัด หรือแม้กระทั่งบดอัดเสร็จใหม่ จะมีลักษณะเคลื่อนตัวได้ง่าย (ไม่อยู่ตัว)

- วัสดุมวลรวมมีลักษณะกลม ผิวเรียบ ขยับตัวได้ง่าย ทำให้เกิดร่องล้อ

2. ความคงทน (Durability) หมายถึงค่าความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพอาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิ สภาพการจราจร หรือทั้ง 2 อย่าง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ เนื่องจากกระบวนการ Polymerization และ Oxidation วัสดุมวลรวมเสื่อมสภาพจนเกิดการแตกตัว และฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบวัสดุมวลหลุดออก การออกแบบส่วนผสมให้มีความคงทนอาจทำได้ดังนี้

- ใช้ปริมาณแอสฟัลต์คอนกรีตที่เหมาะสม

- เลือกขนาดคละที่ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะแน่น (Dense Gradation) รวมทั้งใช้วัสดุมวลรวมที่แข็งแกร่ง มีคุณสมบัติในการยึดเกาะแอสฟัลต์ได้ดี ขนาดคละที่มีลักษณะน้ำและ อากาศผ่านได้ยาก ความแข็งแกร่งของวัสดุมวลรวมจะป้องกันการแตกจากน้ำหนักจราจรได้

- บดอัดไม่เพียงพอ ทำให้ปริมาณช่องว่างมากเกินไป

3. ความง่ายในการปู (Workability) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูและบดอัดยากอาจแก้ไขได้โดยการออกแบบใหม่ หรือเปลี่ยนวัสดุมวลรวมใหม่ หรือเปลี่ยนขนาดคละของวัสดุมวลรวมใหม่ สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตปูและบดอัดยากอาจมีสาเหตุดังนี้

- Maximum Size ของวัสดุมวลรวมโตเกินไป ทำให้ผิวหน้าหยาบ ปูยาก

- วัสดุมวลรวมมีส่วนที่หยาบมากเกินไป ทำให้บดอัดยาก

- อุณหภูมิในการผสมต่ำ ทำให้แอสฟัลต์เคลือบผิววัสดุไม่ทั่ว ความคงทนต่ำ

- วัสดุมวลรวมผิวหยาบเกินไป บดอัดยาก

- ใช้ทรายที่มีขนาดเม็ดกลางผสมมากเกินไป ทำให้ส่วนผสมไม่อยู่ตัว บดอัดยาก

- ปริมาณวัสดุผสมแทรก น้อยเกินไป ส่วนผสมมีลักษณะอ่อนยวบ น้ำซึมผ่านได้ง่าย

- ปริมาณวัสดุผสมแทรก มากเกินไป ส่วนผสมมีลักษณะแห้งเหนียว ทำงานยาก และไม่คงทน

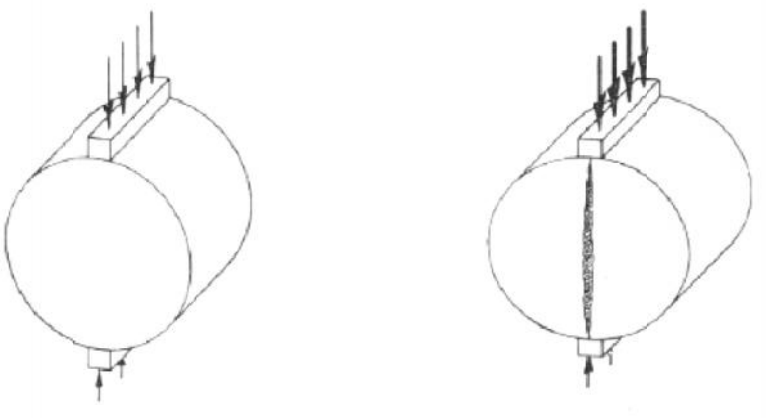
4. ความสามารถในการแอ่นตัว (Flexibility) ความสามารถในการแอ่นตัวโดยไม่แตก เป็นสิ่งที่ต้องการในการออกแบบ ทั้งนี้เนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัวโดยทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกด หรือโดยการโป่งขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของชั้นทางข้างล่าง แอสฟัลต์คอนกรีตชนิด Open-Grade จะสามารถแอ่นตัวได้ดีกว่าชนิด Dense-Grade แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติแอ่นตัวได้ดีกว่าจะมี Stability ต่ำกว่า

5. ความต้านทานต่อการล้า หมายถึงความสามารถในการต้านทานการดัดโค้งแบบซ้ำซาก สาเหตุอาจเกิดจากการบดอัดที่ไม่เพียงพอ การใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เสื่อมสภาพแข็งตัวเร็วเกินไป ความหนาของชั้นผิวทาง ปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมน้อยเกินไป ออกแบบช่องว่างมากเกินไป

6. ความต้านทานต่อการลื่น (Skid Resistance) มีสาเหตุดังนี้ ปริมาณแอสฟัลต์มากเกินไป ขนาดคละมวลรวมไม่เหมาะสม วัสดุมวลรวมที่ใช้ไม่เหมาะสม

2.4 Indirect Tensile Strength Test

การทดสอบ Indirect Tensile Strength Test ประกอบด้วยการให้แรงกดกระทำกับตัวอย่างทรงกระบอกในแนวขนานกับแนวตั้งของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่าง ดังภาพที่ 2.3 โดยมีแผ่นเหล็กขนาดกว้างครึ่งนิ้ว มีรัศมีความโค้งของตัวอย่างเป็นแผ่นถ่ายน้ำหนักลงบนตัวอย่าง น้ำหนักที่กระจายจะเปลี่ยนเป็นแรงดึงในแนวตั้งฉากกับทิศทางของน้ำหนักที่กระทำในแนวตั้งของเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยตัวอย่างที่ทดสอบจะวิบัติจากแรงดึง ในลักษณะแยกจากกันตามแนวตั้งของเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การให้น้ำหนักกระทำก้อนตัวอย่างและลักษณะการแตกร้าวของก้อนตัวอย่าง

ค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมที่เกิดขึ้นกับก้อนตัวอย่าง สามารถหาได้จาก สมการที่ 2.1

$$ITS = \frac{2P}{\pi DT} \tag{2.1}$$

เมื่อ ITS คือ ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (เมกกะปาสคาล)

P คือ แรงกระทำสูงสุด (นิวตัน)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนตัวอย่าง (มิลลิเมตร)

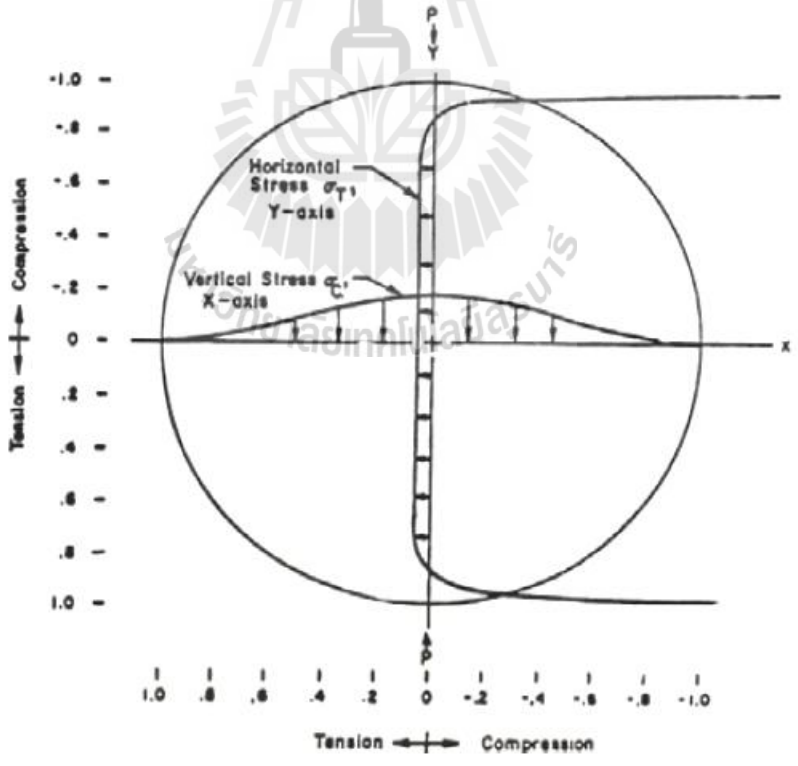
T คือ ความหนาเฉลี่ยของก้อนตัวอย่าง

การให้น้ำหนักต้องกระทำผ่านแท่งกดน้ำหนักที่เป็นสเตนเลส มีขนาดแนะนำดังนี้ สำหรับกรณีที่ก้อนตัวอย่างมีความยาวเส้นผ่านศูนย์สูงกลาง 100 มิลลิเมตร ควรใช้แท่งกดที่มีความกว้างประมาณ 13 มิลลิเมตร และสำหรับกรณีที่ก้อนตัวอย่างมีความยาวเส้นผ่านสูงกลางเท่ากับ 150 มิลลิเมตร ควรใช้แท่งกดที่มีความกว้างประมาณ 19 มิลลิเมตร โดยที่แท่งกดน้ำหนักดังกล่าวมีด้านสัมผัสกับผิวของตัวอย่างทดสอบเป็นส่วนโค้งที่รัศมีเท่ากับรัศมีของก้อนตัวอย่างทำให้สามารถแนบชิดกันได้อย่างพอดี เพื่อประโยชน์ในการกระจายน้ำหนัก และในการรักษาพื้นที่ที่น้ำหนักกระทำให้คงที่ ซึ่งการให้น้ำหนักในลักษณะนี้จะทำให้เกิดความเค้นดึง (Tensile Stress) ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกระทำตั้งฉากกับแนวของการให้น้ำหนักหรือแนวเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวดิ่ง ซึ่งในที่สุดจะส่งผลให้ก้อนตัวอย่างทดสอบเกิดการแตกร้าวขึ้นมาตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง เนื่องจากการให้น้ำหนักแบบคงที่หรือการให้น้ำหนักแบบกระทำซ้ำก็ตาม โดยมีลักษณะการ

กระจายของความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นภายในก้อนตัวอย่างทดสอบทั้งในแนวราบและแนวดิ่งขณะทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และจะสังเกตเห็นได้ว่าที่บริเวณกึ่งกลางของก้อนตัวอย่างทดสอบความเค้นอัด (Compression Stress) ที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งจะมีขนาดประมาณ 3 เท่าของความเค้นดึง (Tensile Stress) ที่เกิดขึ้นในแนวราบ ดังนั้นจึงทำให้แน่ใจได้ว่าผลการทดสอบที่ได้รับเป็นคุณสมบัติที่แท้จริงของวัสดุ มิได้มีความคาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากวิธีการทดสอบแต่อย่างใด

ชยธันว์ พรหมศร และคณะ (2546) ศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบวัสดุแบบแรงดึงทางอ้อม โดยสามารถสรุปถึงข้อดีของวิธีการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

- วิธีการทดสอบมีความเรียบง่ายไม่ซับซ้อน
- ลักษณะการแตกร้าวของวัสดุเกิดขึ้นบริเวณที่มีแรงดึงค่อนข้างสม่ำเสมอ
- ความแปรปรวนของผลที่ได้จากการทดลองค่อนข้างต่ำ
- การทดสอบไม่มีผลจากสภาพผิวของวัสดุทดสอบ ทำให้แน่ใจได้ว่าผลที่ได้จากการทดสอบเป็นคุณสมบัติของวัสดุอย่างแท้จริง



รูปที่ 2.4 การกระจายตัวของความเค้นดึงและความเค้นอัดในการทดสอบแบบแรงดึงทางอ้อม

2.5 ร่องล้อ (Rutting)

ร่องล้อเป็นลักษณะความเสียหายชนิดหนึ่งของผิวจราจร ซึ่งเกิดการยุบตัวและเสียรูปอย่างถาวรตามแนวล้อรถ โดยความเสียหายอาจเกิดในชั้นโครงสร้างทางหรือในชั้นวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตก็ได้

White et al. (2002) ได้อธิบายว่าสาเหตุหรือกลไกหลักของปัญหาร่องล้อบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเหนือชั้นโครงสร้างทางที่แข็งแรง เกิดจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนได้

Walker (1999) แบ่งร่องล้อเป็น 4 ประเภท

1. ร่องล้อที่เป็นผลมาจากการอัดแน่นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต (Consolidation) เนื่องจากการบดอัดไม่เพียงพอหรือไม่ได้ตามข้อกำหนดขณะก่อสร้าง

2. ร่องล้อที่เป็นผลมาจากผิวทางสึกหรอ (Surface Wear) เนื่องจากการขัดสีระหว่างล้อยางกับผิวจราจร

3. ร่องล้อที่เป็นผลมาจากการเกิด Flow เนื่องจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตไม่เหมาะสม เช่นส่วนผสมไม่เป็นไปตามข้อกำหนด แอสฟัลต์ซีเมนต์มีคุณภาพไม่ดี ตลอดจนกระบวนการผสมที่โรงงาน เทคนิคขั้นตอนการปูผิวและการบดอัด วิธีการตรวจสอบควบคุมคุณภาพขณะก่อสร้าง เป็นต้น ร่องล้อประเภทนี้จึงมีชื่อเรียกว่า Instability Rutting

4. ร่องล้อที่เป็นผลมาจากการเสียรูปเชิงกลศาสตร์ เนื่องจากความสามารถในการแบกทานน้ำหนักบรรทุกของชั้นโครงสร้างทาง ได้แก่ คุณสมบัติด้านความแข็งแรง และความหนาของโครงสร้างชั้นทางไม่สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง

ความเสียหายเป็นร่องล้อที่พบในประเทศไทยสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ ได้แก่

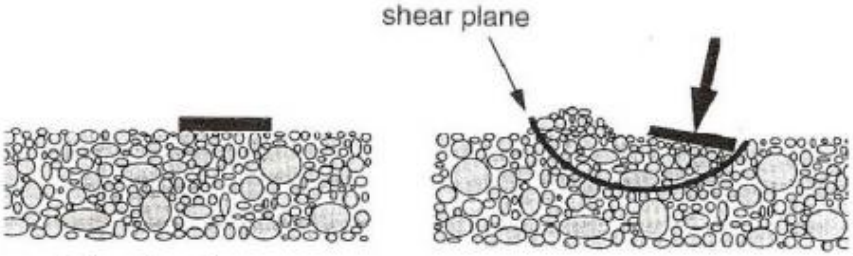
1. ร่องล้อเกิดในชั้นโครงสร้างทาง (Structural Rutting) เนื่องจากการยุบตัวในแนวดิ่งอย่างถาวรของชั้นโครงสร้างทางภายใต้แรงกระทำซ้ำซากของน้ำหนักจราจร (Repeated Traffic Loads) ซึ่งมีสาเหตุหลักเกิดจากการยุบตัวอย่างถาวรในชั้นดินฐานราก (Subgrade Soil)

2. ร่องล้อเกิดในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Rutting หรือ Instability Rutting) เนื่องจากวัสดุเกิดการเคลื่อนตัวไปด้านข้างตามแนวล้อรถ โดยมีสาเหตุหลักเกิดจากคุณสมบัติด้านโครงสร้างของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เช่น ค่าเสถียรภาพความแข็งแรง (Stability) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตไม่สามารถแบกรับน้ำหนักบรรทุกเกินพิกัดที่กระทำซ้ำซากได้ ดังรูปที่ 2.5

ปัจจุบันปัญหาร่องล้อบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตได้นำมาพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างชั้นทางแบบใหม่แล้ว โดยได้แบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

(ก) Structural Rutting (ข) Asphalt หรือ Instability Rutting

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

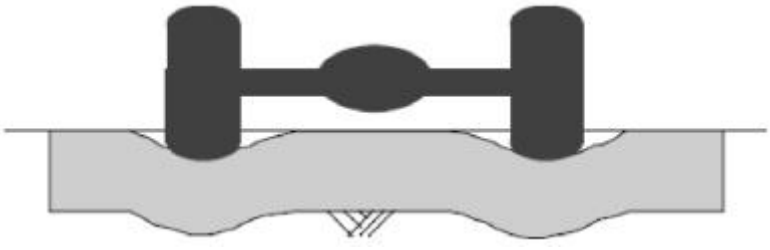


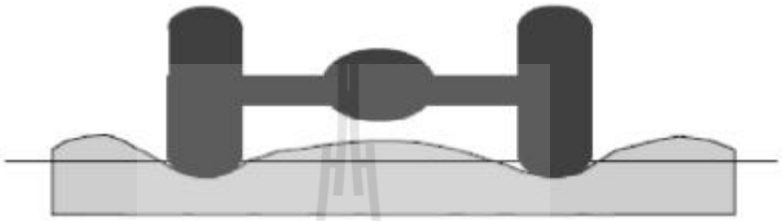
Cubical Aggregate

Rounded Aggregate

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รอยแตกร้าวปรากฏขึ้น สิ่งที่บ่งบอกเบื้องต้นของการแตกร้าวเนื่องจากความล้าก็คือ รอยแตกตามแนวยาวที่เกิดเป็นช่วงๆ ตามแนวล้อรถของการจราจรที่แล่นผ่านบนถนนนั้น การแตกร้าวเนื่องจากความล้าจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการแตกเริ่มแรกที่จุดต่างๆจะเข้ามารวมกันทำให้รอยแตกก่อตัวมากขึ้น ขั้นตอนต่อไปของการแตกร้าวเนื่องจากความล้า ก็คือการแตกร้าวแบบหนังจระเข้ (Alligator cracking) ซึ่งมีลักษณะเป็นรอยแตกตามขวางมาเชื่อมต่อรอยแตกตามแนวยาว ในขั้นตอนที่รุนแรงที่สุดก็จะเกิดเป็นหลุมบ่อ (Potholes) เมื่อมีชิ้นส่วนของโครงสร้างถนนหลุดกระเด็นออกไป เนื่องจากการจราจรที่มากระทำต่อโครงสร้างถนนนั้นการแตกร้าวเนื่องจากความล้า มีสาเหตุจากปัจจัยหลายประการที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ที่เห็นได้ชัดเจนก็คือน้ำหนักบรรทุกมากๆ มากระทำซ้ำๆ หลายๆ ครั้ง อยู่เสมอ โครงสร้างถนนบางๆ หรือชั้นรองรับข้างล่างอ่อนแอมีแนวโน้มที่จะแอ่นตัวมาก ภายใต้แรงกระทำจากน้ำหนักล้อบรรทุกหนัก การแอ่นตัวมากนำไปสู่การเพิ่มหน่วยแรงดึงตามแนวราบที่ด้านล่างของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งก่อให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากความล้าตามมาการระบายน้ำที่ไม่ดีรวมถึงการก่อสร้างกับการออกแบบที่ไม่ดีก็มีส่วนให้เกิดปัญหาดังกล่าวนี้ได้เช่นกัน บ่อยครั้งที่พบว่าการแตกร้าวเนื่องจากความล้าเป็นสิ่งที่เตือนให้ทราบว่าโครงสร้างถนนได้รองรับแรงกระทำตามจำนวนของการออกแบบไว้แล้ว ในกรณีเช่นนี้จึงจำเป็นต้องมีการฟื้นฟูสมรรถภาพใหม่อีกครั้ง สมมุติว่าการแตกร้าวเนื่องจากความล้าเกิดขึ้นที่ปลายคาบของการออกแบบก็จำเป็นต้องพิจารณาความก้าวหน้าตามวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนนั้น ถ้าการแตกร้าวเนื่องจากความล้าเกิดขึ้นก่อนเวลาอันควรที่กำหนดไว้ตามการออกแบบก็แสดงว่าการคาดการณ์แรงกระทำจากปริมาณการจราจรในการออกแบบนั้นใช้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงฉะนั้นวิธีที่ดีที่สุดที่จะไม่ให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากความล้าก็คือ ในการออกแบบต้องใช้ค่าแรงกระทำจากการจราจรหนักให้มีค่าเพียงพอ รักษาชั้นดินเดิมให้แห้ง ใช้โครงสร้างถนนที่มีความหนามากขึ้น ใช้วัสดุที่ไม่อ่อนแอเกินไปเมื่อได้รับความชื้น และใช้ HMA ที่มีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะต้านทานการแอ่นตัวตามปกติ ได้การคัดเลือกวัสดุที่ยืดหยุ่นกำหนดได้จากการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบส่วนผสม HMA จะต้องมีกำลังรับแรงดึงเพียงพอที่จะต้านทานต่อหน่วยแรงดึงที่มากระทำที่ฐานของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต และต้องมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะต้านทานแรงกระทำซ้ำๆ โดยปราศจากการแตกร้าว นั่นคือ HMA ต้องได้รับการออกแบบให้มีพฤติกรรมเหมือนวัสดุอ่อนยืดหยุ่นเมื่อแรงกระทำมีลักษณะเป็นแรงดึง เพื่อเอาชนะการแตกร้าวเนื่องจากความล้า ซึ่งสามารถบรรลุผลได้โดยการใช้ค่าความแข็งตึงของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ขีดจำกัดสูง เพราะว่าพฤติกรรมการรับแรงดึงของ HMA ได้รับอิทธิพลอย่างมากมายจากแอสฟัลต์ซีเมนต์ ดังนั้นแอสฟัลต์อ่อนจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าแอสฟัลต์แข็งในแง่ของความล้า

3. การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ

การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature cracking) มีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมมากกว่าแรงกระทำจากการจราจร มีลักษณะเป็นรอยแตกตามขวางเป็นช่วงๆการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเกิดขึ้นเมื่อชั้นโครงสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตหดตัวในสภาพภูมิอากาศเย็น เมื่อโครงสร้างถนนหดตัวจะก่อให้เกิดหน่วยแรงดึงภายในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต ถ้าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงดึงของแอสฟัลต์คอนกรีต ก็จะทำให้ชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตแตกร้าว ในเบื้องต้นการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะเกิดจากวัฏจักรเดียวของอุณหภูมิต่ำ แต่ก็สามารถพัฒนาต่อจากวัฏจักรอุณหภูมิต่ำซ้ำๆ หลายรอบได้เช่นกันวัสดุประสานประเภทแอสฟัลต์มีบทบาทสำคัญในเรื่องการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำโดยทั่วไปแอสฟัลต์แข็งมีแนวโน้มที่จะเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำได้ง่ายกว่าแอสฟัลต์อ่อน แอสฟัลต์ที่เสื่อมสภาพมากแล้วเพราะมีออกซิเดชันมากไป และหรือมีช่องว่างอากาศ (Air voids) ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตมากเกินไป จะมีแนวโน้มที่เกิดการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำได้ง่าย ดังนั้นวิศวกรจึงควรใช้แอสฟัลต์อ่อนที่ยังไม่มีแนวโน้มว่าจะเสื่อมสภาพ และควบคุมช่องว่างอากาศในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต นอกจากนั้นทำโครงสร้างถนนให้หนาแน่นเพียงพอจนวัสดุประสานไม่สามารถออกซิไดซ์มากเกินกำหนด ก็จะช่วยแก้ปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำได้

จากการวิเคราะห์สาเหตุความเสียหายจากการเกิดร่องล้อ และการแตกร้าวเนื่องจากความล้าโดยพิจารณาพฤติกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตนั้น ได้แก่ การเสียรูปอย่างถาวร (Permanent Deformation) การแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue Cracking) และการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature cracking) ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุของความเสียหายในลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรได้ คือ เกิดจากการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่ดีพอ ชั้นโครงสร้างทางต่างๆ ไม่แข็งแรงเพียงพอ มีการบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัดที่กฎหมายกำหนด และที่สำคัญวัสดุแอสฟัลต์ที่ใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพไม่ดีพอ ขาดความยืดหยุ่นและความแข็งแกร่ง ส่วนการเสียหายของผิวทางที่แตกร้าวเนื่องจากความล้า มักเกิดจากการรับน้ำหนักบรรทุกในลักษณะซ้ำซาก และวัสดุผิวทางมีคุณภาพที่ไม่ดีพอ อีกทั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับออกซิเจนเมื่อผิวทางผ่านการใช้งาน (Aging) มาระยะหนึ่ง ทำให้ผิวทางมีความแข็งเปราะมากขึ้น ขาดความ ยืดหยุ่นทำให้เกิดการแตกร้าวได้

2.6 การปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

การปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในปัจจุบันมีหลายวิธีดังนี้

การปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้วัสดุเชื่อมประสาน เกรด 60-70 เพื่อให้มีความต้านทานการเสียรูปอย่างถาวร (Permanent Deformation) และทนทานต่อความเสียหายการแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue Cracking) และการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature cracking) โดยการผสมเส้นใยเสริมกำลัง (Fiber Reinforced) เข้าไปในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เส้นใยเสริมกำลังเป็นการผสมผสานกันระหว่างเส้นใยของโพลีโอลิฟิน (Polyolefin fibers) และเส้นใยอะรามิด (Aramid fibers)การใช้เส้นใยเสริมกำลังผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นกระบวนการหนึ่งของการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความต้านทานแรงดึง ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ลดแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue cracking) ลดความเสียหายจากผิวทางเป็นร่องล้อ (Rutting) อีกทั้งยังช่วยพัฒนาค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าการไหล (Flow) เป็นผลทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

การศึกษาที่ผ่านมาด้านการเกิดร่องล้อทั้งในประเทศและต่างประเทศล้วนมีการศึกษากันมาอย่างช้านาน แต่ประเทศไทยการศึกษานี้ยังคงมีข้อกำจัดอยู่หลายด้านๆ ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศมีการศึกษาต่างๆ ได้ดังนี้

Xiao-di and Walubita (2011) พบว่าการออกตัวหรือการเร่งความเร็วของรถไม่มีผลต่อการเกิดร่องล้อบนผิวจราจรช่วงขึ้นทางลาดชันหรือบริเวณทางแยก แต่ในทางกลับกัน การชะลอความเร็วเพื่อหยุดรถหรือจอดรอสัญญาณไฟก่อให้เกิดความเครียดแบบเฉือนในแนวราบ (Horizontal Shear Strain) อย่างมาก ซึ่งส่งผลให้ผิวทางปูดบวม (Shoving) และเสียรูปเป็นร่องล้อบริเวณทางแยกได้

Pirabarooban et al. (2003) ศึกษาประเมินการเกิดร่องล้อในวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตอาศัยแบบจำลองทาง Finite Element โดยพบว่าความเร็วของรถมีอิทธิพลต่อการเกิดร่องล้อ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนามาก จะมีโอกาสเกิดร่องล้อได้สูง โดยความสัมพันธ์มีแนวโน้มการเกิดร่องล้อลดลงเมื่อความเร็วสูง ในทางกลับกันแนวโน้มการเกิดร่องล้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลดลง

Wang and Al-Qadi (2010) ศึกษาการเกิดร่องล้อและการปูดบวมบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีสาเหตุเกิดจากรถที่วิ่งด้วยความเร็วต่ำและขณะที่รถชะลอความเร็ว โดยค่าอัตราการทำลาย (Damage Factor) ขณะที่รถชะลอความเร็วอาจสูงถึง 8-32 เท่าเมื่อเทียบกับสภาพการใช้งานปกติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต นอกจากนี้ขณะที่รถชะลอความเร็วยังเพิ่มโอกาสการเกิดร่องล้อหรือการปูดบวมบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประมาณ 2.0 ถึง 2.6 เท่าเนื่องจากความเครียดแบบเฉือนบนผิวทางเพิ่มขึ้น

Dong et al. (2010) พบว่าการกระจายของหน่วยแรงภายในโครงสร้างชั้นทาง ช่วงการออกตัวและการชะลอความเร็วเพื่อจอดรอสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก มีความแตกต่างไปจากสภาพการใช้งานปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระจายตัวและขนาดของหน่วยแรงเฉือนสูงสุดและหน่วยแรงเฉือนในแนวราบภายใต้น้ำหนักบรรทุก ส่งผลให้เกิดการเสียรูปและวิบัติแบบแรงเฉือน โดยในสภาวะดังกล่าวโครงสร้างชั้นทางจะแสดงพฤติกรรมหรือคุณลักษณะที่ส่งผลให้เกิดร่องล้อบนผิวจราจร

2.6.1 การศึกษาปรับปรุงสมรรถนะของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยการเปลี่ยนชนิดยาง

2.6.1.1 ความเป็นมาของแอสฟัลต์

แอสฟัลต์ หรือบิทูเมน หรือ บิทูมินัส เป็นสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมดิบ มีสภาพกึ่งแข็งและกึ่งเหนียวค่อนข้างแข็งที่อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อให้ความร้อนจะมีลักษณะอ่อนและไหลได้และเมื่อนำมาผสมกับมวลรวมที่สถานะของเหลวแล้วปล่อยให้เย็นลงจะมีลักษณะแข็งและยึดมวลรวมไว้ด้วยกันซึ่งนิยมใช้เป็นวัสดุปูผิวทาง(Paving Materials)แอสฟัลต์มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานทางวิศวกรรมดีเป็นพิเศษ เพราะมีความแข็งแรงคงทน ยึดเกาะและกันน้ำได้ดี เนื่องจากแอสฟัลต์มีความเหนียวหนืดจึงยึดเกาะกับมวลรวมได้ดี นอกเหนือจากนั้นยังมีความคงทนต่อปฏิกิริยากับกรดด่าง และเกลือ ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิปกติแอสฟัลต์จะมีสถานะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็งแต่จะมีสถานะเป็น ของเหลวเมื่อได้รับความร้อนสูง และสามารถละลายได้ในสารทำละลายปิโตรเลียม หรือปนกับน้ำเมื่อเติมสารอิมัลซิฟายอิง-เอเจนต์ทำให้อยู่ในรูปของเหลวแบบอิมัลชั่น

ตามประวัติศาสตร์การนำแอสฟัลต์มาใช้ในงานทางเป็นครั้งแรก เกิดขึ้นในปี ค.ศ.1802 โดยชาวฝรั่งเศสใช้แอสฟัลต์หินเป็นแอสฟัลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมาทำเป็นทางเดินเท้า เมื่อถึงปี ค.ศ.1838 พบว่ามีการใช้ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ฟิลาเดลเฟีย จากนั้นในปี ค.ศ.1870 มีการนำแอสฟัลต์มาใช้ในการก่อสร้างผิวทางเป็นครั้งแรกในเมืองนิวอาร์ค รัฐนิวเจอร์ซีย์ ต่อมาในปี ค.ศ.1876 ได้ใช้แผ่นแอสฟัลต์ทำจากแอสฟัลต์ผสมทรายละเอียดเป็นวัสดุก่อสร้างผิวทางในกรุงวอชิงตันดีซีในที่สุดปี ค.ศ.1902 ได้เริ่มมีการกลั่นแอสฟัลต์ปิโตรเลียมซึ่งนำไปสู่การพัฒนาทางอุตสาหกรรมวัสดุแอสฟัลต์สำหรับปูผิวทาง และมีการใช้แอสฟัสต์กันอย่างแพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกา

2.6.1.2 ประเภทของยางแอสฟัลต์ (Asphalts Classification)

ยางแอสฟัลต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิดเหมาะสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1.ยางแอสฟัลต์ที่ได้มาเองตามธรรมชาติ (Native Asphalt)

2. ยางแอสฟัลต์ที่ได้มาจากกระบวนการผลิตน้ำมัน (Manufactured Asphalt) แต่ถ้าแยกตามคุณสมบัติทางกายภาพของยาง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ และ แอสฟัลต์เหลว

2.6.1.3 ผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ที่ใช้ในการก่อสร้างทาง มีดังนี้

1. แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยมีการผลิตเป็นเกรดของความหนืดต่างกัน เกรดที่ใช้กันมากคือ AC-2.5 AC-5 AC-10 AC-20 และ AC-40 ซึ่งสอดคล้องกับเกรดเพนิเทรชัน 200-300 120-150 85-100 60-70 และ 40-50 ตามลำดับ เกรดของความหนืด เป็นความหนืดที่วัดในหน่วย 1 ใน 100 ส่วนของพอยส์ +-20% ที่อุณหภูมิ 60C ตัวอย่างเช่น AC2.5 จะมีค่าความหนืดเป็น 250 พอยส์ +-50 และ AC40 จะมีค่าความหนืดเป็น 4000 พอยส์ +-800 การนำแอสฟัลต์ซีเมนต์มาใช้งานโดยการหลอมด้วยความร้อนก่อนที่จะนำไปผสมกับมวลรวม เมื่อเย็นลงแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งเหลวจะค่อยๆ แข็งตัวมีสถานะค่อนข้างแข็งที่อุณหภูมิปกติก็จะได้วัสดุปูผิวทาง

2. คัทแบคแอสฟัลต์ (Cutback Asphalt) หรือแอสฟัลต์เหลว เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับตัวทำละลาย (Solvent) เพื่อลดความหนืด ซึ่งจะทำให้การใช้งานง่ายขึ้นที่อุณหภูมิปกติ เมื่อตัวทำละลายระเหยไปจะเหลือแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์ ในปัจจุบันแนวโน้มการใช้คัทแบคแอสฟัลต์ลดลง เนื่องจากน้ำมันซึ่งเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการผลิตแอสฟัลต์ซีเมนต์ราคาค่อนข้างสูง และเมื่อน้ำมันระเหยออกไปจะมีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมด้วย การแบ่งคัทแบคแอสฟัลต์จึงสามารถแบ่งตามอัตราความเร็วของการระเหยได้ 3 ชนิดคือ

1. ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid-curing) เรียกย่อๆว่า RC ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็ว (light diluents of high volatility) ได้แก่ น้ำมันเบนซิน (gasoline) หรือ แนพธา (naphtha)

2. ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง (Medium-curing) เรียกย่อๆว่า MC ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็วปานกลาง (medium diluent of intermediate volatility) ได้แก่ น้ำมันก๊าด

3. ชนิดแข็งตัวช้า (Slow-curing) เรียกย่อๆว่า SC1 MC ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำมันที่ระเหยช้า (oil of low volatility) หรืออาจจะได้จากการกลั่นโดยตรง บางครั้งคัทแบคแอสฟัลต์ชนิด SC ก็เรียกกันว่า โรด-ออยล์ (Road-oils)

3. แอสฟัลต์อิมัลชัน (Asphalt Emulsion) เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำ แต่เนื่องจากองค์ประกอบทั้งสองไม่สามารถรวมกันได้โดยตรง จะต้องมีการเติมสารอิมัลชัน (Emulsifying Agent) ซึ่งเป็นชนิดหนึ่งของสบู่ ลงไปในส่วนผสมของอิมัลชันซิไฟด์อิงเอเจนต์จะ

ทำให้แอสฟัลต์ มีการแตกตัว (Break) ออก และกระจายอยู่ในรูปของหยด (Droplets) ที่มีขนาดเล็กมากในน้ำ เมื่อใช้งานอนุภาคของแอสฟัลต์จะรวมตัวกันแยกออกจากน้ำและทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุมวลรวมส่วนน้ำระเหยออกไปแอสฟัลต์อิมัลชันมีการผลิตเป็น 2 ประเภท ขึ้นกับชนิดของสารอิมัลชันซิไฟด์ที่ใช้ คือ

1. แคทไอออนิกอิมัลชัน (Cationic Emulsion) อนุภาคของแอสฟัลต์มีประจุบวก ซึ่งจะใช้งานได้ดีกับวัสดุมวลรวมที่เปียกและในสภาพอากาศที่หนาวเย็น

2. แอนไอออนิกอิมัลชัน (Anionic Emulsion) อนุภาคของแอสฟัลต์เป็นประจุลบ ซึ่งจะมีการเกาะติดกับอนุภาคของวัสดุมวลรวมที่มีประจุบวกได้ดี เช่น ซิลิกา

4. พอลิเมอร์ มอดิไฟด์ แอสฟัลต์ (Polymer Modify Asphalt) เป็นเทคนิคที่นำสารประเภทพอลิเมอร์มาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น

นภัสรพี อนันตชัยพงศ์ และคณะ (2552) ศึกษาการทดสอบผลทดสอบหาค่าเสถียรภาพและค่าการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงและพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมี ค่าเสถียรภาพสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 ตามลำดับ ส่วนดัชนีความแข็งแรง ชนิดของยางทั้ง 3 มีผลใกล้เคียงกันคือเกินค่ามาตรฐานที่ 80% (ข้อกำหนดทางหลวงไม่น้อยกว่า 75%) ดังนั้นผิวทาง PMAให้ผลต่อการต้านทางร่องล้อได้ดีกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 40/50 และ แอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 60/70 ตามลำดับ

ทวิช ชอบพานิช (2552) ศึกษาหาคุณสมบัติของวัสดุงานทางแบบมาตรฐานซูเปอร์เพฟเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60/70 เกรด 40/50 และโพลิ เมอร์โมดิฟายน์แอสฟัลต์ (PMA) ในการต้านทานการเกิดร่องล้อซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปอย่างถาวรและการแตกร้าวเนื่องจากความล้า พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 60/70 มีความต้านทานการเกิดร่องล้อต่ำที่สุดและแอสฟัลต์คอนกรีต เกรด 40/50 มีความต้านทานการเกิดร่องล้อสูงที่สุดเมื่อทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ แต่ PMA จะมีความต้านทานการเกิดร่องล้อสูงที่สุดเมื่อทดสอบที่อุณหภูมิสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบ Dynamic Creep Test

กฤษณะ จันทรโชติ (2551) ศึกษาการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมที่ 5 อุณหภูมิพบว่าโดยทั่วไปแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 ตามลำดับ สำหรับการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 5 อุณหภูมิพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA ที่

อุณหภูมิ 5-35 องศาเซลเซียส แต่ที่ อุณหภูมิ50-60 องศาเซลเซียสแอสฟัลต์ คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าในขณะที่แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวต่ำสุดและผลจากการทดสอบ Dynamic Creep test ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 จะเริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวรเร็วกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50และ PMA ในทุกอุณหภูมิ

2.6.2 การเติมวัสดุผสมแทรก (Minaral Filler) ผิวทางแบบ Fiber Reinforced Polymer

โดยทั่วไปแล้วจุดประสงค์หลักของวัสดุผสมแทรกนั้นคือ ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเช่นแทนที่ช่องว่างในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น รวมทั้งความหนาแน่น (Density) สูงขึ้น ทำให้เสถียรภาพ กำลังรับน้ำหนักของแอสฟัลต์คอนกรีตสูงขึ้น สามารถต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดีขึ้น

Haas et al. (2004) ได้ให้นิยามสารเพิ่มคุณภาพในแอสฟัลต์ซีเมนต์ ว่าเป็นวัสดุที่เพิ่มหรือผสมกับแอสฟัลต์ก่อนที่จะนำไปเป็นวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติหรือยืดอายุการใช้งานตลอดจนการนำมาใช้ใหม่ได้

สารเพิ่มคุณภาพส่วนมากเป็นพวกโพลิเมอร์ (Polymer) เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โมเลกุลเหล่านี้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กัน (Repeating Unit) เป็นจำนวนมาก จุดมุ่งหมายของการปรับปรุงวัสดุเชื่อมประสาน หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยโพลิเมอร์ก็เพื่อเพิ่มกำลังการยึดเกาะที่อุณหภูมิสูงๆ และเพิ่มความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ โดยสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้มีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ประกอบรวมกันเป็นแอสฟัลต์คอนกรีตโพลีเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ ที่ใส่เข้าไปในแอสฟัลต์เพื่อการปรับปรุงคุณภาพต่างก็มีขบวนการมาจากปฏิกิริยาการเตรียมโพลีเมอร์จากโมโนเมอร์ เรียกว่าโพลีเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization) และแบ่งประเภทของโพลีเมอร์เป็นกลุ่มๆ ดังนี้

1. Thermoplastic มีคุณลักษณะอ่อนนุ่มเมื่อได้รับความร้อนและแข็งตัวเมื่อได้รับความเย็น มีคุณสมบัติความหนืด และเพิ่มความแข็งให้แก่แอสฟัลต์ที่อุณหภูมิใช้งานปกติ

2. Rubbers มีคุณลักษณะเมื่อใช้กับแอสฟัลต์จะมีผลในการเพิ่มความหนืดให้กับแอสฟัลต์ Rubbers บางชนิดมีสถานะของ Vulcanized เช่น เศษยางรถยนต์เก่า ซึ่งยากต่อการทำลายในแอสฟัลต์ ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากหรือใช้เวลาที่นาน

3. Thermosetting Resins มีส่วนประกอบของสาร 2 ชนิด คือ Epoxy resins และแอสฟัลต์ แต่แสดงคุณลักษณะไปทาง Thermosetting Resins มากกว่าแอสฟัลต์ มีคุณสมบัติเป็นวัสดุเคลือบถนน มีความยึดเกาะเหนียวแน่น ต่อต้านน้ำมัน และมีเสถียรภาพสูง

4. Thermoplastic Rubber (TR) จะมีการแสดงพฤติกรรมของ Thermoplasticระหว่างขบวนการให้ความร้อน และจะมีลักษณะเป็น Vulcanized Rubber ที่อุณหภูมิปกติ

จากการรวบรวมข้อมูลการศึกษาที่ผ่านของการแก้ไขปัญหาร่องล้อได้มีการศึกษาและทดสอบวัสดุผสมแทรกหลายชนิด ดังนั้นจึงสามารถนำมาสรุปการศึกษาที่ผ่านมาด้านร่องล้อกับการผสมวัสดุได้ดังนี้

1. กิลโซไนท์ (Gilsonite)

สารปรับปรุงคุณภาพที่มีชื่อ ทางการค้า “Gilsonite” ซึ่งเป็นสารเพิ่มคุณภาพประเภท Thermoplastic ซึ่งเตรียมและผลิตขึ้นโดย American Gilsonite Company Salt Lake City, Utah, U.S.A.ได้สรุปถึงความสามารถของสาร Gilsonite ในด้านต่าง ในแอสฟัลต์ดังนี้

- สามารถลดการเป็นร่องและการปูดของผิวทาง
- ทำให้แอสฟัลต์แข็งขึ้น และมีเสถียรภาพสูงขึ้น
- เพิ่มการยึดเกาะต่อมวลรวมและลดการหลุดลอก
- ลดความไวต่ออุณหภูมิ
- มีความยืดหยุ่นเมื่อเป็นตัวประสาน
- เพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก
- เพิ่มความสามารถในการเคลือบวัสดุมวลรวม

ผลการใช้กิลโซไนท์ผสมในแอสฟัลต์และใช้งานในต่างประเทศ ซึ่งมีการใช้งานกันมาเป็นเวลานาน ตั้งแต่ ค.ศ. 1970 โดยนำไปใช้แก้ปัญหาการเกิดร่องล้อในบริเวณต่างๆ กิลโซไนท์ ถูกนำมาใช้ปรับปรุงบริเวณที่มีการรับน้ำหนักมาก ซึ่งมีน้ำหนักกระทำจากรถบรรทุกขนาดหนักที่ขนย้ายตู้สินค้าโดยได้ผสมกิลโซไนท์ในแอสฟัลต์เกรด 60/70 ปริมาณร้อยละ 8 โดยสามารถทำให้ค่าเพนิเทรชั่น (Penetration) ลดลงเหลือ 40 และให้ค่าเสถียรภาพมากกว่าการใช้แอสฟัลต์ปกติ โดยใช้ปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสม 5.2 เปอร์เซ็นต์ โดยผิวทางทำเป็น 2 ชั้น และมีความหนาชั้นละ 6 เซนติเมตร ผลการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี ยังไม่เกิดความเสียหายกับผิวทางมีการนำกิลโซไนท์มาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาความเสียหายของถนนที่เกิดการเป็นร่องล้อโดยการผสมกิลโซไนท์ในแอสฟัลต์ เกรด 60/70 ในสัดส่วน 5.0% ทำให้แอสฟัลต์มีค่าเพนิเทรชั่นจะลดเหลือเพียง 40-50 หลังจากการก่อสร้างและเปิดให้มีการใช้งาน ผลการใช้งานที่ตรวจสอบเมื่อ 6 เดือน 12 เดือนและ 1 ปี ปรากฏว่าสามารถลดการเป็นร่องล้อของถนนจากรถบรรทุกน้ำหนักได้เนื่องจากถนนต้องรองรับปริมาณการจราจรที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งมีสัดส่วนของปริมาณรถบรรทุกสูงถึงร้อยละ 20 จึงได้มีการพัฒนาและเลือกใช้วัสดุหลายชนิดเพื่อพยายามลดการเสียรูป(Deformation) การปูดบวมและการ

เป็นร่องล้อของถนนในบริเวณที่มีความเสียหายมาก ได้แก่ บริเวณทางแยก ซึ่งรถต้องมีการหยุดและออกตัว ทำให้ผิวทางปูดบวมและมีการเคลื่อนตัวที่ผิวทางเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ จึงได้นำกิลโซไนท์มาใช้โดยผสมลงในแอสฟัลต์ เกรด 60/70 ใช้กิลโซไนท์ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่าเพนิเทรชั่นลงเหลือ 40หลังจากการใช้งานสามารถลดการเกิดเป็นร่องล้อ การปูดบวม และการแตกร้าวที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีอายุการใช้งานของผิวทางยาวนานขึ้นจาก 18 – 24 เดือน เป็น 3 – 4 ปี

2. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

สำหรับสารเพิ่มคุณภาพโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) นั้นเป็นสารที่ข้นขาวโปร่งแสงซึ่งได้จากสารเอทิลีน มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.91 ถึง 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรLDPE มีการใช้อย่างกว้างขวางเพราะมีราคาไม่แพง ยืดหยุ่นได้ มีความทนทานสูงและทนต่อสารเคมี LDPE ถูกใช้ทำเป็นขวด หีบห่ออาหาร และของเล่น(Al-Hadidy และ Tan, 1990) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ปรับปรุงด้วย LDPE แล้วพบว่ามีจุดอ่อนตัว (Softening Point) สูงขึ้น และมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากอากาศและความร้อนลดลง และมีความทนทานสูงขึ้นกว่าแอสฟัลต์ทั่วไป ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงด้วย LDPE จะมีค่าเสถียรภาพของมาร์แชล (Marshall Stability) กำลังรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) และกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ที่ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป (Bayomy และ Carraux, 1994) ได้ศึกษาพฤติกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงด้วย LDPE โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยการผสม LDPE ทั้งในแอสฟัลต์ และในแอสฟัลต์คอนกรีต ผลการทดสอบพบว่าแอสฟัลต์ที่ผสม LDPE จะมีความหนืด (viscosity) เพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่วนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสม LDPE ซึ่งทำโดยการผสม LDPE กับมวลรวม (Aggregate) ที่ทำให้ร้อนก่อนแล้วจึงผสมแอสฟัลต์เข้าไปนั้น จะมีคุณสมบัติความต้านทานความล้าและความต้านทานการเกิดร่องล้อที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของ LDPE ที่จะใช้ผสมแอสฟัลต์คอนกรีตนั้นอยู่ที่ร้อยละ 1 – 3 โดยน้ำหนักของมวลรวม (Little, 2009) ได้ศึกษาการผสมสาร LDPE เข้าไปในแอสฟัลต์เพื่อใช้ผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่เรียกว่า Novophalt ที่มีความความต้านทานการเสียรูปถาวรที่อุณหภูมิใช้งานสูงๆ ผลการศึกษาพบว่าแอสฟัลต์ที่ผสม LDPE จะมีความหนืดสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความต้านทานแรงเฉือนและความต้านทานการยุบตัว (Creep Deformation) สูงขึ้น

3. เถ้าลอย (Fly Ash) และปูนซีเมนต์

เถ้าลอยและปูนซีเมนต์ได้มีการใช้มาตั้งแต่สมัยโบราณ เป็นวัสดุผสมแทรกในชั้นรองพื้นทาง (Binder) ซึ่งมีคุณลักษณะช่วยต้านต้านการความชื้นได้เป็นอย่างดีและช่วยในการลดช่องว่าง (Void) มีรายงานการศึกษาพบว่าเถ้าลอยสามารถเป็นตัวผสมเพิ่มของแอสฟัลต์ได้เป็นอย่างดี

การศึกษาที่ผ่านมาในต่างประเทศ พบว่าการกระจายตัวของขนาดคละ (Gradation) จะขึ้นอยู่กับการเก็บและวัสดุที่ใช้เก็บ ส่วนใหญ่ข้อมูลที่เก็บได้ จากโรงไฟฟ้าจะมีขนาดเล็กมาก น้อยกว่า 1.5 ไมโครโดยทั่วไปแล้วรูปร่างของเถ้าลอยจะมีลักษณะกลมและมีขนาดอยู่ที่ประมาณ 0.5–100 ไมโคร แต่อย่างไรก็ตามยังมีเศษเล็กๆ น้อยๆ ที่มีรูปร่างขนาดไม่สม่ำเสมอ แต่โดยทั่วไปรูปร่างจะเป็นลักษณะกลมที่มีผิวขรุขระ คุณสมบัติของเถ้าลอยไม่แตกต่างกับTrinidad Asphalt's mineral filler จากการศึกษาพบว่าเถ้าลอยสามารถใช้แทนหินปูนฝุ่นได้การเปรียบเทียบเสถียรภาพของเถ้าลอยกับฝุ่นหินปูน ถ้าใช้ปริมาณที่เท่ากันตามน้ำหนัก พบว่าสามารถลดช่องว่างได้เทียบเท่าฝุ่นหินปูน ความคงทนและความแข็งแรงของแอสฟัลต์ผสมที่มีเถ้าลอย เมื่อถูกนำไปแช่น้ำพบว่ายังคงมีความคงทนเทียบเท่ากันหรือดีกว่าวัสดุผสมแทรกชนิดอื่นๆจากการศึกษาพบว่าถ้าหากเพิ่มปริมาณเถ้าลอย 6% ตามน้ำหนักของขนาดคละ จะส่งผลให้กำลังของแอสฟัลต์คอนกรีตเพิ่มขึ้นในปริมาณเถ้าลอยที่เท่ากันที่ผสมในแอสฟัลต์ ส่วนปริมาณเถ้าลอยที่ผสมในแอสฟัลต์จะมีปริมาณที่น้อยกว่าและค่า VMA ปริมาณที่ใช้ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือปูนขาวการใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมแทรก พบว่าเป็นผลดีของคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมแทรก ถ้าหากใช้ถึง 30 % ของปริมาณแอสฟัลต์สามารถนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดี และยังช่วยลดความฝืดในเนื้อยาง ถ้าพิจารณาเถ้าลอยที่มีความละเอียดมาก (ผ่านตะแกรงเบอร์ 325) และเถ้าลอยกลาง (ผ่านตะแกรงเบอร์ 270) ส่งผลให้แอสฟัลต์เพิ่มสามารถทางด้านความหนืด (Viscosity) เมื่อเทียบกับเถ้าลอยที่มีขนาดหยาบ(ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) แนวโน้ม ความลึกร่องล้อลดลงเมื่อปริมาณความละเอียดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเปรียบเทียบกับเถ้าลอยที่หยาบ จะไม่มีผลต่อการเกิดร่องล้อที่มากเนื่องจากชั้นพื้นทาง (Base) เป็นหินขนาดใหญ่ ไม่มีผลต่อการขัดกัน (Interlocking) ของหินกันเท่าที่ควรเถ้าลอยขนาด 1-44 ไมโคร เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดที่จะแทนที่ส่วนผสมที่มีขนาดใหญ่ที่ทำให้เกิดช่องว่างมากในมวลรวม โดยจะมีแนวโน้มที่ทำให้แอสฟัลต์แข็งขึ้น และส่งผลถึงความสามารถการทำงาน (Workability) ที่ต่ำ จะทำให้ปริมาณช่องว่างของอากาศเพิ่มมากขึ้นหลังจากการบดอัดในกรณีที่ปริมาณแอสฟัลต์เท่ากัน ขนาดคละเดียวกัน และการเปลี่ยนขนาดคละของเถ้าลอยที่แตกต่างกันส่งผลที่เหมือนกันในเรื่องความต้านทานความชื้นยกเว้นที่มีการเติมในปริมาณมาก จะทำให้แอสฟัลต์แข็งขึ้นและแตกได้ง่ายเมื่อเย็นตัวลง

Ali et al. (1996) ได้ศึกษาการใส่เถ้าลอย 2% ของน้ำหนักมวลรวม พบว่าเถ้าลอยไม่เพียงแต่ทำให้ยางแอสฟัลต์แข็งขึ้นแต่ยังให้ความแข็งแกร่งและป้องกันการลอกของยางได้ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาในเรื่องการทำงานในหน้างานและเรื่องความตึง ความเครียดของยางแอสฟัลต์ต่อมาได้มีการศึกษานำปูนซีเมนต์เป็นวัสดุผสมแทรกในมวลรวม และผลการทดสอบพบว่าให้ผลดี

ต่อการต้านทานความชื้นของ HMA อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของปูนขาว ที่ไม่ค่อยนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้น ซึ่งปัจจุบันใช้ได้กันควบคู่กันไปซึ่งทำให้มีความต้านทานความชื้น ใน HMA

Oruc et al. (2007) ได้ศึกษาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใส่เพิ่มโดยการเปลี่ยนแปลงร้อยละตั้งแต่ 0-6% พบว่า HMA ที่ไม่มีวัสดุผสมแทรกทิ้งไว้เป็นเวลา 6 ชม. มีความเสียหายมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์

Hao and Liu (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการเพิ่มเถ้าลอย, ปูนขาว, ปูนซีเมนต์และน้ำยาต้านการลอก 1% ของน้ำหนักมวลรวม โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติของขนาดคละที่แตกต่างกัน พบว่าหินแกรนิตทำให้เกิดร่องล้อมากที่สุด และผลชี้ชัดว่าการผสมปูนขาวจะให้ผลดีที่สุดในการต้านทานร่องล้อรองลงมาเป็นปูนซีเมนต์ส่วนด้านการต้านทานความชื้นเถ้าลอยและปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการป้องกันดังกล่าวผลการศึกษาและเปรียบเทียบของวัสดุผสมแทรกชนิดต่างๆ สามารถสรุป ได้ดังนี้

- แอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมวัสดุผสมแทรกจะเกิดร่องล้อได้มากขึ้นถ้าหากเพิ่มปริมาณฝุ่นหินปูน, ฝุ่นปูนขาว และปูนซีเมนต์ตามลำดับ

- ส่วนผสมที่ผสมฝุ่นปูนขาวจะทำให้เกิดปริมาณช่องว่างของอากาศมากขึ้นและยังลดความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตมากกว่าการใส่ปูนซีเมนต์เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของฝุ่นปูนขาวที่ผสมกับวัสดุมวลรวมมากกว่าผสมกับปูนซีเมนต์

- ในการใส่วัสดุผสมแทรกทั้งปูนขาว, ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยควรจะอยู่ในช่วง 3– 5.5 % ของน้ำหนักมวลรวม และไม่ควรเกิน 5.5% เนื่องจากจะส่งผลเสียในด้านเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตและด้านอื่นๆ การเพิ่มปริมาณวัสดุผสมแทรกที่มากขึ้นจะทำให้การเกิดร่องล้อที่มากขึ้น ส่วนปูนซีเมนต์ให้ผลการเกิดร่องล้อน้อยที่สุด รองลงมาเป็นฝุ่นหินปูนและปูนขาวตามลำดับ

- ในการใช้วัสดุผสมแทรกไม่ควรใส่วัสดุผสมแทรกหลายๆชนิด เข้าไปผสมกับแอสฟัลต์คอนกรีต จะส่งผลให้ค่าโมดูลัสของวัสดุลดลงควรจะเลือกวัสดุผสมแทรกอย่างใดอย่างหนึ่ง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

ตัวอย่างที่เตรียมจากงานวิจัยนี้จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม เสถียรภาพ และการไหล ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท.604/2517 ของกรมทางหลวง

3.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อนำไปออกแบบส่วนผสม

3.1.1 วัสดุมวลรวม (aggregates)

วัสดุมวลรวมที่จะนำมาใช้ในงานแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วย มวลรวมหยาบ (coarse aggregate) มวลรวมละเอียด (fine aggregate) และวัสดุผสมแทรก (mineral filler) โดยที่วัสดุมวลรวมจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด และสามารถคำนวณหาอัตราส่วนผสมให้อยู่ในข้อกำหนดของแบบส่วนผสมได้ ขนาดคละ (gradation) ของวัสดุมวลรวมให้เป็นไปตามตารางที่ 3.1

(1) มวลรวมหยาบ หมายถึงส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ต้องเป็นวัสดุที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้ มีความแข็งและคงทน (hard and durable) สะอาด ปราศจากวัสดุไม่พึงประสงค์ใดๆ ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพด้อยลง

(2) มวลรวมละเอียด หมายถึงส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ที่สะอาดปราศจากวัสดุไม่พึงประสงค์ใดๆ ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพด้อยลง ในกรณีที่ไม่ได้ระบุเป็นอย่างอื่น มวลรวมละเอียดต้องมีค่า Sand Equivalent ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

(3) วัสดุผสมแทรก ใช้ผสมเพิ่มในกรณีที่ส่วนละเอียดในมวลรวมมีไม่พอ

ตารางที่ 3.1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
	(นิ้ว)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)
สำหรับชั้นทาง		Wearing Course	Wearing Course	Binder Course	Base Course
ความหนา	มิลลิเมตร	25 - 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	(นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
37.5	(1 1/2)				100
25.0	(1)			100	90 -100
19.0	(3/4)		100	90 - 100	-
12.5	(1/2)	100	80 - 100	-	56 - 80
9.5	(3/8)	90 - 100	-	56 - 80	-
4.75	(เบอร์ 4)	55 - 85	44 - 74	35 - 65	29 -59
2.36	(เบอร์ 8)	32 - 67	28 - 58	23 - 49	19 - 45
1.18	(เบอร์ 16)	-	-	-	-
0.600	(เบอร์ 30)	-	-	-	-
0.300	(เบอร์ 50)	7 - 23	5 - 21	5 - 19	5 - 17
0.150	(เบอร์ 100)	-	-	-	-
0.075	(เบอร์ 200)	2 - 10	2 - 10	2 - 8	1 - 7
ปริมาณแอสฟัลต์ ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0 – 8.0	3.0 – 7.0	3.0 – 6.5	3.0 – 6.0

ที่มา : ทล.-ม. 408/2532 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)”

ตารางที่ 3.2 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร		ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล
0.600	(เบอร์ 30)	100
0.300	(เบอร์ 50)	75 – 100
0.075	(เบอร์ 200)	55 – 100

ที่มา : ทล.-ม. 408/2532 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)”

การเก็บตัวอย่างวัสดุมวลรวมเริ่มต้นจากการเก็บตัวอย่างหิน Cold Bin ที่กอง stock pile ไว้ที่โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของบริษัท ถนอมวงศ์บริการ จำกัด ตั้งอยู่ที่ทางหลวงหมายเลข 305 สาย รังสิต – องครักษ์ กม. 22+000 ด้านขวาทาง 3.000 กิโลเมตร มวลรวมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ หินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็ก

หินปูน

- หินฝุ่น จากแหล่งโรงโม่ทัศนา ชลบุรี อ.เมือง จ.ชลบุรี
- หิน 3/8” จากแหล่งโรงโม่ทัศนา ชลบุรี อ.เมือง จ.ชลบุรี
- หิน 3/4” จากแหล่งโรงโม่ทัศนา ชลบุรี อ.เมือง จ.ชลบุรี
- หิน 1” จากแหล่งโรงโม่ทัศนา ชลบุรี อ.เมือง จ.ชลบุรี

หินแกรนิต

- หิน 3/8” จากแหล่งโรงโม่เทพศิลาแอกกริเกต อ.เมือง จ.ชลบุรี
- หิน 3/4” จากแหล่งโรงโม่เทพศิลาแอกกริเกต อ.เมือง จ.ชลบุรี
- หิน 1” จากแหล่งโรงโม่เทพศิลาแอกกริเกต อ.เมือง จ.ชลบุรี

ตะกรันเหล็ก

- หิน 3/8” จากแหล่งโรงโม่หินสยามสตีลมิลล์เซอร์วิส อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี
- หิน 3/4” จากแหล่งโรงโม่หินสยามสตีลมิลล์เซอร์วิส อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี
- หิน 1” จากแหล่งโรงโม่หินสยามสตีลมิลล์เซอร์วิส อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี

จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างหิน Hot Bin ซึ่งคือหิน Cold Bin ที่ผ่านการกระบวนการให้ความร้อนและแยกขนาดคละด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ จากโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บทีละ Bin จนครบ 4 Bin รวมทั้งวัสดุผสมแทรก โดยตัวอย่างหิน Hot Bin นี้จะนำไปทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวมและใช้สำหรับการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตต่อไป

3.1.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ เพนิเทรชัน เกรด 60/70 (AC 60/70) และโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์

(1) แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.851-2542 และมาตรฐานข้อกำหนดวัสดุกรมทางหลวง ที่ ทล.-ก. 401/2531 “Specification for Asphalt Cement” การเก็บตัวอย่างจะดำเนินการขณะถ่ายแอสฟัลต์ซีเมนต์จากรถบรรทุกลงถังเก็บ (Storage Tank) ที่โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต บริษัท ถนอมวงศ์บริการ จำกัด

(2) โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.851-2542 และมาตรฐานข้อกำหนดวัสดุกรมทางหลวง ที่ ทล.-ก. 408/2536 “Specification for Asphalt Cement” การเก็บตัวอย่างจะดำเนินการขณะถ่ายแอสฟัลต์ซีเมนต์จากรถบรรทุกลงถังเก็บ (storage tank) ที่โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต บริษัท ถนอมวงศ์บริการ จำกัด

3.2 การทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

3.2.1 วัสดุมวลรวม รายละเอียดการทดลองและผลการทดลองเป็นดังนี้

(1) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 203/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent” มวลรวมละเอียดต้องมีค่า Sand Equivalent ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent

1. เตรียม Stock Solution
   - นำสารละลาย Anhydrous Calcium Chloride 454 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1900 มล.
   - นำสารละลายที่ได้ไปกรองผ่านกระดาษกรองแบบ Rapid Filtering Paper หรือ Whatman No.12
   - เติม USP Glycerine 2050 กรัม และ Formaldehyde 47 กรัม ในสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 3.8 ลิตร
2. เตรียม Working Solution
   -นำ Stock Solution มา 85±5 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้สารละลาย 3.8 ลิตร
3. วิธีการทดสอบ
   - เติมสารละลาย Working Solution สูง 4.0±0.1 นิ้ว , ทำสองตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ย
   - นำตัวอย่างแห้งที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มาหนึ่งกระป๋องตวง
   - เทวัสดุใส่กระบอกตวงพลาสติก
   - เคาะไล่ฟองอากาศ

- ปล่อยวัสดุไว้โดยไม่รบกวน 10 นาที

- อุดปากกระบอกตวงพลาสติก เขย่าด้วยเครื่องเขย่ากล 45±1 วินาที หรือเขย่าด้วยมือ 90 รอบระยะ 228±25 มม. ภายใน 30 วินาที

- ใช้ Irrigater Tube ดันผ่านชั้นวัสดุ ให้ส่วนละเอียดลอยตัวขึ้นอยู่เหนือเม็ดหยาบ เติมสารละลาย ให้ถึงขีด 15

- ทิ้งไว้ 20 นาที โดยไม่รบกวน

- อ่านค่าระดับบนสุดที่ตกตะกอนแขวนลอย ได้ค่า Clay Reading

- นำ Weighted Foot Assembly ค่อยๆ หย่อนลงไป

- อ่านค่าระดับบนสุดลบด้วย 10 เป็นค่า Sand Reading

(2) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง” สำหรับวัสดุหิน Cold Bin และวัสดุหิน Hot Bin ของมวลรวมหยาบ และทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” สำหรับวัสดุหิน Cold Bin และวัสดุหิน Hot Bin ของมวลรวม ละเอียด

วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง ดังนี้

1. ถ้าวัสดุเปียกให้อบแห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส
2. คลุกเคล้าวัสดุในกระบะ
3. แบ่งวัสดุด้วยเครื่องแบ่ง
4. ชั่งหินแต่ละขนาดให้ได้น้ำหนัก ดังนี้

   หิน 1” น้ำหนักไม่น้อยกว่า 10 กิโลกรัม

   หิน 3/4” น้ำหนักไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม

   หิน 1/2” น้ำหนักไม่น้อยกว่า 2 กิโลกรัม

   หิน 3/8” น้ำหนักไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม
5. ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆ
6. นำวัสดุที่ค้างแต่ละตะแกรงมาชั่งน้ำหนัก

วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ดังนี้

1. ถ้าวัสดุเปียกให้อบแห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส
2. คลุกเคล้าวัสดุในกระบะ

3. แบ่งวัสดุด้วยเครื่องแบ่ง
4. ชั่งหิน #4 (หินฝุ่น) น้ำหนักไม่น้อยกว่า 0.5 กิโลกรัม
5. ล้างวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนที่ผ่านเบอร์ 200 ทิ้งไป
6. อบวัสดุส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 200
7. ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆ
8. นำวัสดุที่ค้างแต่ละตะแกรงมาชั่งน้ำหนัก
9. ทำสองตัวอย่างการทดสอบ

หลังจากทำการทดสอบ Sieve Analysis of Aggregate ทั้งวัสดุเม็ดหยาบ และเม็ดละเอียดแล้ว นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาทำการ Combination หา Mix Proportion ของหินทั้ง Hot Bin, Cold Bin

(3) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 207/2517 “วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ” สำหรับวัสดุหิน Hot Bin 2, Hot Bin 3 และ Hot Bin 4 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบด้วย และทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 209/2518 “วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด” สำหรับวัสดุหิน Hot Bin 1 จากนั้นทำการหาอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวม เมื่อรวมกันแล้วให้ได้ขนาดตามต้องการ (Blending)

วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ดังนี้

1. นำวัสดุขึ้นจากน้ำ คลึงและเช็ดวัสดุด้วยผ้า
2. เช็ดจนชั้นบางๆของน้ำ (Visible Film) ออกหมด เรียกว่า Saturated Surface Dry
3. ชั่งน้ำหนักสภาพ Saturated Surface Dry (B) ทันที
4. นำวัสดุแช่น้ำ
5. ชั่งน้ำหนักวัสดุในน้ำ (C)
6. อบวัสดุที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส จนแห้ง
7. ชั่งน้ำหนักวัสดุอบแห้ง (A)

วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด ดังนี้

การเตรียมการทดสอบ

1. ปรับเทียบหาน้ำหนัก Pycnometer เมื่อใส่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ โดยการใส่น้ำในขวด และนำไปต้ม และนำไปชั่งที่อุณหภูมิต่างๆเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนัก Pycnometer +น้ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ
2. เตรียมวัสดุ 2 ตัวอย่าง โดยร่อนแยกด้วยตะแกรงเบอร์ 200
   ตัวอย่างที่ 1 คือ ส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 200 น้ำหนักประมาณ 1000 กรัม
   ตัวอย่างที่ 2 คือ ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้ำหนักประมาณ 500 กรัม
   สำหรับตัวอย่างที่ 1 (ค้างตะแกรงเบอร์ 200) ต้องล้างทำความสะอาดก่อน
   สำหรับตัวอย่างที่ 2 (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ทำความสะอาดโดยวิธีต้มไล่คราบสกปรก
3. นำตัวอย่างทั้งสองแช่ในน้ำ 15±4 ชั่วโมง

วิธีการทดสอบ

1. ตัวอย่างที่ 1 (ค้างตะแกรงเบอร์ 200)

เกลี่ยตัวอย่างให้ค่อยๆแห้ง จนเกือบมีสภาพเคลื่อนไหวได้ง่าย (Free Flowing Condition) นำตัวอย่างใส่แบบโลหะอย่างหลวมๆจนเต็ม โดยตั้งแบบโลหะบนพื้นที่ไม่มีการดูดซึม ปล่อยแท่งโลหะตกทับวัสดุอย่างอิสระ ที่ความสูง 0.5 ซม. จำนวน 25 ครั้ง ทั่วแบบ ยกแบบโลหะขึ้น ถ้าตัวอย่างไม่ทะลาย แสดงว่าผิวยังเปียกอยู่ทำซ้ำ จนตัวอย่างเริ่มทะลาย ซึ่งจะได้วัสดุในสภาพ Saturated Surface Dry ใส่ตัวอย่างในขวด Pycnometer ทันที ชั่งน้ำหนักขวด+ตัวอย่างในสภาพ Saturated Surface Dry

2. ตัวอย่างที่ 2 (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ใส่ตัวอย่างในขวด Pycnometer

ตัวอย่างทั้งสองตัวอย่าง เติมน้ำใส่ขวดแล้วเพิ่มอุณหภูมิของ ขวด+ตัวอย่าง เขย่า หมุน ไล่ฟองอากาศออกจากขวดจนหมด ชั่งน้ำหนักและจดค่า น้ำหนักขวด+วัสดุ+น้ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ นำวัสดุออกจากขวด แล้วอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส จนแห้ง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว บันทึกค่า ทำความสะอาดเครื่องมือ และอุปกรณ์ หลังจากทำการทดสอบ Specific Gravity แล้ว นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาทำการหา Specific Gravity of Blend

(4) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 210/2518 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) สำหรับมวลรวมหยาบ” ค่าดัชนีความแบนต้องไม่เกินร้อยละ 35

วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) สำหรับมวลรวมหยาบ ดังนี้

นำวัสดุที่ได้จากวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง มาทำการทดลอง นำส่วนที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาด มาทำการลอดผ่านช่องความหนา จากนั่นนำไปชั่งน้ำหนัก

(5) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 211/2518 "วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) สำหรับมวลรวมหยาบ" ค่าดัชนีความยาวต้องไม่เกินร้อยละ 35

วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) สำหรับมวลรวมหยาบ ดังนี้

นำวัสดุที่ได้จากวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง มาทำการทดลอง นำส่วนที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาด มาทำการลอดผ่านช่องความยาว จากนั่นนำไปชั่งน้ำหนัก

(6) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202/2515 "วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ค่าความสึกหรอต้องไม่เกินร้อยละ 40 เป็นวิธีการทดลองประเภทการทดสอบทางกลสมบัติ (Mechanical Tests) เพื่อหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม การทดลองนำตัวอย่างทดลองและลูกเหล็กทรงกลมมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 46.8 มม. มีมวล 390-445 กรัม ใส่ลงในเครื่อง Los Angeles ซึ่งมีลักษณะเป็นโลหะรูปทรงกระบอกหมุนในแกนราบด้วยความเร็ว 30-35 รอบต่อนาที โดยจะหมุนให้ได้ 500 หรือ 1000 รอบ ขึ้นอยู่กับขนาดวัสดุ นำตัวอย่างมาล้างบนตะแกรงเบอร์ 12 ปริมาณร้อยละของส่วนละเอียดที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 12 เมื่อเทียบกับมวลเริ่มต้นเป็นค่า Abrasion Value ค่าขอบเขตที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาตามประเภทชนิดหินและปริมาณการจราจรได้

(7) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 213/2515 "วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยการใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ส่วนที่ไม่คงทนต้องไม่เกินร้อยละ 9 การเตรียมตัวอย่างมวลรวมละเอียด สำหรับมวลรวมละเอียดที่จะนำมาใช้ในการทดลองจะต้องผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ทั้งหมด นำมวลรวมมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ มวลที่ใช้ในการทดลอง แต่ละขนาดจะต้องไม่น้อยกว่า 100 กรัม การเตรียมตัวอย่างมวลรวมเม็ดหยาบ สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบที่จะนำมาใช้ในการทดลองจะต้องร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ออกให้หมด นำมวลรวมที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 มาร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ การทดลองนำมวลรวมไปอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส แช่ตัวอย่างลงในสารละลายโซเดียมซัลเฟต เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 18 ชั่วโมง ปิดฝาภาชนะที่ใส่ตัวอย่างทดลอง เพื่อลดการระเหยของสารละลาย และตลอดระยะเวลาที่แช่ตัวอย่างจะต้องควบคุมอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส หลังจากแช่แล้วเสร็จเอามวลรวมออกจากสารละลายปล่อยทิ้งไว้อีก 15 นาที และนำไปอบ 110±5 องศาเซลเซียส อบตัวอย่างจนมวลคงที่ จากนั่นนำออกมาชั่งทุกๆ 2-4

ชั่วโมง จนแน่ใจว่ามวลคงที่ ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่การแช่สารละลายจนครบ 5 รอบ จากนั่นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภิมิห้อง นำตัวอย่างมาล้างด้วยน้ำ ในระหว่างการล้างตัวอย่างต้องไม่ถูกกระแทรก จากนั่นนำตัวอย่างไปอบจนมีมวลคงที่ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปร่อนผ่านตะแกรงต่างๆ ชั่งมวลของตัวอย่างที่ค้างอยู่แต่ละชั้นตะแกรง

(8) ทดลอง Polished Stone Value (PSV) วิธีการทดลองหาความต้านการลื่นไถลของหินเมื่อถูกขัด ซึ่งเป็นประเภทการทดสอบทางกลสมบัติวัสดุมวลรวมหินผิวทาง ตามมาตรฐาน BS 812 : Part 114 : 1989 ตัวอย่างทดลองขนาด 7.94 – 9.52 มม. ที่มีผิวหน้าเรียบ รูปร่างเหลี่ยมหรือกลมไม่แบนยาว จะถูกหล่อติดกับปูนพาสเตอร์ในแบบหล่อขนาด 5x20 ซม. นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 7-14 วัน และนำไปติดตั้งในวงล้อหมุน ซึ่งถูกกดทับด้วยวงล้อยางที่ถ่วงน้ำหนัก 40 กก.ไว้ วงล้อหมุนเพื่อขัดตัวอย่างขณะที่ผงขัดและน้ำจะถูกลำเลียงใส่ตลอดเวลา ตัวอย่างที่ถูกขัดแล้วนำไปหาความต้านการลื่นไถล (Skid resistance) โดยเครื่องมือ Standard pendulum arc friction tester ซึ่งมีลักษณะเป็นแขนแกว่ง อ่านค่าสัมประสิทธิ์ความต้านการลื่นไถล เป็นค่า PSV. ค่า PSV. มีค่าสูงแสดงว่าเมื่อหินผ่านการขัดถูหินยังมีค่าความต้านการลื่นไถลมาก กรณีนำมาใช้เป็นวัสดุหินผิวทางจะมีความคงทนต่อการขัดถูโดยล้อยานพาหนะได้มาก ผิวจราจรมีความฝืดมาก ค่า PSV. ที่มากกว่า 50 ขึ้นไป ถือได้ว่าดีมีความเหมาะสมเป็นที่ยอมรับ หินโดยทั่วๆไปแล้วจะมีค่า PSV. ไม่เกิน 65

(9) ทดลอง Aggregate Crushing Value (ACV) วิธีการทดลองประเภทการทดสอบทางกลสมบัติ ตามมาตรฐาน BS 812 : Part 110 : 1990 เพื่อหาปริมาณการแตกหักของวัสดุมวลรวมเมื่อถูกแรงบด ตัวอย่างทดลองมีขนาดผ่านตะแกรง 12.25 มม. และค้างตะแกรงขนาด 9.52 มม. ประมาณ 2 กก. ที่บรรจุในกระบอกโลหะมาทำการทดลองด้วยแรงกดอย่างต่อเนื่องจนถึง 40.64 ตัน ในเวลา 10 นาที ปริมาณร้อยละของวัสดุมวลรวมที่แตกหักและมีขนาดเล็กกว่า 2.40 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับมวลวัสดุเริ่มต้นเป็นค่า ACV.

(10) ทดลอง Aggregate Impact Value (AIV) Aggregate impact value (AIV) วิธีการทดลองประเภทการทดสอบทางกลสมบัติ ตามมาตรฐาน BS 812 : Part 112 : 1990 เพื่อหาปริมาณการแตกหักของวัสดุมวลรวมเมื่อถูกแรงตกกระแทก ตัวอย่างทดลองมีขนาดผ่านตะแกรง 12.25 มม. และค้างตะแกรงขนาด 9.52 มม. บรรจุในถ้วยโลหะที่ติดตั้งอยู่ใต้ตุ้มโลหะมาตรฐานมวล 13.5 – 14.1 กก. ซึ่งถูกปล่อยให้ตกกระแทกวัสดุมวลรวมในแนวดิ่ง เป็นระยะทาง 380 $\pm$ 6.5 มม. จำนวน 15 ครั้ง ปริมาณร้อยละของวัสดุมวลรวมที่แตกหักและมีขนาดเล็กกว่า 2.40 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับมวลวัสดุเริ่มต้น เป็นค่า AIV. ค่า AIV. เป็นการตรวจวัดประเมินหาค่าความต้านทานการแตกหักลงเป็นเม็ดขนาดเล็กของวัสดุมวลรวมที่จะเกิดขึ้นทั้งในขณะก่อสร้างและเมื่อรับน้ำหนักจากยานพาหนะตลอดช่วงอายุการใช้งาน

3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 2 ชนิด ออกแบบตามมาตรฐานวิธีการทดลองกรมทางหลวง ที่ ทล.-ท. 604/2517 "วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall" โดยใช้วัสดุมวลรวมหิน Hot Bin และวัสดุผสมแทรกที่ผ่านการทดลองหาคุณสมบัติตามข้อ 3.2 แล้วใช้ Mix Proportion ในการจัดสัดส่วนหินแต่ละ Bin ให้มีน้ำหนักรวม 1,200 กรัม ต่อ 1 ก้อนตัวอย่าง ให้อยู่ในการออกแบบขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับชั้นรองผิวทาง ดังตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

ชั้นทาง	Wearing Course		Binder Course	Base Course	Shoulder
	9.5 mm.	12.5 mm.			
Number of Blows (Each End)	75	75	75	75	50
Stability N Min.	8006	8006	8006	7117	7117
(lb) Min.	(1800)	(1800)	(1800)	(1600)	(1600)
Flow 0.25 mm. (0.01 in.)	8 - 16	8 - 16	8 - 16	8 - 16	8 - 16
Air Voids (%)	3 - 5	3 - 5	3 - 6	3 - 6	3 - 5
Void in Mineral Aggregate (%) (VMA) Min.	15	14	13	12	14
Stability / Flow Min.					
N / 0.25 mm.	712	712	712	645	645
(lb / 0.01 in.)	(160)	(160)	(160)	(145)	(145)
Strength Index (%) Min.	75	75	75	75	75

ที่มา : ทล.-ม. 408/2532 "มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)"

วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall ดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำวัสดุ Hot Bin ที่ได้ทดสอบไปก่อนหน้านี้ ซึ่งจะได้ค่า ดังนี้

- ขนาดวัสดุชนิดเม็ดหยาบ
- ขนาดวัสดุชนิดเม็ดละเอียด
- ความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบ
- ความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด

ทดสอบจัดสัดส่วนวัสดุมวลรวมตาม (Proportion) Hot Bin 1:2:3:4 (หิน3/8":หิน1/2":หิน 3/4":หิน1") โดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ 5% ของน้ำหนักก้อนตัวอย่าง คือ ก้อนละ 1200 กรัม เตรียมวัสดุตามสัดส่วน จำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1200 กรัม อบตัวอย่างให้มีอุณหภูมิ 160±5 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนแอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้มีอุณหภูมิ 159±5ºC ให้ความร้อนกับแบบสำหรับบดทับและค้อน ด้วย Hot Plate ที่มีอุณหภูมิ 100ºC

2. วิธีการทดลอง

ผสมตัวอย่างกับยางแอสฟัลต์ เทตัวอย่างใส่แบบ ใช้ spatula แซะ ด้านข้าง 15 ครั้ง และตรงกลาง 10 ครั้งปล่อยตัวอย่างให้มีอุณหภูมิ 145±5 องศาเซลเซียส บดทับตัวอย่างด้านละ 75 ครั้ง ปล่อยตัวอย่างให้เย็นลงตามอุณหภูมิห้อง ดันตัวอย่างที่บดทับออกจากแบบ การหาความแน่นของตัวอย่าง ชั่งตัวอย่างหาน้ำหนักในอากาศ นำตัวอย่างแช่น้ำ 5 นาที แล้วเช็ดให้ผิวแห้ง ชั่งน้ำหนักสภาพผิวแห้ง ชั่งตัวอย่างหาน้ำหนักในน้ำ

3. การหาค่า Stability และ Flow

นำก้อนตัวอย่างแช่น้ำ ที่อุณหภูมิ 60±10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างมาทดสอบหาค่า Stability และ Flow

3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต

การทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ใช้ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูงประมาณ 2.5 นิ้ว จำนวน 400 ก้อนตัวอย่าง โดยจะทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม เสถียรภาพ และการไหล

3.4.1 การทดสอบหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อหาค่ากำลังต้านทานต่อการหลุดลอกของส่วนผสมแอสฟัลต์

คอนกรีต โดยคำนวณเป็นร้อยละจากค่า Marshall Stability ของก้อนตัวอย่างที่แช่ และไม่แช่ในสารละลายเกลือแกง

1. การเตรียมตัวอย่างเตรียมวัสดุ ตัวอย่างละ 1200 กรัมจำนวน 10 ตัวอย่าง ตามอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองโดยวิธี Marshall อบตัวอย่างให้ได้อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนกับแบบโลหะและแท่งอัดแรง ด้วย Hot Plate ให้ความร้อนแอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้มีอุณหภูมิ 159±5ºC

2. วิธีการทดสอบ ผสมตัวอย่างกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เทตัวอย่างใส่แบบใช้ spatula แซะด้านข้าง 15 ครั้ง และตรงกลาง 10 ครั้งปล่อยตัวอย่างให้มีอุณหภูมิ 150±5 องศาเซลเซียสเปิดเครื่องบดอัดตัวอย่างด้วยแรง 1.0MPa แล้วหยุดเพื่อดึงแท่งเหล็กรองแบบออก เปิดเครื่องบดอัดตัวอย่างอีกครั้งด้วยแรง 20.7 MPa แล้วค้างไว้ 2 นาที จึงนำตัวอย่างออก ปล่อยตัวอย่างให้เย็นลงตามอุณหภูมิห้อง ดันตัวอย่างที่บดอัดออกจากแบบ นำก้อนตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา16-18 ชม. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างหาความแน่น ชั่งตัวอย่างในอากาศ ชั่งตัวอย่างในน้ำ นำตัวอย่างแช่น้ำ 5 นาที แล้วเช็ดให้ผิวแห้ง ชั่งน้ำหนักสภาพผิวแห้งแบ่งตัวอย่างเป็นกลุ่ม 2 กลุ่ม (3ก้อน/กลุ่ม อย่างน้อย) หาค่าความหนาแน่นเฉลี่ย กลุ่ม 2 ต่างกันไม่เกิน 0.02 กรัม/มล.กลุ่มที่ 1 แช่ในสารละลายเกลือแกง (Soaked) ใส่ตัวอย่างในหม้อสุญญากาศ ที่มีสารละลายเกลือแกงเข้มข้น 5 กรัม/ลิตร ดูดอากาศออกให้อยู่ในสภาพสุญญากาศ เป็นเวลา 1 ชม. นำตัวอย่างออกมาแช่ในสารละลายเกลือแกงความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. นำตัวอย่างออกแช่น้ำที่อุณหภูมิ25±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชม. นำตัวอย่างมาทดลองหาค่า Stability และ Flow กลุ่มที่ 2ไม่แช่ในสารละลายเกลือแกง (Unsoaked) นำตัวอย่างแช่น้ำ ที่อุณหภูมิ 25±1องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชม. นำตัวอย่างมาทดลองหาค่า Stability และ Flow นำค่า Stability และ Flow ของตัวอย่างแต่ละกลุ่มมาหาค่าเฉลี่ย

3.4.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength : ITS)

การทดสอบนี้อ้างอิงตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D 4867 “Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures” และ AASHTO T 283 “Resistance of Compacted Bituminous Mixture of Moisture Induced Damage” เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดึงในก้อนตัวอย่าง โดยให้แรงกระทำทางด้านข้างของตัวอย่าง ซึ่งมีการกำหนดอัตราการป้อนน้ำหนักให้เกิดการยุบตัวคงที่จนก้อนตัวอย่างพังทลาย รายละเอียดวิธีการทดสอบ มีดังนี้

(1) แบ่งก้อนตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด ออกเป็น 4 ชุด ๆ ละ 5 ก้อนตัวอย่าง เพื่อนำไปทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 20°C, 35°C, 50°C และ 65°C ตามลำดับ เนื่องจากการทดสอบวัสดุจำพวกที่มีคุณลักษณะเฉพาะที่แปรเปลี่ยนคุณสมบัติตามอุณหภูมินั้น การทดสอบควรกระทำที่อุณหภูมิต่างกันอย่างน้อย 3 ค่า เพื่อจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ

(2) นำก้อนตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด ที่จะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 20°C มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเฉลี่ยของแต่ละก้อนตัวอย่าง ก่อนนำไปใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง เพื่อให้ก้อนตัวอย่างมีอุณหภูมิเดียวกันทั่วทั้งก้อน

(3) นำก้อนตัวอย่างมาใส่ในอุปกรณ์สำหรับกดก้อนตัวอย่าง Indirect Tensile Strength Test แล้วนำเข้าเครื่อง Stability Compression Machine ดังรูปที่ 3.1 โดยมีการควบคุมอุณหภูมิให้แต่ละก้อนมีการสูญเสียอุณหภูมิจากตู้ควบคุมอุณหภูมิ ถึงอุปกรณ์สำหรับกดก้อนตัวอย่าง ที่เท่าๆกัน โดยการเคลื่อนย้ายตัวอย่างที่อุณภูมิห้องปกติ และนำตัวอย่างออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ละก้อนกดตัวอย่างโดยกดน้ำหนักด้วยอัตราเร็ว 50 มิลลิเมตร/นาที จนกระทั่งตัวอย่างพังทลาย บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด แล้วทำการคำนวณค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม

รูปที่ 3.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม

(4) ดำเนินการในขั้นตอนข้อ (2) และ (3) สำหรับการทดสอบชุดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 35°C, 50°C และ 65°C ตามลำดับ

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

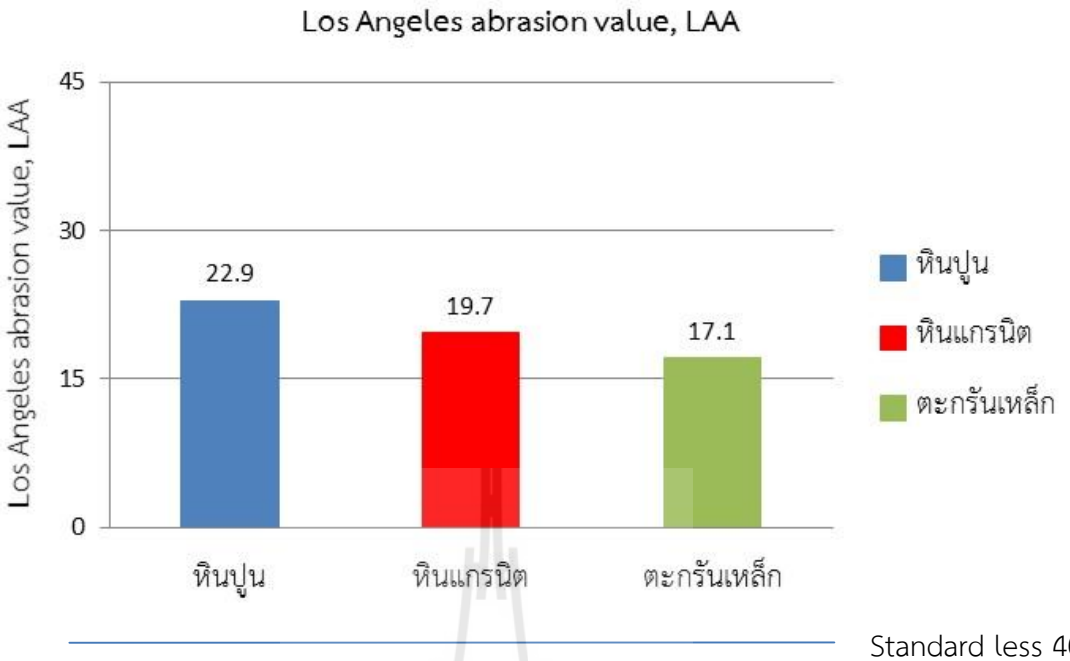
4.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ เริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้น คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม จากนั้นจะได้แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

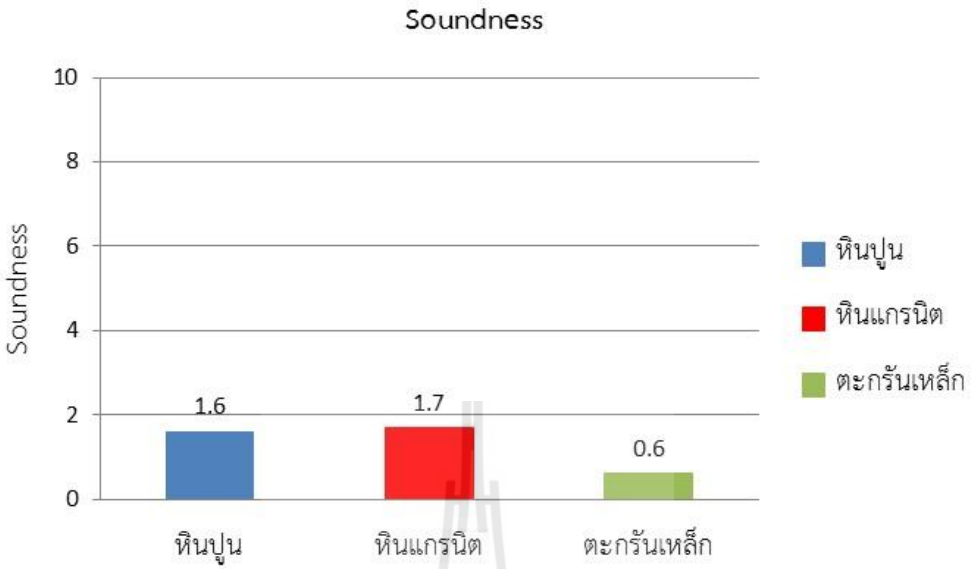
ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของหินปูนที่ได้จาก โรงโม่หินทัศนา ชลบุรี อ.เมือง จ.ชลบุรี คุณสมบัติของหินแกรนิตที่ได้จาก โรงโม่หินเทพศิลาแอกกริเกต อ.เมือง จ. ชลบุรี และคุณสมบัติของตะกรันเหล็ก ที่ได้จาก โรงโม่หินสยามสตีลมิลล์เซอร์วิส อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี

การทดสอบ	ชนิดหิน			มาตรฐาน
	หินปูน	หินแกรนิต	ตะกรันเหล็ก	
Los Angeles abrasion value, LAA (%)	22.90	19.70	17.10	ทล.-ท.202/2515
Soundness (%)	1.60	1.70	0.60	ทล.-ท.213/2531
Aggregate impact value, AIV (%)	13.60	18.20	13.90	BS 812 : Part 112 : 1990
Aggregate crushing value, ACV (%)	18.90	18.30	18.40	BS 812 : Part 110 : 1990
Polished stone value, PSV	45.80	50.50	50.60	BS 812 : 1967



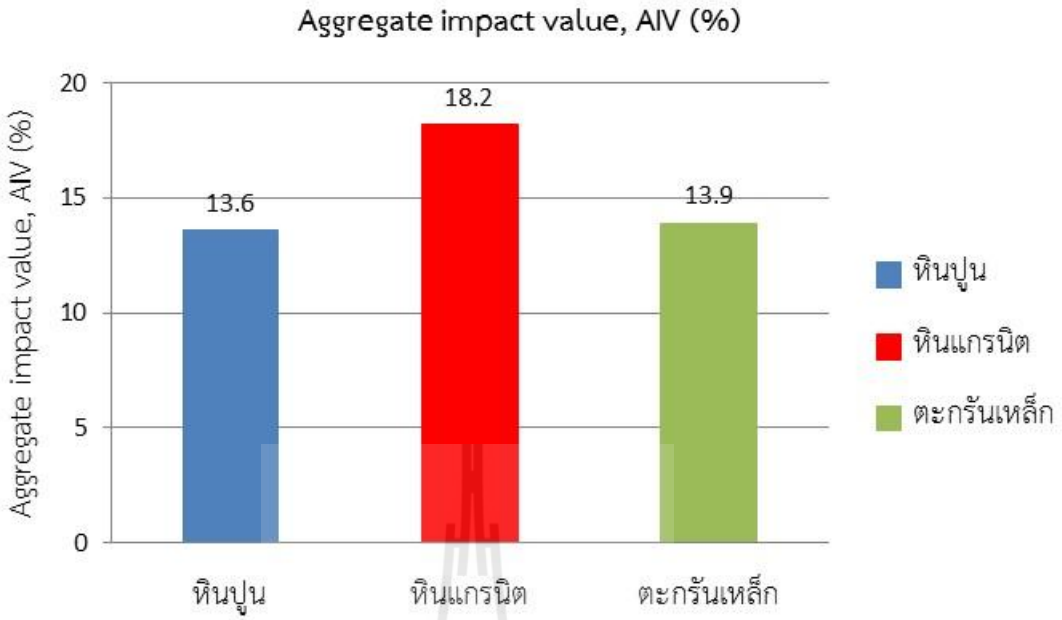
Standard less 40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

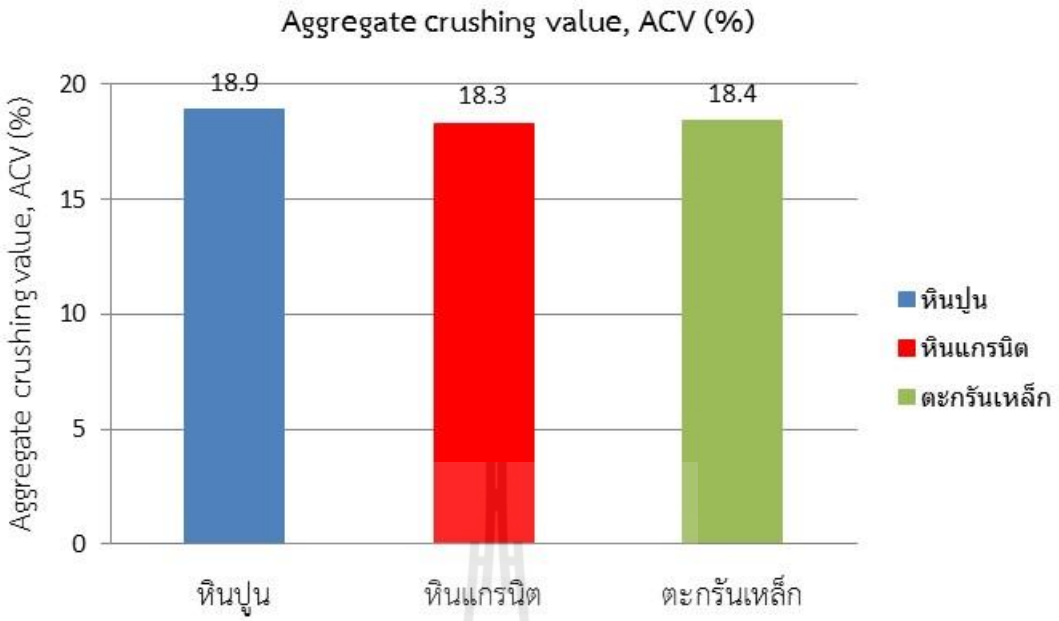


Standard less 9

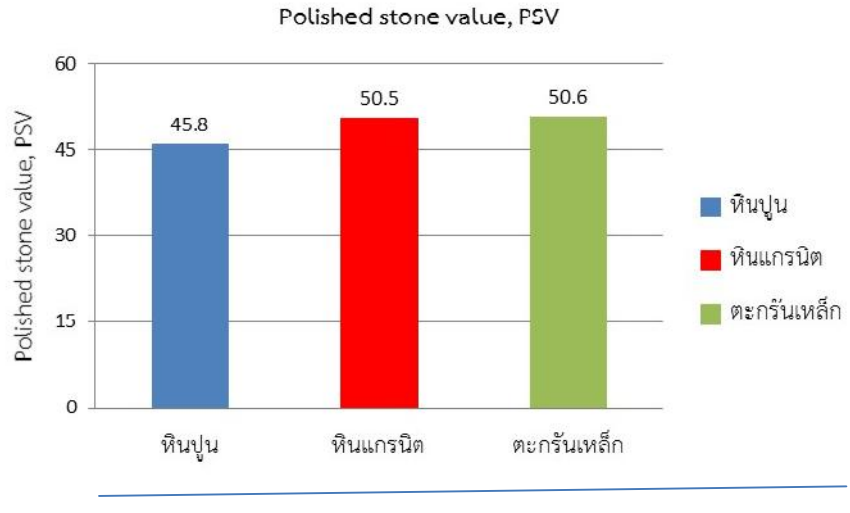
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Standard above 50

ผลการทดสอบ Polished stone value, PSV (รูปที่ 4.5) พบว่าหินปูนมีค่าความต้านทานการลื่นไถลเท่ากับ 45.8 หินแกรนิตมีค่าความต้านทานการลื่นไถลเท่ากับ 50.5 และตะกรันเหล็กมีค่าความต้านทานการลื่นไถลเท่ากับ 50.6 จะเห็นได้ว่าหินปูนมีค่าความต้านทานการลื่นไถลหลังถูกขัดน้อยที่สุด และมีค่าผลการทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งหินแกรนิต และตะกรันเหล็กมีค่าความต้านทานการลื่นไถลที่ใกล้เคียงกัน และผ่านมาตรฐานการทดสอบ คือมีค่าความต้านทานการลื่นไถลต้องมากกว่า 50

วัสดุมวลรวมที่จะนำมาเป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตจะต้องเป็นวัสดุที่มีความคงทนต่อแรงกระแทก แรงบดอัด ต่อการแตกหักเป็นก้อนเล็ก มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อการขัดสี และมีรูปร่างที่เป็นเหลี่ยมมุมจะขัดประสานกัน เพราะเมื่อบดอัดแล้วจะสามารถรับน้ำหนักได้ดี

จากการทดสอบ Soundness, Los Angeles abrasion, Aggregate impact, Aggregate crushing และ Polished stone ของวัสดุมวลรวมทั้งสามชนิด พบว่าตะกรันเหล็ก เป็นวัสดุที่ทนทานต่อการสึกหรอมากที่สุด และสามารถรับน้ำหนักแบบกระแทรก และบดอัดได้ดี และมีค่าความต้านทานการลื่นไถลที่สูง ซึ่งจัดเป็นวัสดุมวลรวมทางเลือกที่ดี เพราะตะกรันเหล็กเป็นกากขยะอุตสาหกรรม นอกจากประโยชน์ที่เกิดจากการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ และยังช่วยในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการทำลายตะกรันเหล็ก แล้วยังส่งผลให้ได้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความคงทน แข็งแรง และมีอายุใช้งานที่ยาวนานมากขึ้นอีกด้วย

4.3 ผลการออกแบบส่วนผสม

เนื่องจากหินปูนเป็นมวลรวมหยาบที่มีการใช้มากในประเทศไทย แต่มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงความความคงทนต่ำกว่าหินแกรนิต แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมหยาบจึงมีคุณสมบัติด้านกำลังอัดที่ด้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตเป็นมวลรวมหยาบ การแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาคุณสมบัติด้านกำลังอัดของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งมีประโยชน์ในแง่วิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ตารางที่ 4.2 แสดงการปรับเปลี่ยนส่วนผสมระหว่างหินปูน หินแกรนิต และตะกรันเหล็ก เพื่อให้ได้ขนาดคละของมวลรวมตามข้อกำหนดของ Marshall รูปที่ 4.6 – 4.10 แสดงการกระจายขนาดของเม็ดดินที่ได้จากส่วนผสมของ Filter, Bin 1, Bin 2, Bin 3 และ Bin 4

ตารางที่ 4.2 ตารางชนิดวัสดุมวลรวมชนิดแอสฟัลต์ และMix Proportion ต่างๆ ที่ใช้ทดสอบ

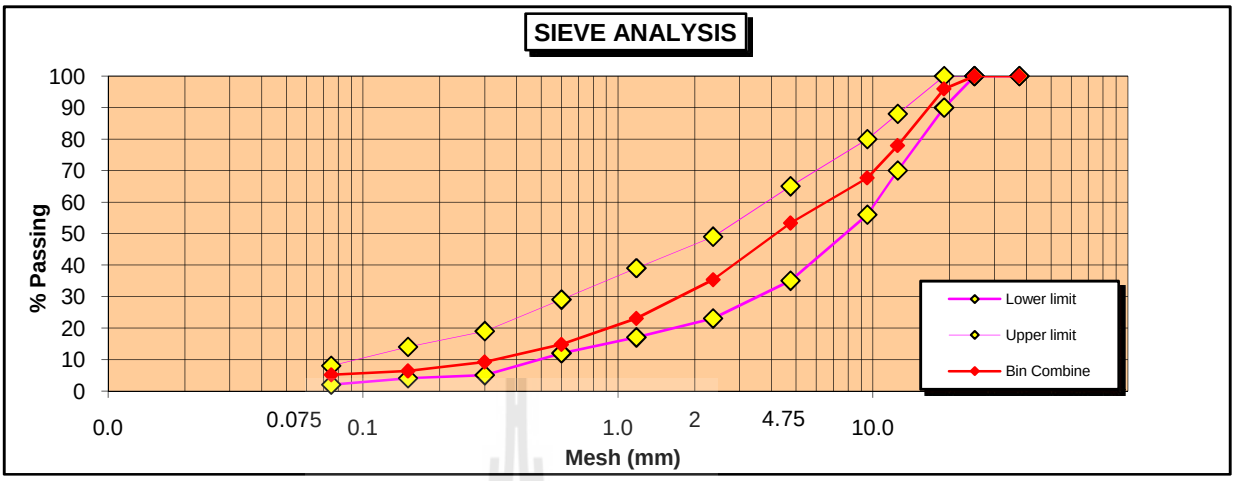
Mix Proportion	Filter	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Binder	Mix Proportion (by weight)
1	L	L	L	L	L	AC 60/70	5:37:20:25:13
2	L	L	G	G	G	AC 60/70	5:35:17:25:18
3	L	L	S	S	S	AC 60/70	5:35:22:16:22
4	L	L	L	S	S	AC 60/70	5:37:16:21:21
5	L	L	L	L	S	AC 60/70	5:37:17:23:18
6	L	L	L	L	L	PMA	5:37:20:25:13
7	L	L	G	G	G	PMA	5:35:17:25:18
8	L	L	S	S	S	PMA	5:35:22:16:22
9	L	L	L	S	S	PMA	5:37:16:21:21
10	L	L	L	L	S	PMA	5:37:17:23:18

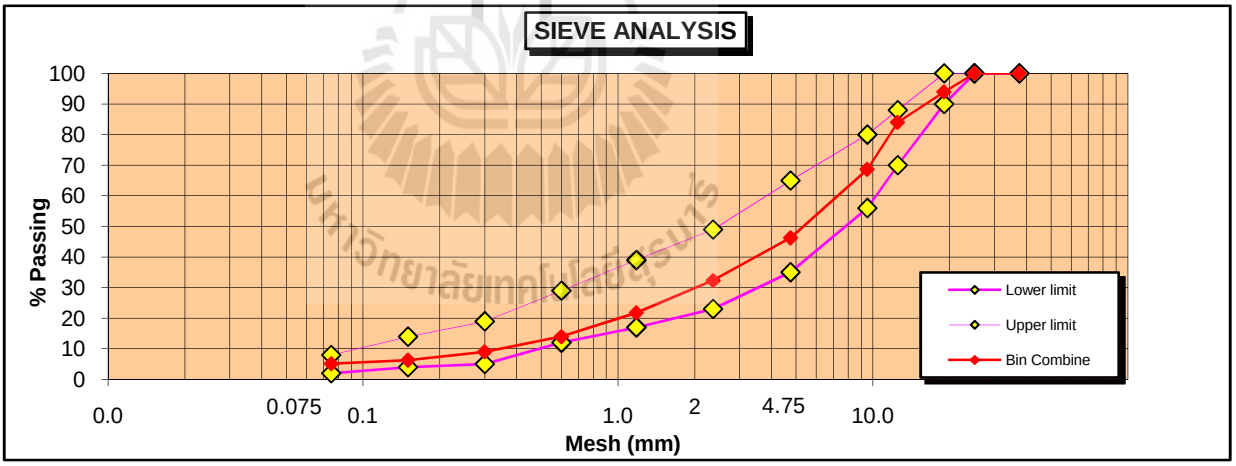
หมายเหตุ : L คือหินปูน

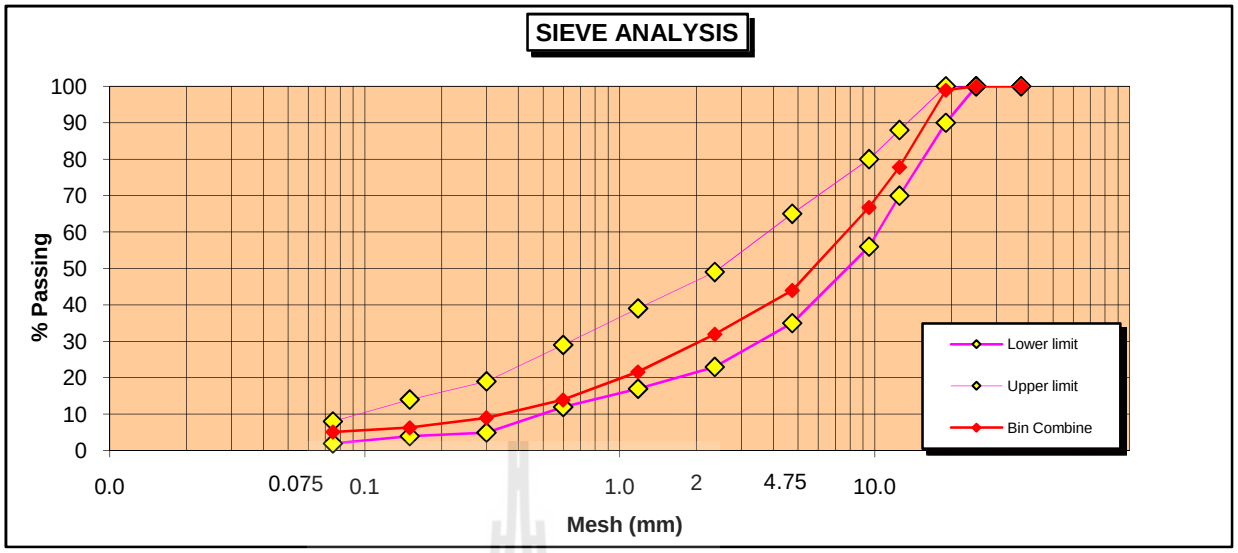
G คือหินแกรนิต

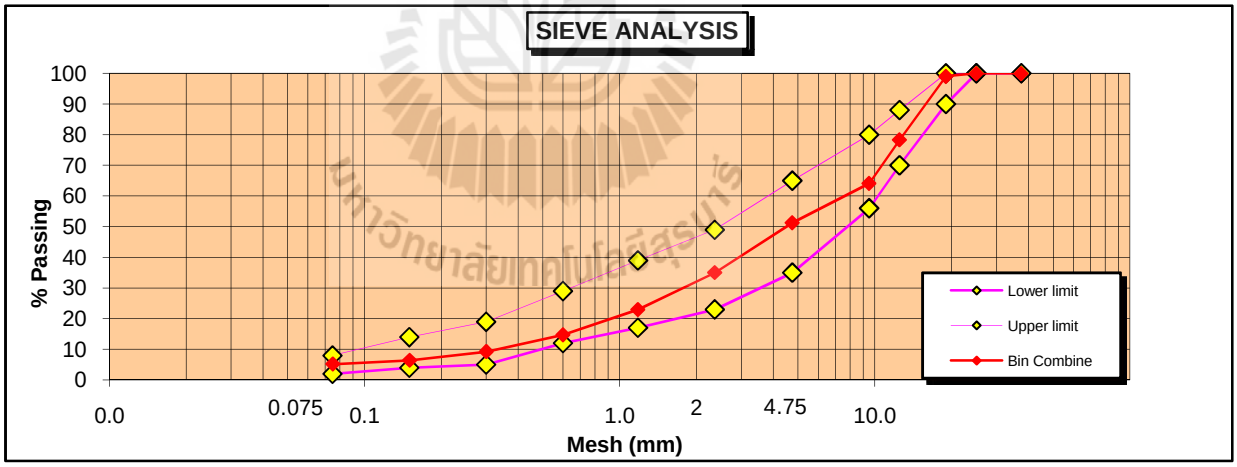
S คือตะกรันเหล็ก

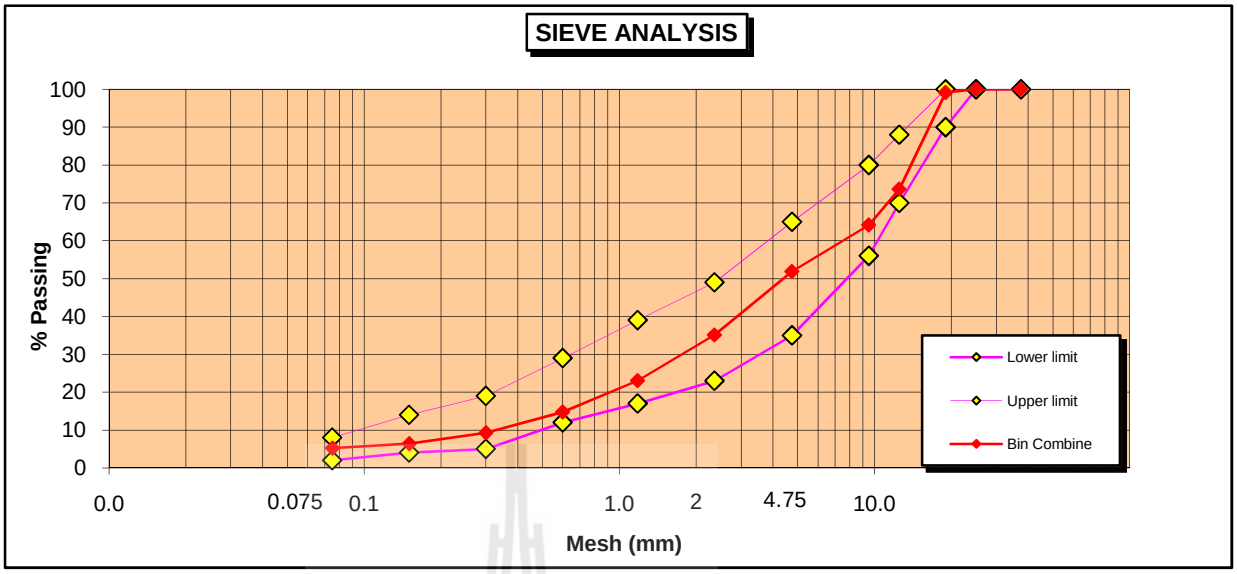
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

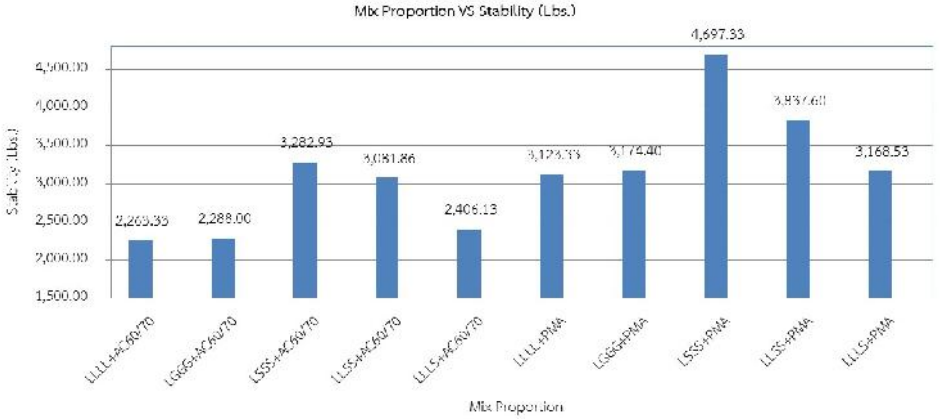

SIEVE ANALYSIS
% Passing
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.0
0.075
0.1
1.0
2
4.75
10.0
Mesh (mm)
Lower limit
Upper limit
Bin Combine


SIEVE ANALYSIS
% Passing
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.0
0.075
0.1
1.0
2
4.75
10.0
Mesh (mm)
Lower limit
Upper limit
Bin Combine

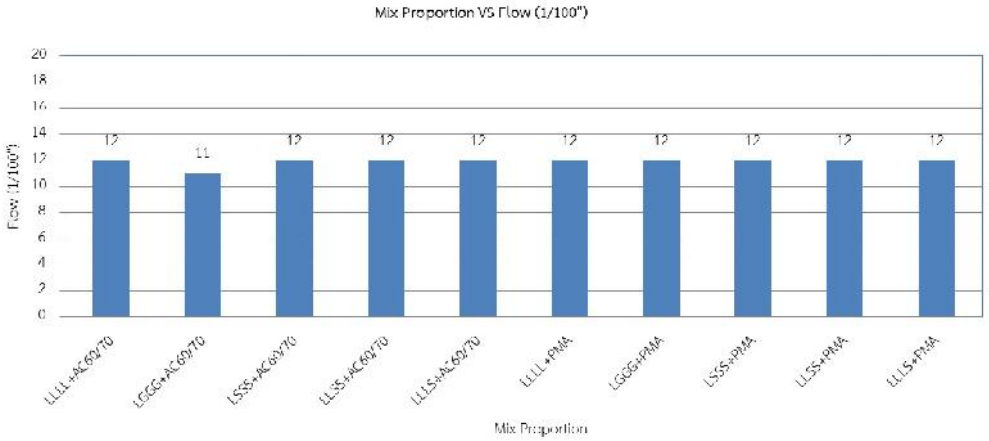

SIEVE ANALYSIS
% Passing
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.0
0.075
0.1
1.0
2
4.75
10.0
Mesh (mm)
Lower limit
Upper limit
Bin Combine


SIEVE ANALYSIS
% Passing
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.0
0.075
0.1
1.0
2
4.75
10.0
Mesh (mm)
Lower limit
Upper limit
Bin Combine


SIEVE ANALYSIS
% Passing
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.0
0.075
0.1
1.0
2
4.75
10.0
Mesh (mm)
Lower limit
Upper limit
Bin Combine

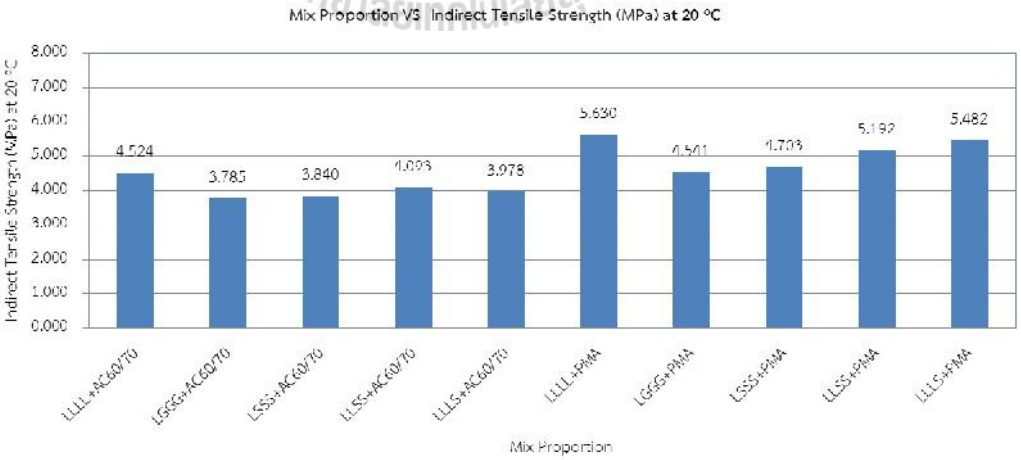


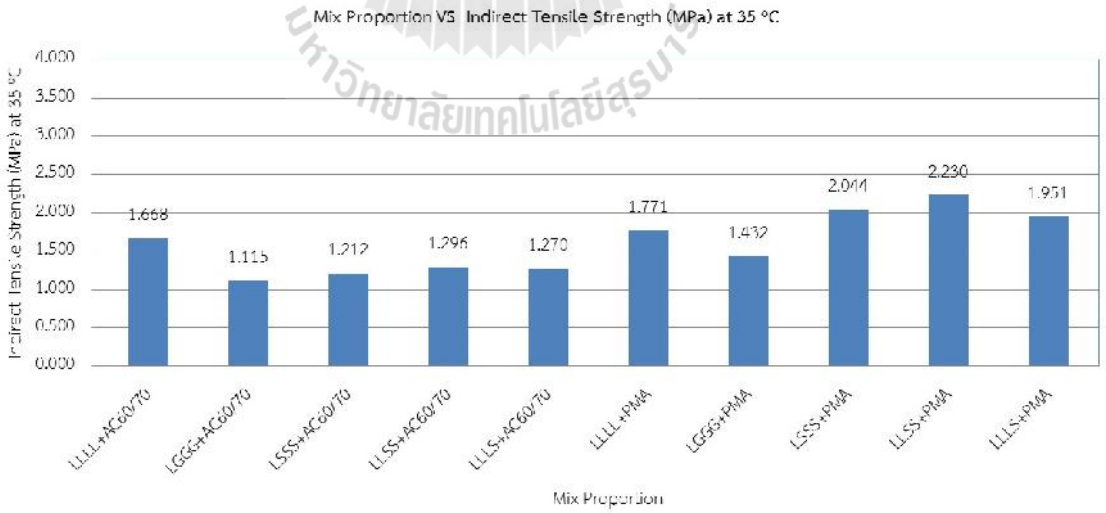
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

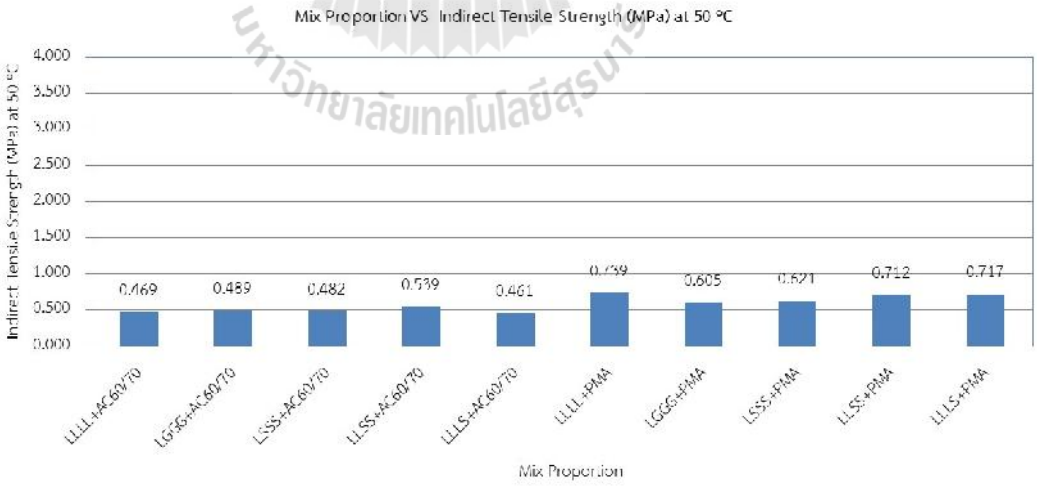


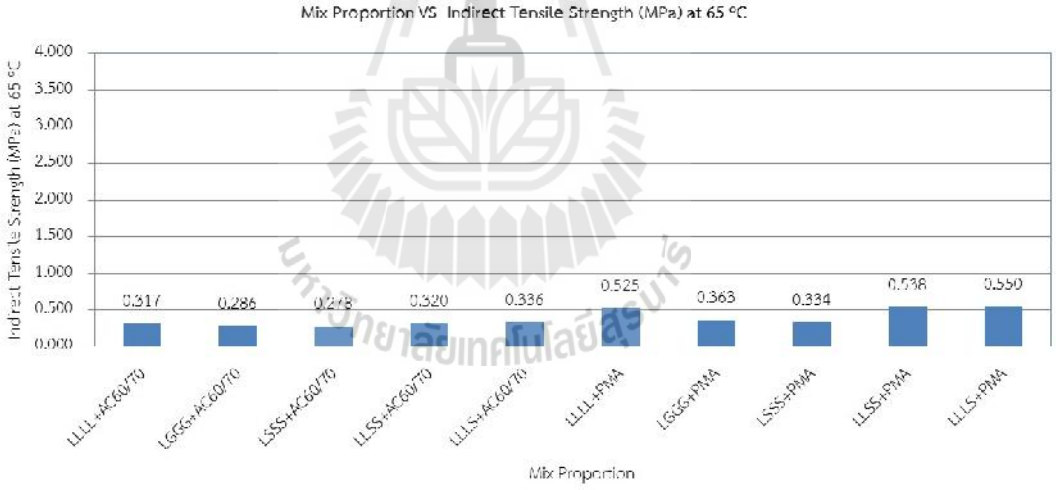
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Mix Proportion VS Strength Index (%)
Strength Index (%)
100.00
90.00
80.00
70.00
60.00
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
92.75
92.17
95.04
90.76
89.42
92.54
95.00
91.32
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
Mix Proportion


Mix Proportion VS Indirect Tensile Strength (MPa) at 20 °C
Indirect Tensile Strength (MPa) at 20 °C
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
4.524
3.785
3.840
4.093
3.978
5.630
4.541
4.703
5.192
5.482
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion


Mix Proportion VS Indirect Tensile Strength (MPa) at 35 °C
Indirect Tensile Strength (MPa) at 35 °C
4.000
3.500
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
0.500
0.000
1.668
1.115
1.212
1.296
1.270
1.771
1.432
2.044
2.230
1.951
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion


Mix Proportion VS Indirect Tensile Strength (MPa) at 50 °C
Indirect Tensile Strength (MPa) at 50 °C
4.000
3.500
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
0.500
0.000
0.469
0.489
0.482
0.539
0.461
0.739
0.605
0.621
0.712
0.717
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion


Mix Proportion VS Indirect Tensile Strength (MPa) at 65 °C
Indirect Tensile Strength (MPa) at 65 °C
4.000
3.500
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
0.500
0.000
0.317
0.286
0.268
0.320
0.336
0.525
0.363
0.334
0.538
0.550
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion

ตะกรันเหล็กมีผลให้กำลังรับแรงดึงน้อยลง ดังจะเห็นได้จากแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนใน Bin 1, 2, 3 กับตะกรันเหล็กใน Bin 4 ผสมกับ PMA มีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสูงสุด เท่ากับ 0.550 เมกกะปาสคาล แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนใน Bin 1, 2 กับตะกรันเหล็กใน Bin 3, 4 ผสมกับ PMA มีค่ากำลังรับแรงดึงเท่ากับ 0.334 เมกกะปาสคาล

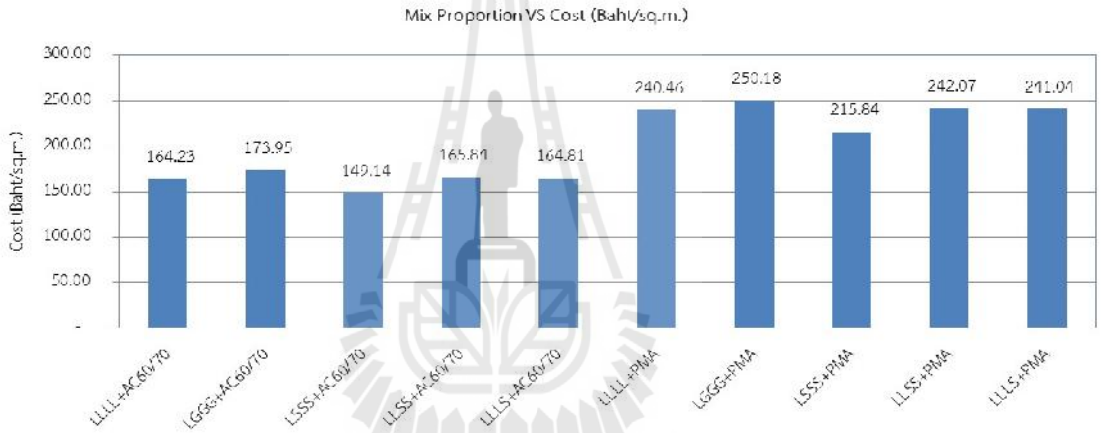
จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สูงกว่าที่อุณหภูมิ 35, 50, 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สัดส่วนผสมที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด PMA มีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสูงกว่า AC60/70 หินปูนสามารถรับแรงดึงทางอ้อมได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ตะกรันเหล็ก และหินแกรนิต ตามลำดับ แต่ถึงแม้ว่าหินปูนจะมีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมที่สูงกว่าแต่ด้วยคุณสมบัติเบื้องต้นของหินปูนด้อยกว่าตะกรันเหล็ก และค่าเสถียรภาพของ Mix Proportion ที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม มีค่าน้อยกว่าตะกรันเหล็ก ซึ่งตะกรันเหล็กจะมีคุณสมบัติในการรับน้ำหนักได้ดีกว่า มีค่าต้านทานการลื่นไถลที่สูงกว่า และทนทานต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปได้มากกว่า

จากผลการทดสอบพบว่า ที่อุณหภูมิ 20, 35, 50 และ 65 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ว่าการแทนที่ตะกรันเหล็กที่ Bin 3 และ 4 ส่งผลให้มีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมที่สูงมากขึ้น เนื่องจากตะกรันเหล็กเป็นวัสดุที่คุณสมบัติในการรับกำลังสูง ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป และไม่แปรเปลี่ยนสภาพง่ายเมื่อมีแรงมากระทำ จึงสามารถนำตะกรันเหล็กมาประยุกต์ใช้แทนหินปูนใน Bin 3 และ Bin 4 ซึ่งมีขนาด 3/8 – 1” เพราะหินปูนเป็นวัสดุที่ขาดแคลน และในการโม่หินเป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำลายระบบนิเวศ เพื่อให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ไม่เกิดปัญหาร่องล้อ และทนต่อสภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ตะกรันเหล็กจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวม

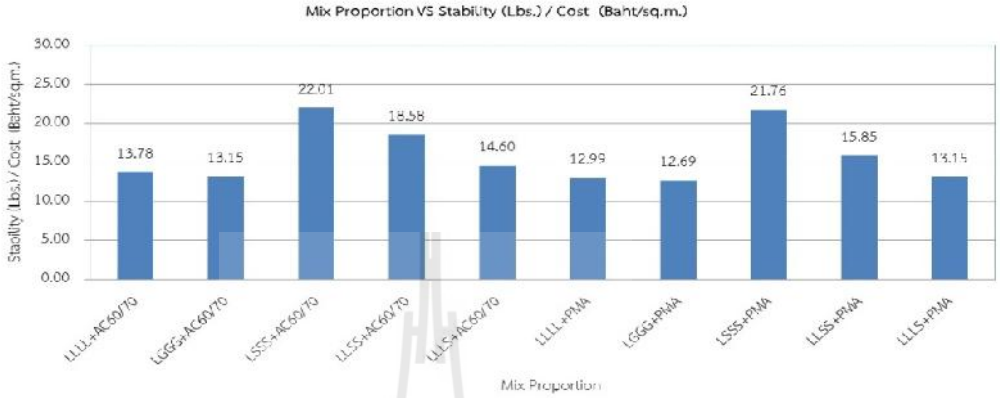
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุน

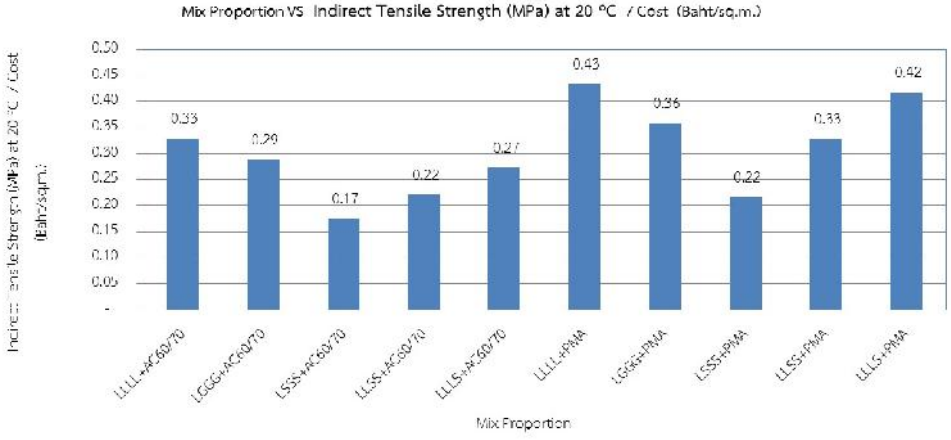
การวิเคราะห์ต้นทุนในการวิจัยครั้งนี้อ้างอิงราคา ณ วันที่ 1 สิงหาคม 2558 และคำนวณราคาแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละสัดส่วนผสมที่ความหนา 5 เซนติเมตร

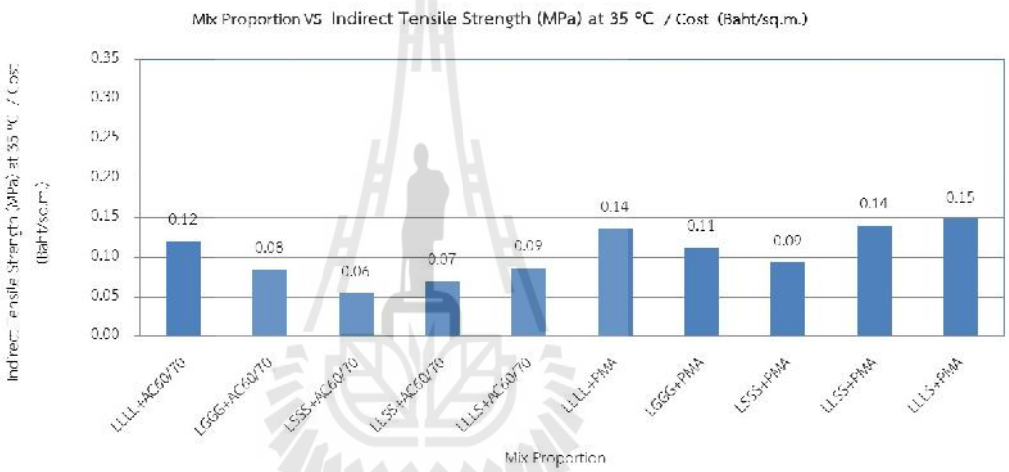
Mix Proportion	Type Aggregate Bin 1:2:3:4	Mix Proportion	Price of Agg. (Bath/ton)					Price of Bider. (Bath/ton)	Summation	Summation
			Filter	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bider	(Bath/ton)	(Bath/sq.m.)
1	LLLL+AC60/70	5:37:20:25:15	0	22.20	8.56	50.83	26.43	1,260.00	1,368.01	164.23
2	LGGG+AC60/70	5:35:17:25:18	0	21.00	47.60	70.00	50.40	1,260.00	1,449.00	173.95
3	LSSS+AC60/70	5:35:22:16:22	0	21.00	35.20	35.20	48.40	1,102.50	1,242.30	149.14
4	LLSS+AC60/70	5:37:16:21:21	0	22.20	6.85	46.20	46.20	1,260.00	1,381.45	165.84
5	LLLS+AC60/70	5:37:17:23:18	0	22.20	7.28	46.76	36.59	1,260.00	1,372.83	164.81
6	LLLL+PMA	5:37:20:25:13	0	22.20	8.56	50.83	26.43	1,895.00	2,003.01	240.46
7	LGGG+PMA	5:35:17:25:18	0	21.00	47.60	70.00	50.40	1,895.00	2,084.00	250.18
8	LSSS+PMA	5:35:22:16:22	0	21.00	35.20	35.20	48.40	1,658.13	1,797.93	215.84
9	LSSS+PMA	5:37:16:21:21	0	22.20	6.85	46.20	46.20	1,895.00	2,016.45	242.07
10	LSSS+PMA	5:37:17:23:18	0	22.20	7.28	46.76	36.59	1,895.00	2,007.83	241.04

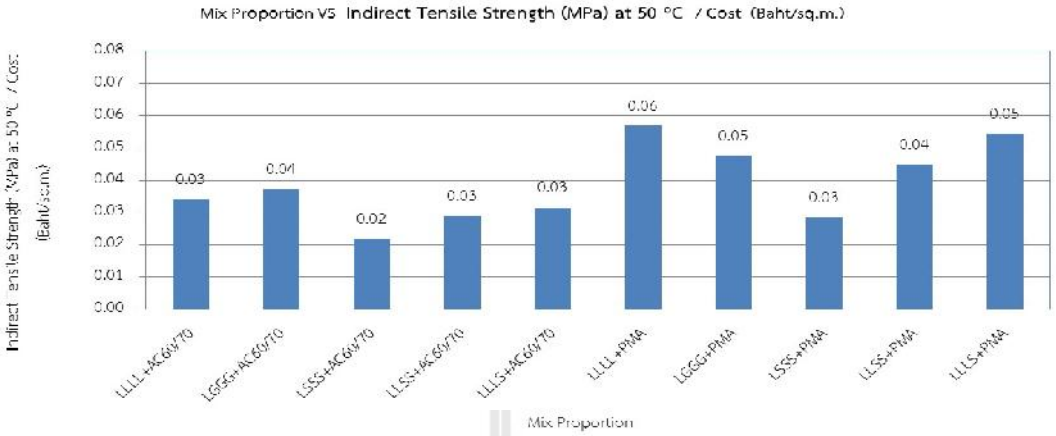


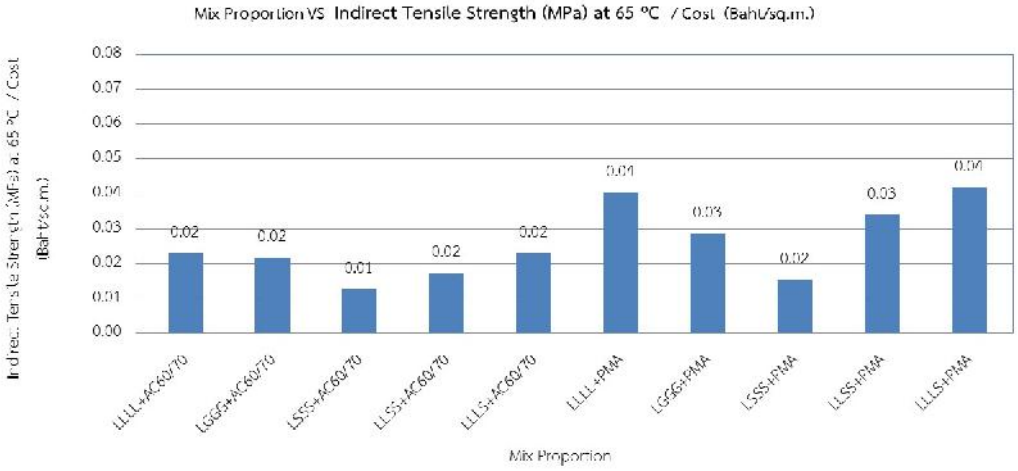
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี


Mix Proportion VS Stability (Lbs.) / Cost (Baht/sq.m.)
Stability (Lbs.) / Cost (Baht/sq.m.)
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
13.78
13.15
22.01
18.58
14.60
12.99
12.69
21.76
15.85
13.15
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion


Mix Proportion VS Indirect Tensile Strength (MPa) at 20 °C / Cost (Baht/sq.m.)
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
-
0.33
0.29
0.17
0.22
0.27
0.43
0.36
0.22
0.33
0.42
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion


Mix Proportion VS Indirect Tensile Strength (MPa) at 35 °C / Cost (Baht/sq.m.)
Indirect Tensile Strength (MPa) at 35 °C / Cost (Baht/sq.m.)
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0.12
0.08
0.06
0.07
0.09
0.14
0.11
0.09
0.14
0.15
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion


Mix Proportion VS Indirect Tensile Strength (MPa) at 50 °C / Cost (Baht/sq.m.)
Indirect Tensile Strength (MPa) at 50 °C / Cost (Baht/sq.m.)
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
0.03
0.04
0.02
0.03
0.03
0.06
0.05
0.03
0.04
0.05
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion


Mix Proportion VS Indirect Tensile Strength (MPa) at 65 °C / Cost (Baht/sq.m.)
Indirect Tensile Strength (MPa) at 65 °C / Cost (Baht/sq.m.)
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
0.02
0.02
0.01
0.02
0.02
0.04
0.03
0.02
0.03
0.04
LLLL+AC60/70
LGGG+AC60/70
LSSS+AC60/70
LLSS+AC60/70
LLLS+AC60/70
LLLL+PMA
LGGG+PMA
LSSS+PMA
LLSS+PMA
LLLS+PMA
Mix Proportion

รูปที่ 4.23 แสดงอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงทางอ้อมต่อราคา ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จะพบว่า สัดส่วนผสมที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC60/70 มีค่าอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงทางอ้อมต่อราคาที่น้อยกว่าสัดส่วนผสมที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด PMA สัดส่วนผสมที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด PMA ผสมกับตะกรันเหล็กใน Bin 4 มีอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงทางอ้อมต่อราคา 0.04 เมกกะปาสคาล ต่อ บาทต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับสัดส่วนผสมที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมและใช้ PMA เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์

รูปที่ 4.18 – 4.23 แสดงให้เห็นว่าตะกรันเหล็กเป็นวัสดุแทนที่ ที่เหมาะสมเป็นวัสดุชั้นพื้นทาง เพราะมีราคาไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับหินแกรนิต และหินปูน การแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กไม่มีความคุ้มค่าในแง่ของความสามารถในการรับแรงดึง ดังนั้น หินปูนจึงเป็นมวลรวมที่เหมาะสมในการทำแอสฟัลต์คอนกรีตที่รับแรงดึงเป็นหลัก ซึ่งคือ binder course ขณะที่ การแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กมีความคุ้มค่าอย่างมากในการผิวทางที่ต้องการความต้านทานแรงกดสูง ซึ่งคือ wearing/surface course

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัสต์คอนกรีตที่ใช้มวลรวมสามประเภท ได้แก่ หินปูน หินแกรนิต และหินปูนผสมตะกรันเหล็กในสัดส่วนต่างๆ และใช้แอสฟัลต์สองประเภท ได้แก่ AC60/70 และ PMA คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ศึกษาประกอบด้วยเสถียรภาพ การไหล และกำลังรับแรงดึงทางอ้อม ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ผลการทดสอบ Soundness, Los Angeles abrasion, Aggregate impact, Aggregate crushing และ Polished stone ของวัสดุมวลรวมทั้งสามชนิด พบว่าตะกรันเหล็ก เป็นวัสดุที่ทนทานต่อการสึกหรอมากที่สุด และสามารถรับน้ำหนักแบบกระแทรก และบดอัดได้ดี และมีค่าความต้านทานการลื่นไถลที่สูง

2) ผลทดสอบเสถียรภาพ (Stability) ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าเสถียรภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กสำหรับทั้งแอสฟัลต์ AC60/70 และ PMA การใช้ตะกรันเหล็กในแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับแอสฟัลต์คอนกรีตได้อย่างชัดเจน ดังจะเห็นได้ว่าแอสฟัลต์คอนกรีต LSSS ชนิด AC60/70 มีค่าเสถียรภาพเทียบเท่าแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด PMA ที่ใช้หินธรรมชาติ (หินปูนและแกรนิต) ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตแปรผันตามมวลรวมหยาบและชนิดของแอสฟัลต์ การใช้ตะกรันเหล็กเป็นมวลรวมหยาบช่วยเพิ่มเสถียรภาพ และลดต้นทุนจากการใช้แอสฟัลต์ที่มีคุณภาพสูง

3) ผลทดสอบการไหล (Flow) ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งสามประเภทมีค่าการไหลใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากการไหลขึ้นอยู่กับขนาดคละ(Gradation) และการบดอัด ซึ่งมีความใกล้เคียงกันสำหรับมวลรวมทั้งสามประเภท

4) ผลทดสอบดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งสามประเภท พบว่าตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งสามประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน โดยไม่แปรผันตามชนิดของมวลรวมหยาบและชนิดของแอสฟัลต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งสามประเภทมีอัตราการลดลงของกำลังอัดใกล้เคียงกันเมื่อต้องแช่ในน้ำเกลือ

5) ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect tensile strength test) ที่อุณหภูมิ 20, 35, 50 และ 65 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมหยาบมีค่าแรงดึงทางอ้อมสูงที่สุด ขณะที่ แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตเป็นมวลรวมหยาบมีค่าแรงดึงทางอ้อมต่ำที่สุด แม้ว่าการแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีกำลังรับแรงดึงทางอ้อมลดลง แต่การลดของกำลังรับแรงดึงแทบไม่แปรผันตามสัดส่วนของตะกรันเหล็ก เนื่องจากตะกรัน เหล็กเป็นวัสดุที่คุณสมบัติในการรับกำลังสูง ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป และไม่แปรเปลี่ยนสภาพง่ายเมื่อมีแรงมากระทำ การนำตะกรันเหล็กมาประยุกต์ใช้แทนหินปูนจึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในทางวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม เพราะหินปูนเป็นวัสดุที่เริ่มขาดแคลน รวมทั้งการโม่หินเป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด และทำลายระบบนิเวศ เพื่อให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ไม่เกิดปัญหาร่องล้อ และทนต่อสภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

จากผลการทดสอบพบว่า ความคุ้มค่าในการแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กในแง่ของเสถียรภาพมีความคุ้มค่าอย่างมาก และการแทนที่หินปูนด้วยตะกรันเหล็กไม่มีความคุ้มค่าในแง่ของความสามารถในการรับแรงดึง ดังนั้น หินปูนจึงเป็นมวลรวมที่เหมาะสมในการทำแอสฟัลต์คอนกรีตที่รับแรงดึงเป็นหลัก ซึ่งคือ binder course ขณะที่ มวลรวมผสมระหว่างหินปูนและตะกรันเหล็กมีความคุ้มค่าอย่างมากกับผิวทางที่ต้องการความต้านทานแรงกดสูง ซึ่งคือ wearing/surface course

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตส่วนใหญ่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมหยาบ แต่หินปูนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีปริมาณหินปูนน้อย และมี

แนวโน้มขาดแคลน ด้วยเหตุนี้เอง เมื่อทำการก่อสร้างผิวทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงมีค่าใช่จ่ายในการขนส่งวัสดุที่สูง ผลงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าตะกรันเหล็กซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก สามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดี และด้วยแหล่งวัสดุของตะกรันเหล็กอยู่ที่จังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นแหล่งวัสดุทางเลือกที่ดีสำหรับการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและจังหวัดอื่นๆ ที่ใกล้เคียง เพราะจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ช่วยลดต้นทุนค่าวัตถุดิบในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้ ยังเป็นการช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดจากการกำจัดตะกรันเหล็ก

สำหรับในด้านข้อมูล ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงผลการทดสอบทางวิศวกรรมส่วนหนึ่ง เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ครอบคลุมกับปัญหาต่างๆมากขึ้น และเพื่อหาแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน จึงควรทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมในการทดสอบอื่นๆ เพิ่มเติมเช่น การทดสอบการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient modulus test), การทดสอบหาค่า Indirect tensile stiffness modulus, การทดสอบหาค่าความต้านทานการเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Dynamic creep test), การทดสอบคุณสมบัติทางด้านความล้า Indirect tensile fatigue test (ITFT) เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2556). **เทคโนโลยีการรีไซเคิลตะกรันจากเตาอาร์คไฟฟ้าและเตาอุ่นน้ำเหล็ก.**

กฤษณะ จันทรโชติ. (2551). **คุณสมบัติต้านทานการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของวัสดุแอสฟัลต์ที่ ผสมกับหินแกรนิตโดยการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชยธันว์ พรหมศร. (2546). **คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) และค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศ.** สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

ทวิช ชอบพานิช. (2552). **การเปรียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70, เกรด 40/50 และโพลิเมอร์โมดิฟายด์ แอสพัลต์ โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐานซูเปอร์เพฟ.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดร.ธันวิน สวัสดิศานต์ และคณะ. (2555). **แนวทางการเลือกใช้ยางแอสฟัลต์ และออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะกับสภาพใช้งานในประเทศไทย** สำนักวิเคราะห์และ ตรวจสอบ กรมทางหลวง.

นภัสรพี อนันตชัยพงศ์. (2552). **คุณสมบัติต้านทางการเปลี่ยนรูปแบบอย่างถาวร ของวัสดุแอสฟัลต์ที่ผสมกับหินปูน โดยการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดร.มนตรี เดชาสกุลสม และคณะ (2556). **การศึกษาแนวทางการแก้ไขการเกิดร่องล้อของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการใช้ปูนซีเมนต์ และ เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมแทรก.** สำนักวิเคราะห์และ ตรวจสอบ กรมทางหลวง.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง. (2532). **มาตรฐานแอสฟัลต์ติกคอนกรีต.**

สิทธิโชค ลี้มิ่งสวัสดิ์. (2543). **การศึกษาความเหมาะสมในการใช้กรวดจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีต.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดร.อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์ และคณะ. **การศึกษาวิเคราะห์แรงกระทำบนผิวจราจรบริเวณทางแยก.** กรมทางหลวง.

Al-Hadidy, A. I. and Yi-qiu Tan. (2009). **Evaluation of Pyrolisis LDPE Modified Asphalt Paving Materials.** Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 21, No.10 : 618- 623.

Ali, N., et al. (1996). **Mechanistic Evaluation of Fly Ash Asphalt Concrete Mixtures.** Journal of Materials in Civil Engineering.

Dong, Z.J., Sun, Z.J., Gong, X.B., and Liu, H. (2010). **Mechanism Analysis of Rutting at Urban Intersections Based on Numerical Simulation of Moving Loads.** Advanced Materials Research. Vol. 152-153. pp. 1192-1198.

Hao, P. and Liu, H., (2006). **A Laboratory Study of the Effectiveness of Various Additives on Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures.** Journal of Testing and Evaluation. vol. 34. No. 4.

Oruc and others. (2007). **Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures.** Journal of Materials Engineering and Performance. Vol. 16. pp. 578-583.

Pirabarooban, S., Zaman, M., and Tarefder, R.A. (2003). **Evaluation of Rutting Potential in Asphalt Mixes Using Finite Element Modeling.** The 2003 Annual Conference of the Transportation Association of Canada.

Walker D. and Buncher M. (1999). **Intersection Strategy.** Asphalt Institute. Lexington. Kentucky.

Wang, H. and Al-Qadi, I.L. (2010). **Evaluation of Surface-Related Pavement Damage due to Tire Braking.** Road Materials and Pavement Design, Vol. 11, No. 1, pp. 101-121.

White T.D., Haddock J.E., Hand A.J.T. and Fang H. (2002). **Contributions of Pavement Structural Layers to Rutting of Hot Mix Asphalt Pavements.** Transportation Research Board. National Research Council. National Cooperative Highway Research Program. NCHRP Report 468. Washington. D.C.

Xiao-Di, H. and Walubita, L.F. (2011). **Modeling Mechanistic Responses in Asphalt Pavements under 3-D Tire-Pavement Contact Pressure.** Journal of Central South University Technology. Vol.18. pp. 250-258.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเสาวรส หะสิตะ เกิดเมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2534 ที่อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี จบการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบุญญารักษ์วราสรณ์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ ลพบุรี อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี ในปี พ.ศ. 2551 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2556 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และในปี พ.ศ. 2556 ซึ่งสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี