ชั้นผิวทางแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพเพื่อลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม

โดย

ณิชาภา มินาบูลย์

สุธน รุ่งเรือง

อาทร ชูพลสัตย์

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2558

Surface Pavement Asphalt mixed Scrap Tire To Reduce Environmental Pollution

By

Nichapha Minaboon

Suthon Rungruang

Arthorn Chuponsat

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2015

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก งบประมาณสนับสนุนโครงการวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2558 ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่วัสดุอุปกรณ์ต่างๆสำหรับทำวิจัย

ณิชาภา มินาบูลย์

สิงหาคม 2558

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A 28/2558
ชื่อโครงการ : ชั้นผิวทางแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพเพื่อลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม
ชื่อนักวิจัย : นางสาวณิชาภา มินาบูลย์ ,นายสุธน รุ่งเรืองและ นายอาทร ชูพลสัตย์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาชั้นผิวทางแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพเพื่อลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม จากผลการศึกษาพบว่า ส่วนผสมของแอสฟัลต์ประกอบด้วย 1) แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 2) มวลรวมชนิดหินปูน และ 3) เศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ โดยทดลองเพิ่มส่วนผสมของเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ในปริมาณร้อยละที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0 , 0.25 , 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ พบว่า อัตราส่วนผสมที่มีปริมาณร้อยละของเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพที่เหมาะสมที่ใช้เสริมแอสฟัลต์ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.25:45:20:18:17 โดยมีปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมร้อยละ 5.30 โดยน้ำหนักของมวลรวม ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ มีผลทำให้ค่าดัชนีความแข็งแรงของแอสฟัลต์เท่ากับร้อยละ 88 และเสถียรภาพของแอสฟัลต์เสริมวัสดุเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพเพิ่มขึ้น เสถียรภาพมากขึ้น และแอสฟัลต์จากเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ มีค่าเสถียรภาพที่มากกว่าแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ซึ่งเกณฑ์ที่กำหนดของกรมทางหลวง

คำสำคัญ : ชั้นผิวทางแอสฟัลต์,เศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ และสิ่งแวดล้อม
E-mail Address : nichapha.min@rmutr.ac.th
ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2557 - กันยายน 2558

Abstract

Code of project : A 28/2558

Project name : Surface Pavement Asphalt mixed Scrap Tire to Reduce Environmental Pollution.

Researcher : Ms. Nichapha Minaboon , Mr.Suthon Rungang and Mr.Arthorn Chuponsat

The objectives of the research . Surface Pavement Asphalt mixed Scrap Tire to Reduce Environmental Pollution.This research studied asphalt pavement Scrap Tires breaking to reduce environmental pollution. The study finds The mixture of tarmac 1) 60-70 asphalt cement grade 2) Gross of limestone and 3) waste tire breaking down. The trial added to the mixture of scrap tire breaking down. The percentage varies 0, 0.25, 0.50 and 0.75, respectively mixture ratio is the percentage of scrap tire breaking suitable accessories Asphalt Mix Proportion (Scrap Tire : Hot Bin 1: 2. : 3: 4) 0.25: 45: 20: 18: 17. The volume of asphalt in a mixture of 5.30 percent by weight of the total mass. The results showed that The amount of scrap tire breaking down. As a result, the index is equal to 88 percent of the asphalt strength and stability of asphalt reinforced tire debris breaking amount of debris found on the tire breaking up. More stable From scrap tires and asphalt breaking. The stability over asphalt is mixed scrap tire breaking down. The criteria set by the Highways Department Standard.

Keywords : Surface Pavement Asphalt,Scrap Tire and Environmental
E-mail Address : nichapha.min@rmutr.ac.th
Period of Project : September 2014- October 2015

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ที่มาของแอสฟัลต์	4
2.2 ยางมะตอยหรือแอสฟัลต์	6
2.3 ผิวจราจรแบบแอสฟัลต์	10
2.4 ยางรถยนต์	14
2.5 การคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 การเตรียมวัสดุ	23
3.2 ทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมและออกแบบส่วนผสม	27
3.3 ทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์โดยวิธีมาร์แชล (Marshall Method)	28
3.4 ทดลองหา Theoretical Maximum Specific Gravity	29
3.5 ทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่แทนด้วยเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ	29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

3.6 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับค่าคุณสมบัติต่างๆ 30

บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย 32

4.1 คุณสมบัติของเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ 32

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม 33

4.3 การออกแบบวัสดุผสม 35

4.4 การทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติฯ 35

4.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ฯ 37

4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติดัชนีความแข็งแรง 37

4.7 ผลการเปรียบเทียบดัชนีความแข็งแรง 38

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 54

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 56

5.3 ข้อเสนอแนะ 57

บรรณานุกรม 59

ภาคผนวก 61

ภาคผนวก ก 61

ภาคผนวก ข 84

ประวัตินักวิจัยและคณะ 100

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในปัจจุบันนั้น ล้วนเกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์แทบทั้งสิ้น ความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรต้องเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว เกิดมลพิษขึ้นเกือบทุกด้าน ผู้ที่จะได้รับผลกระทบโดยก็คือ ชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่เกิดมลพิษนั้นๆ นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดการแย่งชิงเพื่อใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่เหลืออยู่ สร้างปัญหาความขัดแย้งขึ้นในสังคม ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ หากทุกคนในชุมชนร่วมในกันเข้ามามีส่วนร่วมในการป้องกันและแก้ไขปัญหาของท้องถิ่นอย่างจริงจัง ทั้งที่ลงมือกระทำด้วยตนเองตลอดจนประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ก็จะสามารถฟื้นฟูบูรณะให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในท้องถิ่นกลับคืนสภาพมาอย่างเดิมได้ ลดขยะในชุมชน

การใช้รถยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ ทำให้ของเสียจากชีวิตประจำวันเพิ่มขึ้น เกิดสภาพมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม ในประเทศไทยมียางรถยนต์เก่าเกิดขึ้นประมาณ 1.7 ล้านตัน/ปี ซึ่งยางเหล่านี้ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปเผาให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานปูนซีเมนต์และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำมาเป็นเครื่องใช้ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นถังขยะ รองเท้าหรือของใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันและในบางทียางรถยนต์ถูกใช้จนหมดสภาพการทำงานแล้วจะถูกนำไปกองเก็บไว้หรือไม่ก็ฝังกลบในพื้นดิน ซึ่งกลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เฉพาะในยุโรปมียางถึง 3 ล้านตันถูกผลิตขึ้นในแต่ละปีและ 60 – 70 เปอร์เซ็นของยางที่ผลิตขึ้นจะกลายเป็นขยะ โดยทั่วไปยางรถยนต์เก่าสร้างปัญหากับสิ่งแวดล้อมด้วยตัวเองไม่ว่าจะเป็นที่เพาะพันธุ์ยุงซึ่งเป็นสาเหตุของไข้เลือดออกหรือเมื่อถูกเผารวมกับขยะแล้วทำให้เกิดกลิ่นและเขม่าควันดำสร้างปัญหาให้กับมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมอย่างมาก

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำงานวิจัยเรื่อง ชั้นผิวทางแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพเพื่อลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม โดยมีแนวคิดที่จะเปลี่ยนรูปแบบการก่อสร้างผิวถนน ทั้งการก่อสร้างถนนใหม่ และการซ่อมแซมผิวถนนเก่า จากที่เคยใช้แอสฟัลต์ล้วน ๆ เพียงอย่างเดียวหรือใช้แอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติแทน มาเป็นการทำผิวทางแอสฟัลต์จากยางรถยนต์ที่หมดสภาพ สาเหตุที่เลือกยางรถยนต์ที่หมดสภาพมีส่วนผสมเนื่องจากยางรถยนต์มีส่วนผสมของยางแอสฟัลต์ซึ่งมาจากยางพาราที่ผลิตจากธรรมชาติและประเทศไทยเราสามารถผลิตได้เอง จึงถือได้ว่าเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศ อีกทั้งยังมีผลการศึกษาจากหลายประเทศที่นำเอายางรถยนต์ที่หมดสภาพมา ผสมทำถนนอยู่ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ถนนมีความยืดหยุ่น เมื่อเรานำเศษยาง ,มวลรวม และแอสฟัลต์มาผสมทำผิวทาง จึงนับได้ว่าเป็นการประหยัดและลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน นอกจากนี้จะเป็นวิธีที่ดีในการกำจัดยางรถยนต์ที่หมดสภาพที่นับวันจะเพิ่มปริมาณมากยิ่งขึ้น ยังจะทำให้ถนนมีคุณภาพดีขึ้นและมีราคาถูกลงเนื่องจากจึงถือได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อการคมนาคม และสิ่งแวดล้อมของประเทศอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพว่าเหมาะกับการใช้งานผิวทางแอสฟัลต์หรือไม่

1.2.2 เพื่อศึกษาการนำเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิศวกรรม โดยนำมาผสมทำผิวทางแอสฟัลต์ แทนการเผาทิ้งหรือฝังกลบลงพื้นดินซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

1.2.3 เพื่อลดอัตราการทำลายสิ่งแวดล้อม ในส่วนของการกำจัดขยะ, ของเสีย หรือวัสดุเหลือใช้ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ โดยนำมาแปรเป็นเศษยาง ในกระบวนการทำผิวทางถนนแอสฟัลต์

1.2.4 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการสร้างผิวทางแอสฟัลต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ กับการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ทั่วไป

1.2 ขอบเขตของงานศึกษา

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์ โดยใช้มาตรฐานของกรมทางหลวงประเทศไทย

1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพโดยน้ำหนักอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้มาตรฐานของกรมทางหลวง ประเทศไทย

1.3.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพกับผิวทางแอสฟัลต์โดยทั่วไป โดยใช้มาตรฐานของกรมทางหลวงประเทศไทย

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ชั้นผิวทางแอสฟัลต์(Surface Pavement Asphalt)

1.4.2 เศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ (Scrap Tire)

1.4.3 สิ่งแวดล้อม (Environmental)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบประโยชน์ของเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพโดยการนำมาใช้ทางวิศวกรรมมากยิ่งขึ้น

1.5.2 สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปเป็นแนวทางเลือกในในการพัฒนาและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในประเทศไทย และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.3 ช่วยสร้างจิตสำนึกให้กับประชาชนในการร่วมมือกันประหยัดพลังงานและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

1.5.4 เป็นฐานข้อมูลงานวิจัยในการศึกษาในแง่ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการกำจัดขยะ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยเรื่อง ชั้นผิวทางแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพเพื่อลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม ทางคณะผู้จัดทำได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย ด้านทฤษฎีและความรู้ต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ดังต่อไปนี้

2.1 ที่มาของยางแอสฟัลต์

ยางแอสฟัลต์เป็นวัสดุก่อสร้างเก่าแก่ที่สุดชนิดหนึ่งของมนุษย์ มนุษย์รู้จักคุณประโยชน์ของยางแอสฟัลต์เป็นเวลานานแล้วจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น แข็งแรง ทนทาน ยึดเกาะได้ดี ซึมน้ำไม่ได้ และเป็นเทอร์โมพลาสติก คือสามารถหลอมตัวได้เมื่อได้รับความร้อนและใช้งานได้ขณะหลอมเหลวอยู่และกลับแข็งตัวได้เมื่ออุณหภูมิเย็นลง นอกจากนั้นยังสามารถทำให้หลอมเหลวได้โดยผสมกับสารละลายประเภทน้ำมันหรือน้ำ โดยเหตุที่ยางแอสฟัลต์มีคุณสมบัติพิเศษหลากหลายประการดังกล่าวจึงนิยมใช้เป็นตัวประสานหรือยึดเกาะในการก่อสร้างผิวถนนส่วนใหญ่รวมทั้งสนามบินใช้ทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังใช้คาดหลังคาบ้านเรือนในประเทศหนาว สระว่ายน้ำ ผิวหน้าเขื่อนหรือผสมวัสดุอื่นทำผิวสนามต่างๆ เป็นต้น

มนุษย์ในสมัยโบราณรู้จักใช้ยางแอสฟัลต์ทำอิฐพื้นที่เรียกว่า Mastic Mortar (เป็นส่วนผสมของแอสฟัลต์กับทรายละเอียดและฝุ่นเล็ก ๆ) ใช้แอสฟัลต์ทำผิวถนนหรือกำแพงกันดิน ใช้ดองมัมมี่ในอียิปต์ในราว 300 ปี ก่อนคริสตศักราช ใช้เป็นส่วนประกอบในการจุดไฟเวลาทำการรบของพวกกรีกโบราณ ในบางตอนของคัมภีร์ใบเบิลยังกล่าวไว้ว่าใช้ยางแอสฟัลต์ทำหมันอุดเรือของ Noah และใช้ยาตะกร้าสำหรับใส่โมเสสขณะลอยในแม่น้ำไนล์

ถนนที่ทันสมัยแห่งแรกที่ทำด้วยยางแอสฟัลต์ได้สร้างขึ้นในกรุงปารีสประเทศฝรั่งเศส ในราวปี ค.ศ. 1802 โดยทำจากหินแอสฟัลต์ที่พบในประเทศสวิสเซอร์แลนด์และในปี 1838 มีการนำหินแอสฟัลต์มาใช้เป็นทางเดินเป็นครั้งแรกใน Philadelphia สหรัฐเมริกา ถนนที่ใช้ยางแอสฟัลต์สายแรกในสหรัฐอเมริกาสร้างในเมือง Newark รัฐ New Jersey ในปี ค.ศ.1870 และใช้คาดหลังคากันน้ำซึมก่อน ค.ศ.1900ต่อจากนั้นก็มีการใช้ยางจาก Lake Asphalt และจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน

2.1.1 ที่เกิดยางแอสฟัลต์

ยางแอสฟัลต์เป็นสารสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในรูปแบบของแข็ง เช่น หินแอสฟัลต์ หรือ กึ่งของแข็ง เช่น ในทะเลสาบแอสฟัลต์ในเกาะทรินิแดด นอกจากนั้นยังเกิดในหินจำพวกหิน

ทรายหรือ Limestone เช่น Alberta Sand น้ำมันดิบโดยมากมีแอสฟัลต์ผสมอยู่ ในปัจจุบันเนื่องจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันยางแอสฟัลต์ส่วนมากที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่มาจากผลพลายได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ

2.1.2 การใช้ยางแอสฟัลต์

เนื่องจากสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่นำหน้าในด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างและออกแบบถนน ในราวปี ค.ศ. 1920 สหรัฐอเมริกาใช้ยางแอสฟัลต์ประมาณ 1.7 ล้านตัน โดยใช้ทำผิวจราจรประมาณ 0.8 ล้านตัน ทำผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับหลังคาอีกประมาณ 0.7 ล้านตันส่วนที่เหลือในงานด้านอื่น ๆ ต่อมาในปี 1956 ปริมาณในการใช้ยางแอสฟัลต์สูงขึ้น 18 ล้านตัน โดยใช้สำหรับทำถนนประมาณ 13 ล้านตัน ที่เหลือใช้สำหรับทำหลังคาและความมุ่งหมายอื่น ๆ เช่น ทำอุปกรณ์กันซึม เคลือบท่อ พ่นกันสนิมใต้ท้องรถ เป็นต้น ปัจจุบันทั่วโลกใช้ยางแอสฟัลต์ประมาณ 100 ล้านตัน/ปี จากการสำรวจพบว่าประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ใช้ไปในการทำถนน อีก 30 เปอร์เซ็นต์ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอย่างอื่น และในปี 1979 สหรัฐใช้ยางสูงถึง 38 ล้านตัน ในประเทศแคนาดาใช้ยางประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์สำหรับทำถนน 16 เปอร์เซ็นต์สำหรับคาดหลังคากันซึม และอีก 4 เปอร์เซ็นต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ สำหรับในประเทศไทยเท่าที่ทราบว่ามีการใช้ยางแอสฟัลต์สำหรับทำถนนในราวปี พ.ศ. 2478 และในปี 2498 ได้มีการใช้ยางแอสฟัลต์ทำถนนที่ได้มาตรฐานสากลคือถนนมิตรภาพ (Friendship Highway) ซึ่งได้รับความร่วมมือการก่อสร้างจากสหรัฐ ต่อจากนั้นยางแอสฟัลต์ก็เป็นวัสดุที่นิยมใช้สำหรับทำผิวจราจรแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) ตลอดมาจนปัจจุบัน

2.1.3 ส่วนประกอบยางแอสฟัลต์

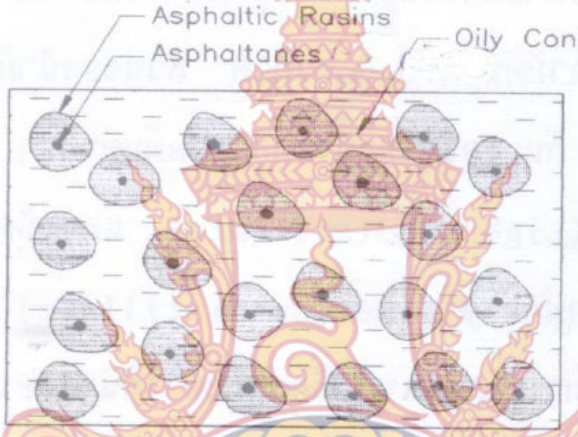
ลักษณะที่เป็นประโยชน์อย่างที่สุดของยางแอสฟัลต์คือที่อุณหภูมิปกติสามารถใช้ได้ในรูปของของเหลวที่ไหลได้คล้ายครีม และในลักษณะกึ่งของแข็งหรือของแข็งก็สามารถทำให้หลอมเหลวได้โดยการให้ความร้อนสูง ๆ หากนำตัวอย่างแอสฟัลต์ไปวิเคราะห์ทางเคมีจะพบว่าส่วนประกอบยางแอสฟัลต์มีส่วนสำคัญ 2 อย่างคือ โฮโดรเจนกับคาร์บอน และยังมีแกสโซลีนซึ่งระเหยได้ง่ายและไม่มีคุณสมบัติในการยึดเกาะรวมอยู่ด้วย นอกจากนั้นยังมีสารเคมีอีกหลายชนิดซึ่งบางอย่างไม่สามารถตรวจพบได้ โมเลกุลของแอสฟัลต์มีขนาดใหญ่อย่างของสตาร์และโปรตีน (Starch and Protean) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์สารเคมีไม่สามารถบอกความข้นเหลวได้มากนัก หากทำการวิเคราะห์ทางกายภาพจะพบว่ายางแอสฟัลต์ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

- Asphalt Tanes เป็นผงสีน้ำตาลเกือบดำ สามารถแยกออกจากยางแอสฟัลต์ได้เมื่อให้ความร้อนสูงจะไม่ละลาย แต่จะลุกเป็นไฟเลย

- Asphaltic Rasins เป็นสารแข็งสีน้ำตาลแก่ เปราะ เปลี่ยนสภาพได้ง่ายและละลายได้เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 200 °F

- Oily Constituents เป็นส่วนที่เหลือหลังจากแยก Asphalt Tanes และ Asphaltic Rasins ออกแล้ว ลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลแก่ หรือน้ำตาลแกมแดงคล้ายน้ำมันเครื่องสีเข้ม ๆ

ยางแอสฟัลต์ทุกชนิดประกอบด้วยของแข็ง 2 อย่างคือ Asphalt Tanes และ Asphaltic Rasins และส่วนที่เป็นน้ำมันเหลว ในการเกาะตัวกัน Asphalt Tanes จะทำหน้าที่คล้าย Nucleus และห่อหุ้มด้วย Asphaltic Rasins ส่วนประกอบทั้ง 2 อย่างนี้แขวนลอยอยู่ใน Oily Constituents ดังรูปที่ 1แสดงโครงสร้างโดยทั่ว ๆ ไปของยางแอสฟัลต์



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างโดยทั่ว ๆ ไปของยางแอสฟัลต์ : ณรงค์ กุหลาบ (2543,หน้า 3)

2.2 ยางมะตอย หรือแอสฟัลต์ (Asphalt)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ และสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ เป็นผลิตภัณฑ์หลักสำหรับการก่อสร้างถนน และทางท้าว มีการใช้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมในด้านคมนาคม และการก่อสร้าง รวมถึงการนำมาใช้ประโยชน์สำหรับภาคครัวเรือนที่เกี่ยวข้องกับถนนหรือทางท้าว

การผลิตยางมะตอยที่ใช้ในปัจจุบันผลิตมาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบเป็นหลัก สำหรับภาคครัวเรือนสามารถหาซื้อได้ตามร้านขายวัสดุก่อสร้างทั่วไปซึ่งเป็นยางมะตอยสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมพร้อมใช้งาน ส่วนยางมะตอยที่เกิดจากธรรมชาติหรือเบอร์มูเดซแอสฟัลต์ (Bermudez asphalt) จะพบน้อยมาก เช่น บริเวณชายฝั่งของเวเนซูเอลา

2.2.1 ชนิดของยางมะตอย

2.2.1.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ เป็นยางมะตอยแท้ที่เป็นพื้นฐานของยางมะตอยอีกสองชนิด ผลิตได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ มีลักษณะเป็นสีดำหรือสีน้ำตาลปนดำ มีลักษณะเป็นกึ่งของแข็งประกอบด้วยบิทูเมนเป็นหลัก สามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งก่อนใช้ต้องผ่านความร้อนประมาณ 140-150 องศาเซลเซียสก่อน เมื่อแห้งจะแข็งทำให้เป็นวัสดุประสาน และยึดเกาะวัสดุต่างๆได้ดี แบ่งเป็นเกรดต่างๆ ตามค่าเพนิเทรชันเป็น 5 เกรด คือ 40-50, 60-70, 80-100, 120-150และ 200-300 โดยเกรดที่มีค่าตัวเลขมากจะแสดงถึงความอ่อนของยางมะตอยที่มากด้วย ซึ่งเกรด 200-300 จะอ่อนที่สุด โดยที่อุณหภูมิห้องเมื่อใช้นิ้วกดเบาๆจะ

เกิดรอบบุ่มได้ง่าย ส่วนเกรด 40-50 เป็นเกรดที่แข็งที่สุด ต้องใช้แรงกดเพิ่มขึ้นจึงจะทำให้เกิดรอย นอกจากนั้น แอสฟัลต์ซีเมนต์ ยังแบ่งออกเป็น 3 เกรด ได้อีก คือ

ภาพที่ 2-2 แอสฟัลต์ซีเมนต์

– เกรดเพนิเทรชัน (Penetration grade) ได้แก่ AC 60/70 (AC หมายถึงยางมะตอยซีเมนต์ และ 60/70 หมายถึงค่าเพนิเทรชันที่อยู่ในช่วง 60-70 คือเข็มกดลงได้ 6-7 มิลลิเมตร)

– เกรดเป่า (Blown grade) คือ ยางมะตอยที่ได้จากการนำยางมะตอยเกรดเพนิเทรชันไปเป่าที่ความร้อน 250-300 องศาเซลเซียส จนยางมะตอยมีปริมาณของ asphaltances เพิ่มขึ้น ทำให้มีความแข็ง และทนความร้อนได้ดีขึ้น ยางมะตอยเกรดนี้ ได้แก่ R 85/25, R 85/40, R 115/15, R 138/10 และ R 155/7 เป็นต้น (R หมายถึง คุณลักษณะคล้ายยาง, ตัวเลขด้านหน้า หมายถึง อุณหภูมิของยางมะตอยที่จุดอ่อนตัว และ ตัวเลขด้านหลัง หมายถึง ค่าเพนิเทรชันเฉลี่ยของยางมะตอย)

– เกรดแข็ง (Hard grade) คือ ยางมะตอยที่ได้จากการนำยางมะตอยเกรดเพนิเทรชันไปกลั่นในระบบสูญญากาศที่อุณหภูมิสูง ทำให้ยางมะตอยมีความแข็งมากขึ้น เกรดยางมะตอยชนิดนี้ ได้แก่ H 80/90 (H หมายถึง ยางมะตอยที่มีความแข็งสูง, ตัวเลขด้านหน้า หมายถึง อุณหภูมิของยางมะตอยที่จุดอ่อนตัว และ ตัวเลขด้านหลัง หมายถึง ค่าเพนิเทรชันของยางมะตอย)

2.2.1.2 คัทแบคแอสฟัลต์ เป็นยางมะตอยที่มีส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลาย เพื่อลดความหนือ เหมาะ และสะดวกต่อการใช้งานโดยไม่ต้องผ่านความร้อน เมื่อตัวทำละลายระเหยไปจะทำให้ยางมะตอยมีเนื้อแข็งขึ้น ทำหน้าที่ประสานวัสดุต่างให้ยึดเกาะกันแน่น โดยยางมะตอยชนิดนี้จะแบ่งเป็นเกรดต่างๆตามสัดส่วน และชนิดของตัวทำละลาย เช่น ชนิด RC ใช้แก๊สโซลีนเป็นตัวทำละลาย ชนิด MC ใช้คีโรซีนเป็นตัวทำละลาย สำหรับเกรดของยางมะตอยชนิดนี้ แบ่งเป็น 3 เกรด คือ

– เกรดระเหยไว (Rapid curing) ได้แก่ RC 70, RC 250, RC 800

– เกรดระเหยปานกลาง (Medium curing) ได้แก่ MC 30, MC 70, MC 3000

– เกรดระเหยช้า (Slow curing) ได้แก่ SC 70, SC 800

2.2.2.3 แอสฟัลต์อิมัลชัน หรือ ยางมะตอยน้ำ เป็นยางมะตอยที่เกิดจากการผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ด้วยการเติมสารอิมัลซิไฟด์เพื่อให้ยางมะตอยสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี ซึ่งจะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์แตกตัวกระจายออกในรูปของหยดขนาดเล็กผสมกับน้ำ ซึ่ง

โดยทั่วไปแอสฟัลต์อิมัลชันจะประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 55-75% สารอิมัลซิไฟด์ 3% และส่วนที่เหลือจะเป็นน้ำ 22-42% แต่ทั้งนี้ อาจมีการเพิ่มสารอื่นๆด้วย เช่น สารเพิ่มความเสถียร สารป้องกันการหลุดลอก สารบำรุงการเคลือบ เป็นต้น ยางมะตอยชนิดนี้เมื่อใช้งาน น้ำจะระเหยออกไป และเกิดการรวมตัวของแอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นของแข็งยึดเกาะวัสดุ ชนิดของแอสฟัลต์อิมัลชัน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดประจุบวก เหมาะสมหรับใช้งานกับวัสดุประเภทหินแกรนิต หินปูน หินบะซอล์
2. ชนิดประจุลบ เหมาะสมหรับใช้งานกับวัสดุประเภทหินทราย

สำหรับเกรดของยางมะตอยชนิดนี้ แบ่งเป็น 3 เกรด คือ

– เกรดแตกตัวเร็ว (Rapid setting) ได้แก่ CRS 1, CRS 2
– เกรดแตกตัวเร็วปานกลาง (Medium setting) ได้แก่ CMS 2, CMS 2h
– เกรดแตกตัวเร็วช้า (Slow setting) ได้แก่ CSS 1, CSS 1h

2.2.2 องค์ประกอบยางมะตอย

องค์ประกอบทางเคมีของยางมะตอยจะประกอบด้วยบิทูเมน (Bitumen) เป็นหลัก ซึ่งเป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนจากองค์ประกอบของน้ำมันดิบหลังจากการกลั่น ประกอบด้วยสารที่ไม่ระเหยเป็นส่วนใหญ่ มีลักษณะเป็นของเหลวกึ่งของแข็งที่มีความหนืดสูง มีดำหรือน้ำตาลออกดำ สามารถอ่อนตัวเหลวหนืดเมื่อได้รับความร้อน ไม่ละลาย และไม่ซึมน้ำ

ภาพที่ 2-3 ยางมะตอย

ส่วนองค์ประกอบทางกายภาพ ได้แก่

1. Asphaltances มีลักษณะเป็นผงสีดำหรือสีน้ำตาลออกดำ ไม่ละลายง่ายเมื่อได้รับความร้อน แต่จะติดไฟเมื่อเกิดความร้อนที่สูง
2. Asphaltic Resins มีลักษณะเป็นของแข็ง เปราะง่าย มีสีน้ำตาลแก่ เปลี่ยนสภาพได้ง่าย และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
3. Oily Constituents มีลักษณะหนืด สีน้ำตาลแก่

2.2.3 คุณสมบัติของยางมะตอยที่ดี

2.2.3.1 สามารถเกาะรวมกับวัสดุผสมได้ทันทีเมื่อได้รับความร้อนที่มีการอ่อนตัว
2.2.3.2 ป้องกันน้ำซึมได้ดี

2.2.3.3 มีความทนทานต่อลม แสงแดด ความเป็นกรด-ด่าง เกลือ และสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี

2.2.3.4 มีความยืดหยุ่น และทนต่อแรงกด แรงสั่นสะเทือนได้ดี

ภาพที่ 2-4 รูปตัดตามขวางของถนน

2.2.4 การใช้งานยางมะตอย

ยางมะตอยจะถูกใช้งานในงานก่อสร้างหรือซ่อมแซมถนนหรือทางเดินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะใช้งานโดยการเทราดหรือผสมกับวัสดุรวมพวกหินต่างๆในชั้นของผิวทางในงานต่างๆ เช่น การเตรียมผิวทาง การฉาบผิวทาง การเสริมผิวทาง การก่อสร้างผิวทาง และการซ่อมแซมผิวทาง สำหรับภาคครัวเรือนมักมีการใช้ยางมะตอยในด้านต่างๆ อาทิ การซ่อมหลุม การยาแนวคอนกรีต เป็นต้น ซึ่งสามารถหาซื้อยางมะตอยสำเร็จรูปที่มีการผสมวัสดุรวมพร้อมใช้งาน

2.3 ผิวจราจรแบบแอสฟัลต์ (Asphalt Pavement)

เนื่องจากยางแอสฟัลต์ใช้มากในการทำผิวจราจรแบบหยุ่นตัว ดังนั้นจึงควรทราบลักษณะและพฤติกรรมต่าง ๆ ของผิวจราจรชนิดนี้ไว้พอสังเขป

2.3.1 คุณลักษณะ ความมุ่งหมายในการสร้างผิวจราจรเพื่อให้ยวดยานสามารถใช้ได้ทุกสภาพอากาศนั้นคือต้องเตรียมฐานรองรับที่เหมาะสม เตรียมระบบระบายที่จำเป็น ผิวจราจรที่ดีจะต้องมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

1.) มีความหนาพอเพียงและมีความแข็งแรงภายในตัวเองที่สามารถจะทนทานต่อยวนยานที่คาดคะเนได้ตลอดอายุการออกแบบ

2.) ต้านทานการซึมผ่านและความชื้นสะสมภายใน

3.) มีผิวบนสุดหรือส่วนสัมผัสล้อที่ราบเรียบและทนทานต่อการสึกหรอ การเสียรูปร่าง การลื่นไถล และการเสื่อมสภาพโดยความเปลี่ยนแปลงของอากาศหรือปฏิกิริยาเคมี

2.3.2 คำจำกัดความและรายละเอียดอื่น ๆ

ผิวจราจรแบบแอสฟัลต์คือผิวจราจรใด ๆ ทีมีผิวบนสุดสร้างด้วยส่วนผสมของยางแอสฟัลต์ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นหิน คลุกเคล้ากับยางแอสฟัลต์จนเข้ากันได้ดี และมีชั้นอื่น ๆ รองข้างใต้อีกชั้นหรือสองชั้น (พื้นทางและรองพื้นทาง) ซึ่งอาจจะเป็นวัสดุดังต่อไปนี้

1.) พื้นทางชนิดแอสฟัลต์ ซึ่งประกอบด้วยของผสมระหว่างหินกับยางแอสฟัลต์

2.) หินย่อย กรวด หรือกากถลุงแร่ (Slag)

3.) คอนกรีต

4.) อิฐหรือหินก้อนเรียงเป็นชั้น ๆ

2.3.3 หน้าที่ของชั้นต่างๆ ของผิวจราจร

ผิวจราจรชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างผิวจราจรเมื่อได้รับน้ำหนักล้อยวดยานจะทำหน้าที่ดังนี้

2.3.3.1 ชั้นบนสุด (Wearing Surface)

ชั้นบนสุดของผิวจราจรเป็นส่วนที่สัมผัสล้อยวดยานโดยตรง ฉะนั้นต้องมีความแข็งแรงทนทานต่อการเสียรูปร่าง ทนแรงล้า (Fatigue) และมีความหยุ่นตัว ในขณะเดียวกันต้องมีความราบเรียบเหมาะกับการขับขี่ยวนยาน นอกจากนั้นจะต้องป้องกันการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นใต้ลงไป ทนต่อการสึกหรอโดยการขัดสีของล้อ มีความฝืดไม่ลื่นไถล และสามารถยึดติดแน่นกับชั้นพื้นทางได้ดี

2.3.3.2 ชั้นพื้นทางและรองพื้นทาง (Base and Subbase)

เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของโครงสร้าง มีหน้าที่แผ่กระจายน้ำหนักล้อลงสู่ฐานรองรับชั้นล่าง เพื่อที่จะให้ทำหน้าที่นี้ได้อย่างสมบูรณ์ ชั้นดังกล่าวจะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงให้พอเพียงที่จะรับน้ำหนักได้โดยไม่เสียหาย

2.3.3.3 วัสดุทำผิวจราจรแบบแอสฟัลต์ วัสดุทำผิวจราจรแบบแอสฟัลต์ประกอบด้วยวัสดุหลักสองอย่างคือ หินย่อยและยางแอสฟัลต์

2.3.3.3.1 หินย่อย (Aggregates) ผิวจราจรที่ทำด้วยหินผสมยางแอสฟัลต์โดยทั่ว ๆ มีหินผสมอยู่ 90 เปอร์เซ็นต์ ถึง 92 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด และมียางแอสฟัลต์ผสมอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าลักษณะและคุณภาพของหินเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ฉะนั้นถ้าจะต้องการผิวจราจรที่มีความแข็งแรงก็ต้องผสมด้วยหินที่มีคุณภาพดี หินที่มีคุณภาพต่ำอาจทำลายชั้นพื้นทางได้ เพราะความแข็งแรงที่ต้องการของชั้นดังกล่าวมีไม่มากเหมือนชั้นบนสุด พื้นทางบางชนิดสามารถสร้างได้ในราคาถูกเพราะอาจใช้วัสดุท้องถิ่นโดยตรงหรือโดยการปรับปรุงคุณภาพ หินก้อนโตที่เรียกว่าหินหยาบคือหินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 นิ้ว หินเหล่านี้ได้จากการย่อยหินหรือ Slag หรือจากการย่อยหรือร่อนกรวด ส่วนหินละเอียดคือหินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 นิ้ว ซึ่งได้จากธรรมชาติหรือจากการร่อนหินย่อย บางครั้งพวกเชื้อประสาน เช่น หินฝุ่นก็เรียกรวมอยู่ในจำพวกหินละเอียด

2.3.3.3.2 ยางแอสฟัลต์ (Asphalt) ยางแอสฟัลต์เป็นส่วนประกอบผสมอยู่ในน้ำมันปิโตรเลียม ในน้ำมันปิโตรเลียมส่วนใหญ่มีน้ำมันผสมอยู่ หรือบางทีในน้ำมันดิบก็เป็นแอสฟัลต์ทั้งหมด และ

ในทางกลับกันบางครั้งน้ำมันดิบก็ไม่มีแอสฟัลต์อยู่เลย ทั้งนี้แล้วแต่แหล่งกำเนิด น้ำมันดิบแบ่งตามลักษณะของแอสฟัลต์ที่ผสมอยู่ได้ดังนี้

- น้ำมันดิบชนิดมีแอสฟัลต์เป็นส่วนประกอบหลัก
- น้ำมันดิบชนิดมีพาแรฟฟินเป็นส่วนประกอบหลักและไม่มีแอสฟัลต์
- น้ำมันดิบที่มีส่วนผสมทั้งแอสฟัลต์และพาแรฟฟิน

การกลั่นน้ำมันดิบจะได้น้ำมันเกรดต่างๆ และมีผลพลายได้เป็นแอสฟัลต์ดังกล่าวมาแล้ว ยางแอสฟัลต์เป็นวัสดุ Bituminous เพราะประกอบด้วยสาร Bitumen ซึ่งประกอบด้วยHydrocarbon ละลายอยู่ใน Carbondisulsphide (CS_2) , Tar ซึ่งได้จากการกลั่นสลายของ Soft Coal ก็ประกอบด้วยสาร Bitumen ดังนั้นทั้งปิโตรเลียม, แอสฟัลต์ และ Coal Tar ก็รวมเรียกว่าวัสดุ Bitumen

2.3.3.4 การกำหนดส่วนผสมแอสฟัลต์กับหินย่อย ผิวจราจรที่ดีจะต้องได้รับการออกแบบที่ถูกต้อง ส่วนผสมที่มียางแอสฟัลต์มากไปจะทำให้ความแข็งแรงภายในลดลง เสียรูปร่างได้ง่ายเมื่อรับน้ำหนักจร และยังทำให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ได้เมื่อเมื่ออากาศร้อน ขณะเดียวกันถ้าผสมยางแอสฟัลต์น้อยไปก็จะทำให้ส่วนผสมมีแง่มุมแหลมคมสึกกร่อนได้ง่าย และกันน้ำไม่ได้ ดังนั้นความมุ่งหมายของการออกแบบส่วนผสมเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่มีความแข็งแรงพอเพียงและมีความคงทนสูงสุด

2.3.3.5 การเตรียมยางแอสฟัลต์สำหรับงานก่อสร้าง งานก่อสร้างถนนโดยทั่วไปใช้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement or A/C) ซึ่งในสภาพอากาศธรรมดาจะเป็นวัสดุกึ่งของแข็ง มีความหนืดมาก ต้องทำให้ละลายชั่วคราวก่อนใช้งานต่าง ๆ เช่น กรณีต้องปั๊มป์ผ่านท่อ ขนย้ายโดยใส่แท้งก์ ฉีดผ่านหัวฉีด หรือผสมกับหินย่อย เมื่อการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วยางแอสฟัลต์จะกลับแข็งตัวสู่สภาพเดิม และทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมยึดเกาะและกันน้ำ ขณะเดียวกันก็ให้ความคงทน การทำยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้เหลวชั่วคราวเพื่อเหมาะกับการใช้งานทำได้ 3 วิธี คือ

2.3.3.5.1 โดยการหลอมให้เหลวด้วยความร้อน ภายหลังเมื่อทำการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วยางแอสฟัลต์ซีเมนต์จะเย็นตัวลงและเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลับคืนสู่สภาพเดิม คือกึ่งของแข็ง

2.3.3.5.2 โดยการละลายในสารละลายของปิโตรเลียมบางชนิด วิธีการเช่นนี้เรียกว่า Cutting back ยางแอสฟัลต์ที่ผสมเจือจางแล้วเรียกว่า Cutback Asphalt ภายหลังเมื่อก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วสารละลายดังกล่าวจะระเหยไป เหลือแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์

2.3.3.5.3 โดยการผสมน้ำ ในสภาพธรรมดายางกับน้ำจะไม่ผสมกัน แต่สามารถทำให้ผสมกันได้โดยการกวนหรือตีอย่างแรงให้เข้ากันระหว่างน้ำกับยางแอสฟัลต์ โดยผสมสารช่วยเร่งปฏิกริยาจนทำให้ยางแอสฟัลต์เม็ดเล็ก ๆ ผสมอยู่กับน้ำ ผลผลิตที่ได้เรียกว่า Emulsified Asphalt และพร้อมที่จะใช้งานได้ทันทีในอุณหภูมิธรรมดา ขณะใช้ก่อสร้างน้ำกับยางจะพยายามแยกตัวออกจากกัน เม็ดเล็ก ๆ ของยางแอสฟัลต์จะพยายามยึดเกาะเป็นแผ่นบาง ๆ ต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นผลทำให้ยึดเกาะเม็ดหินเข้าด้วยกันขณะที่น้ำ

ระเหยออกไป เมื่อยางและน้ำแยกตัวกันเราเรียกว่า Breaks หรือ Sets ยาง Emulsified หรือยาง Cutback เราเรียกรวมกันว่า Liquid Asphalt

2.3.3.6 ชนิดของการก่อสร้างผิวจราจรแบบแอสฟัลต์ การก่อสร้างผิวจราจรแบบแอสฟัลต์ ทำได้หลายวิธี มีวิธีเรียกชื่อตามกรรมวิธีก่อสร้างหรือตามสภาพที่ก่อสร้าง ชนิดของการก่อสร้างดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

2.3.3.6.1 ชนิดผสมโรงงานหรือผสมเสร็จ (Plant Mix) ส่วนผสมชนิดนี้บางทีเรียกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) เป็นส่วนผสมที่ทำในโรงงานหรือที่สร้างขึ้นในบริเวณก่อสร้าง คอนกรีตแอสฟัลต์ประเภทนี้ได้ชื่อว่าเป็นชนิดที่ดีที่สุดเพราะสามารถควบคุมคุณภาพได้ทุกขั้นตอนการผลิต ส่วนผสมดังกล่าวประกอบด้วยหินย่อยขนาดได้มาตรฐานและมีคุณภาพสูงผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ยางแอสฟัลต์และหินถูกให้ความร้อนสูงจาก 250 °F ถึง 325 °F (โดยแยกกัน) ชั่งแล้วผสมอัตราส่วนที่ออกแบบไว้แล้วผสมคลุกเคล้ากันในถังผสม (Pugmill Unit) จนได้อุณหภูมิของผสมที่กำหนด จึงบรรทุกส่วนผสมกำลังร้อน ๆ นี้ไปปูลาดยางยังสถานที่ก่อสร้าง โดยใช้รถปู (Paving machine) ต่อจากนั้นจึงบดอัดด้วยรถบดอัดล้อยางและล้อเหล็กขณะยังร้อน ๆ จนให้ความแน่นตามต้องการก่อนที่ส่วนผสมจะเย็นลง การทำ Slurry Seal ก็ทำแบบผสมเสร็จแต่หินขนาดเล็กมาก ใช้ประดับเพื่อความราบเรียบของผิวจราจรแต่มีความแข็งแรงน้อย

ส่วนผสมที่ผสมจากโรงงานนอกเหนือจากคอนกรีตแอสฟัลต์แล้วยังมี ส่วนผสมอื่น ๆ อีก เช่น Sand Asphalt, Sheet Asphalt หรือชนิดส่วนผสมหินหยาบ ซึ่งมีวิธีการเตรียมและการปูคล้ายๆกับคอนกรีตแอสฟัลต์ อย่างไรก็ตามส่วนประกอบที่สำคัญในส่วนผสมทุกชนิดคือยางแอสฟัลต์ซีเมนต์

คอนกรีตแอสฟัลต์ผสมเสร็จจากโรงงานอาจใช้แอสฟัลต์เหลวก็ได้ โดยหินย่อยจะได้รับการอบแห้งพอสมควรและนำมาผสมทันทีที่นำมาจากกองพัก (Stock Pile) ส่วนผสมชนิดนี้เรียกว่า Cold Mixes (ถึงแม้จะมีการให้ความร้อนเล็กน้อยขณะผสมก็ตาม) และสามารถทำการปูและบดอัดขณะที่ยังเย็นอยู่ บางครั้งจึงเรียกวิธีการปูหรือส่วนผสมแบบนี้ว่า Cold-Laid ยางแอสฟัลต์ที่ใช้อาจจะเป็นยางน้ำ (Emulsified Asphalt) ก็ได้ เพื่อเป็นการเร่งให้ปริมาณน้ำระเหยไปโดยรวดเร็ว อาจใช้รถเกรดตีกลับไปกลับมาเหมือนตีลูกรังแล้วจึงบดอัดให้แน่นต่อไป

2.3.3.6.2 ชนิดผสม ณ สถานที่ก่อสร้าง (Mixed –in-Place or Road -Mixed) ยางจำพวก Cutback หรือ Emulsified มีความเหลวมากพอที่จะพ่นลงผสมกับหินย่อยได้ในอุณหภูมิปานกลาง ถ้าทำการพ่นในสถานที่ก่อสร้างเราเรียกว่าวิธีการก่อสร้างชนิดนี้ว่า Mixed –in-Place อย่างไรก็ตามแม้กระทำบนผิวถนน ลานจอดรถ หรือสนามบิน เราก็ยังเรียกวิธีแบบนี้ว่า Road-Mixed การก่อสร้างแบบนี้สามารถใช้ทำผิวจราจร พื้นทางและรองพื้นทางได้ ถ้าใช้ทำผิวจราจรจะเหมาะสำหรับปริมาณยวดยานปานกลางหรือต่ำเท่านั้น ไม่เหมาะสมกับปริมาณยวดยานสูง ๆ และน้ำหนักมาก อย่างไรก็ตามถ้าปูคอนกรีตแอสฟัลต์ทับอีกทีก็สามารถรับปริมาณยวดยานสูง ๆ ได้ ข้อดีของการผสม ณ ที่ก่อสร้างคือ

- ใช้หินย่อยทีมีอยู่แล้วที่ตัวคันทาง หรือบริเวณใกล้เคียงโดยไม่ต้องมีกรรมวิธีมาก

- ไม่ต้องมีโรงงานผสม การก่อสร้างสามารถทำได้โดยใช้เครื่องจักรธรรมดา เช่น รถเกรด รถผสมแบบมีฟันเกลียวหมุน และเครื่องผสมชนิดเคลื่อนย้ายได้ง่าย ฯลฯ

2.3.3.6.3 ชนิดพ่นยางลงผสม (Asphalt Spray Applications) การสร้างผิวจราจรแบบที่ประหยัดอีกแบบหนึ่งคือ การพ่นยางแอสฟัลต์ลงบนหินย่อยที่เตรียมไว้แล้วบนพื้นยาง การพ่นยางสามารถกำหนดปริมาณได้ค่อนข้างแน่นอนในสภาพหลอมเหลว ตัวอย่างผิวจราจรที่ใช้วิธีพ่นดังกล่าวคือ

- Surface Treatment and Seal Coat ผิวจราจรแบบนี้ทำโดยการพ่นยางที่หลอมเหลวลงบนพื้นทางที่ปูลาดด้วยหินย่อยและหินบดอัดไว้ก่อนแล้ว บางครั้งเป็นการตบแต่งหน้าของผิวจราจรเดิมให้เพิ่มความราบเรียบหรือกันซึมได้ดียิ่งขึ้น โดยการพ่นยางลงทับแล้วสาดหินเกร็ดลงทับอีกชั้นหนึ่ง (หรือไม่ลงหินเกร็ดก็ได้) เราเรียกวิธีการนี้ว่า Seal Coat เป็นการช่วยรักษาไม่ให้หินหลุดล่อนและเพิ่มความฝืดให้กับผิวจราจร

- Multiple Surface Treatment คือการพ่นยางและหินทับกันสองชั้นหรือมากกว่าขึ้นไป เหมาะสำหรับผิวจราจรแบบยวดยานปานกลางหรือน้อย

- Tack Coat คือการพ่นยางลงเพื่อเป็นตัวยึดระหว่างชั้นต่อชั้น เช่น กรณีคอนกรีตแอสฟัลต์ลงบนพื้นทางเดิม (ซึ่งอาจจะเป็นพื้นคอนกรีตหรือผิวลาดยางที่เสียหาย) ต้องพ่นยาง Tack Coat ก่อนเพื่อให้เป็นตัวยึดเกาะระหว่างผิวเดิมกับผิวใหม่ หรือกรณีทำ Surface Treatment ก็ต้องพ่น Tack Coat เพื่อให้เม็ดหินยึดกับชั้นพื้นทางและรองรับการยึดเกาะกับหินชั้นต่อไป

- Prime Coat คือการพ่นยางเตรียมผิวพื้นทางให้เหมาะสมกับงานลาดยาง เช่น พื้นทางประเภทวัสดุเป็นเม็ด ต้องพ่นยาง Prime Coat เหลวมาก ๆ ลงไปเพื่ออุดช่องระหว่างเม็ดวัสดุและเพิ่มความแข็งแรงของผิวพื้นทางก่อนที่จะพ่นยาง Tack Coat

- Penetration Macadam เป็นวิธีการสร้างผิวจราจรแบบเก่าแต่ก็ยังคงทนอยู่และนิยมทำบ้างในปัจจุบัน วิธีการก่อสร้างทำโดยบดอัดหินก้อนโต ๆ ผสมหินฝุ่นลงบนผิวที่ต้องการก่อสร้างแล้วพ่นยางลงไปยางเหลวจะซึมลงไปยึดเกาะหินเข้าด้วยกัน ปัจจุบันนิยมทำเป็นชั้นพื้นทางก่อนที่จะปูคอนกรีตแอสฟัลต์หรือทำ Surface Treatment

2.4 ยางรถยนต์

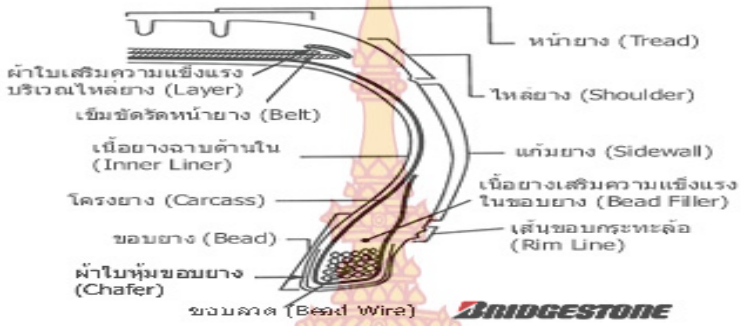
ยางรถยนต์ (อังกฤษ: tire) หรือ (อังกฤษ: tyre) คือชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นล้อของรถยนต์หรือล้อของรถประเภทต่าง ๆ ยางรถยนต์ มีสีดำ รูปร่างกลมมีรูตรงกลาง เป็นวงแหวน ภายในกลวงบรรจุ อากาศที่มีความดันสูง หรือ ก๊าซไนโตรเจนเพื่อเพิ่มความปลอดภัย หรือ ยางในรถยนต์สำหรับรับน้ำหนักบรรทุกมาก ยางรถยนต์มีหน้าที่ต้องรับน้ำหนักรถและสัมภาระต่าง ๆ โดยเป็นเพียงส่วนเดียวของรถยนต์ที่สัมผัสพื้นถนน

ชาร์ลส์ กูดเยียร์ นักประดิษฐ์ชาวอเมริกัน เป็นผู้ค้นพบโดยบังเอิญในปี พ.ศ. 2382 โดยค้นพบว่าเนื้อยางเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถที่จะทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ เขาจึงได้นำยางดิบ(ยางธรรมชาติ) ผสมกับกำมะถันและตะกั่วแล้วลนด้วยไฟ โดยกำมะถันจะสร้างพันธะโคเวเลนต์เชื่อมระหว่างโมเลกุลยาง ได้เป็นยางที่มีความยืดหยุ่น คงตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ คงทนต่อความร้อนและแสงแดด และถูกละลายด้วยตัวทำละลาย

ได้ยากขึ้น ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่าขบวนการวัลคาไนเซชัน (อังกฤษ: vulcanization) ได้เป็นยางรถยนต์ที่เราใช้กันอยู่มาถึงทุกวันนี้

2.4.1 โครงสร้างพื้นฐานของยางรถยนต์

สามารถจำแนกส่วนประกอบออกได้เป็น 6 ส่วน ดังนี้



ภาพที่ 2-5 ส่วนประกอบของยางรถยนต์

2.4.1.1 หน้ายาง (Tread)

คือส่วนประกอบที่อยู่นอกสุดของยาง และเป็นส่วนเดียวที่สัมผัสผิวถนนทำหน้าที่ป้องกันของมีคม ที่จะทำอันตราย ต่อโครงยาง ที่หน้ายางจะประกอบไปด้วยดอกยางและร่องยางเพื่อทำหน้าที่ในการยึดเกาะถนน มีแรงกรุยเวลาวิ่งเบรกหยุดได้มั่นใจ ในปัจจุบัน ดอกยางมีอยู่หลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นผู้ใช้จึงควรเลือกชนิดของดอกยางให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

2.4.1.2 ไหล่ยาง (Shoulder)

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างหน้ายางกับแก้มยาง มีความหนาพอๆ กับหน้ายาง ปกติไหล่ยางจะถูกออกแบบเป็นร่องให้เหมาะสม เพื่อช่วยระบายความร้อนภายในยางให้ออกมาได้ง่าย

2.4.1.3 แก้มยาง (Sidewall)

เป็นส่วนด้านข้างสุดของยาง ที่ไม่ได้สัมผัสพื้นผิวถนนขณะที่รถวิ่งอยู่และเป็นส่วนที่ยืดหยุ่นมากที่สุดของยางในขณะใช้งาน

2.4.1.4 โครงยาง (Carcass)

เป็นส่วนประกอบหลักของยาง ซึ่งมีบทบาทสำคัญที่คงรูปร่าง และจะรักษาความดันลมภายในยาง เพื่อให้ยางสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ รวมทั้งต้องทนทานต่อแรงกระแทก หรือสั่นสะเทือนจากถนนที่มีต่อยางได้ดี

2.4.1.5 ผ้าใบเสริมหน้ายางหรือเข็มขัดรัดหน้ายาง (Breaker or Belt)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างหน้ายาง (Tread) กับโครงยาง (Carcass) ในกรณียางธรรมดา (Bias Tire)เรียกว่า “ผ้าใบเสริมหน้ายาง (Breaker)” และในกรณียางเรเดียล (Radial Tire) จะเรียกว่า “เข็มขัดรัดหน้ายาง(Belt)” ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรง ให้กับหน้ายาง ให้ยางสามารถรับแรงกระแทกได้ดีและป้องกันไม่ให้โครงยางชำรุดเสียหายจากสิ่งอันตรายต่างๆ จากพื้นถนน

2.4.1.6 ขอบยาง (Bead)

เหล็กกล้า (High Carbon Steel) ที่ช่วยยึดส่วนปลายทั้ง 2 ข้างของโครงยางไว้เพื่อให้บริเวณขอบยาง (Bead) มีความแข็งแรง สามารถยึดแน่นสนิทกับกระทะล้อ ได้ดีเมื่อนำไปใช้งาน

2.4.2 คุณสมบัติของยางเรเดียลเส้นลวด

ยางเรเดียลเส้นลวดมีความทนทานต่อการสึกหรอสูงกว่ายางผ้าใบธรรมดาเนื่องจากหน้ายางที่แกร่งกว่าการบิดตัวของหน้ายางน้อยกว่าความร้อนจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่า และหน้ายางที่สัมผัสผิวถนนได้มากกว่าช่วยลดปัญหาการบวมล่อนของยาง มีผลทำให้อายุการใช้งานของยางเรเดียลเส้นลวดยาวนานกว่ายางผ้าใบธรรมดา 1.5-2 เท่า ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับต้นทุนต่อระยะทางที่ใช้งาน และให้ความปลอดภัยในการใช้งานได้มากยิ่งขึ้น

เปรียบเทียบระยะยางที่วิ่งได้

ประสิทธิภาพความทนทาน

2.4.3 ยางหล่อดอก

การเลือกใช้ยางหล่อดอกเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สำคัญที่สามารถช่วยลดต้นทุนได้มากโดยปกติแล้วต้นทุนของยางหล่อดอกจะต่ำกว่า ยางใหม่ 30% ถึง 50% โดยที่สมรรถนะในการขับขี่,ความเร็ว,ความนุ่มนวลและความปลอดภัยเทียบเท่ากับยางใหม่ซึ่งปัจจุบันมีบริการหล่อดอกยางโดย แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

2.4.3.1 การหล่อดอกแบบร้อน

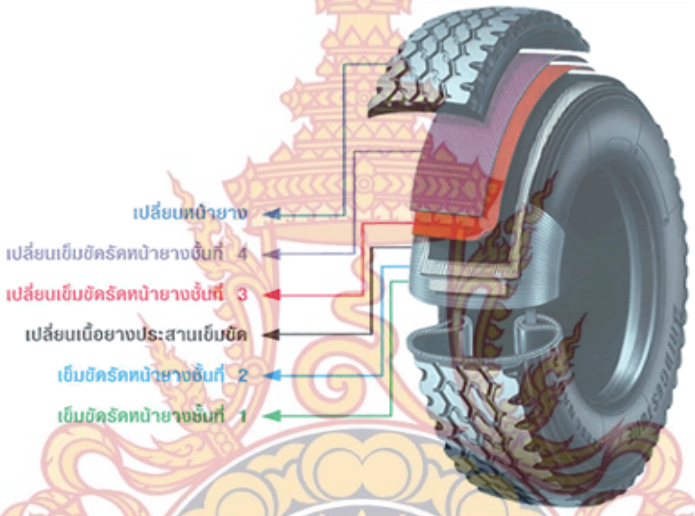
ด้วยเทคโนโลยีการหล่อแบบอบด้วยความร้อนจะทำให้ส่วนประกอบของยางใหม่และยางเก่าสามารถผสานเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์แบบหมดปัญหาการบวมหลุดล่อนโดยจะทำการเปลี่ยนเข็มขัดรัดหน้ายาง 2 ชั้น ทุกครั้งที่ทำการหล่อดอกยางทำให้หน้ายางที่ได้รับความเสียหายจากการใช้งานจะได้รับการซ่อมแซมและมีสภาพดีดังเดิม

2.4.3.2 การหล่อดอกแบบเย็น

จากมาตรฐานกระบวนการผลิตยางหล่อดอกจากโรงงานที่ได้รับการตรวจสอบและรับประกันทำให้มั่นใจได้ในประสิทธิภาพการใช้งานของยางหล่อดอก ด้วยเทคโนโลยีการหล่อเย็น โดยใช้เครื่องขูดยางเพื่อเจียรผิวหน้ายางให้เรียบเสมอกัน ด้วยระบบน้ำหล่อเย็นที่ช่วยรักษาผิวยางไม่ให้ไหม้จากการขูดทำการแต่งซ่อมแผลหน้ายางที่ชำรุดโครงยางจะได้รับการพ่นกาวยางน้ำ(Cement) เพื่อให้ลายดอกยาประสานกันอย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งขั้นตอนการอบยางด้วยหม้ออบขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิ 80-100c^0 ทำให้ลายดอกและเนื้อยางประสานกับโครงยางเก่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.3.3 คุณสมบัติของยางที่จะนำมาหล่อดอกใหม่

- ควรมีความลึกของดอกยางคงเหลือประมาณ 3 มม.
- โครงยางไม่มีบาดแผลใดๆ



ภาพที่ 2-6 คุณสมบัติของยางที่จะนำมาหล่อดอกใหม่

2.5 การคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณ FIRR จะใช้มูลค่าตลาดหรือมูลค่าทางการเงินที่เกิดขึ้นจริง แต่การคำนวณ EIRR เราจะใช้มูลค่า ทางเศรษฐศาสตร์แทน ในการปรับเปลี่ยนจากมูลค่าตลาดของสินค้าหรือบริการ มาเป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ นั้น จะใช้วิธี การหักค่าบิดเบือนของราคา (price distortion) ออก สาเหตุที่สำคัญของการบิดเบือนราคาที่เกิดขึ้นก็คือ ภาษีนำเข้า ภาษีส่งออก และภาษีสรรพสามิต หรือภาษีอื่นที่เจาะจงเฉพาะสินค้าหรือ บริการดังกล่าว เช่น ภาษีเทศบาล ที่พ่วงมากับภาษีข้างต้น ภาษีน้ำมัน เป็นต้น

ในอดีตการคำนวณหาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ (economic cost) ของอุปกรณ์วัสดุประหยัดพลังงานและ พลังงาน ประเภทต่าง ๆ ได้ใช้ราคาซื้อขายภายในประเทศ (domestic price) มาคูณด้วย conversion factor เพื่อแก้ไขการบิดเบือนราคา (price distortion) อันเกิดจาก ภาษีต่าง ๆ ทั้งที่เป็นภาษีนำเข้า และภาษีสรรพสามิต ในทางทฤษฎีแล้ว ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของสินค้า หรือ บริการ จะสะท้อน ถึงค่าเสียโอกาสที่จะนำสินค้า หรือบริการ หรือทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต ไปสร้างมูลค่าในการ ผลิตเป็นสินค้า หรือบริการ อย่างอื่น หรือส่งออกเป็นเงินตราต่างประเทศ

อย่างไรก็ตาม การคิดคำนวณค่าเสียโอกาสทำได้ยาก เนื่องจากจะต้องคำนึงถึงโอกาสการผลิต และการส่งออก ในทุก ขั้นตอน ยิ่งมีการบิดเบือน (distortion) มากเท่าไร การคิดคำนวณก็จะยุ่งยากมากขึ้น ในกรณีที่อุปกรณ์ วัสดุ ประหยัดพลังงาน ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ก็จะคิดคำนวณ ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์จากราคานำเข้า ณ พรม แดน (border price) บวกด้วย ต้นทุนค่าขนส่ง โดยไม่นับรวมภาษีต่าง ๆ ที่รัฐเรียกเก็บในขั้นตอนต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม อัตราภาษีนำเข้า จะแตกต่างกันสำหรับวัสดุอุปกรณ์ในแต่ละประเภท

สำหรับวัสดุอุปกรณ์ที่ผลิตภายในประเทศ รวมทั้งพลังงานไฟฟ้าและบริการอื่น ๆ การคำนวณหาต้นทุนทาง เศรษฐศาสตร์ จะยุ่งยากกว่า ยกเว้นมีการส่งออกในปริมาณที่มากพอที่จะเป็นตัวเลขแสดงต้นทุนการผลิตที่ถูกต้องได้ โดยหักลบด้วยภาษีต่าง ๆ ที่รัฐเรียกเก็บในการส่งออก กล่าวโดยสรุปก็คือ วัสดุและอุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีตัวคูณที่อาจ แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราภาษีนำเข้า ภาษีส่งออก และต้นทุนค่าขนส่งจำหน่ายภายในประเทศแล้วแต่กรณี การใช้ตัวคูณ (conversion factor) ตัวเดียวกันในการปรับความบิดเบือนจึงไม่น่าจะเหมาะสม ดังนั้นจึงเป็นการเหมาะสมกว่าที่จะคิดมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการหักอัตราการบิดเบือนราคาออกจากมูลค่าตลาด หรือ มูลค่าทางการเงินของสินค้าหรือบริการนั้น ในการคิดค่าของมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ เราจะแบ่งสินค้าและบริการ ที่ต้องพิจารณา ในการคิดคำนวณค่า EIRR คือ

อุปกรณ์และวัสดุประหยัดพลังงาน กำหนดให้

EV = มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อหน่วย

MP = ราคาตลาดของสินค้า (ขายส่งไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)

CIF = ราคานำเข้า

t = อัตราภาษีนำเข้าและภาษีเทศบาล

m = อัตรากำไรเบื้องต้น (รวมค่าขนส่งและค่าการตลาด)

หมายเหตุ: ในปัจจุบัน t = 1.1 * อัตราภาษีนำเข้าตามพิกัดศุลกากร , m = 0.30

ราคาตลาดไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม (MP) = (1+m)(1+t)* CIF

อัตราการบิดเบือน

$$(MP - EV) = t * CIF = \frac{t}{(1+m)(1+t)} MP$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยภายในประเทศ

สถิตย์พงษ์ อภิเมธีธำรง และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาพัฒนาวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความแข็งแรงสูง มีความทนทานต่อการเกิดร่องล้อมากกว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ โดยในต่างประเทศ มีการศึกษาและแก้ไขปัญหาดังกล่าวหลายวิธีเช่น มีการเติมวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) เช่น Gilsonite ปูนขาว เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ การเปลี่ยนขนาดคละที่ใหญ่ขึ้น รวมทั้งเปลี่ยนชนิดของยางแอสฟัลต์คอนกรีตจากเกรด 60 -70 เป็น 40-50 เป็นต้นเนื่องจากสภาพความเสียหายร่องล้อ เป็นสาเหตุหลักของถนนลาดยางในประเทศไทยถนนลาดยางในบริเวณที่มีน้ำหนักกระทำมากกว่าปกติ เช่น บริเวณทางแยกที่มี

สัญญาณไฟหรือช่องทางบังคับให้รถชะลอความเร็วหรือหยุด มักเกิดความเสียหายของผิวทางก่อนอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้ ทั้งความเสียหายจากผิวทางแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue Cracking) และความเสียหายจากผิวทางเป็นร่องล้อ(Rutting) หรือการเสียรูปถาวร (Permanent Deformation) นักวิจัยจึงได้พัฒนาผิวทางที่มีความทนทานต่อความเสียหายดังกล่าวด้วยการพัฒนาวัสดุผสม (Mix) และวิธีการออกแบบผิวทาง (Design)

ทวีศักดิ์ ศรีจันทร์อินทร์ (2544) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์สำหรับงานเสริมผิวทางชนิดบาง (Very Thin Overlay Polymer Modified Asphalt 80/100 ; VTO PMA 80/100) เป็นวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวมหินปูนและหินบะซอลต์เทียบกับวัสดุเชื่อมประสานชนิดแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 (AC 60/70) กับมวลรวมชนิดเดียวกัน ผลการทดสอบพบว่า VTO PMA 80/100 ชนิดนี้ที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารโพลิเมอร์ชนิด EVA 3% และ SBS 1% ทำให้ยางมีคุณสมบัติทางด้านจุดอ่อนตัว ความแข็ง ความเหนียว และความหนืดดีกว่า AC 60/70 ส่วนในด้านคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ VTO PMA 80/100 กับมวลรวมชนิดต่าง ๆ นั้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าเสถียรภาพ ดัชนีความแข็งแรง และ Tensile Strength มีค่าเพิ่มขึ้นกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 นอกจากนี้ยังพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ VTO PMA 80/100 กับมวลรวมชนิดต่าง ๆ นั้น สามารถรองรับจำนวนเที่ยวทดสอบการเกิดร่องลึกได้มากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ถึง 3 เท่า

สุรพล เกตุแก้ว และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ทางเลือกใหม่สำหรับงาน Prime coat ซึ่ง Prime coat เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากในการก่อสร้างถนน การคัดเลือกวัสดุที่มีคุณภาพและให้ประสิทธิภาพสูงในการทำงานจึงจำเป็นต่อผู้รับเหมางานทางที่ต้องให้ความสำคัญทุกครั้งก่อนการทำงานเสมอ จากการศึกษาและค้นคว้าเอกสารวิชาการต่างๆ รวมทั้งจากประสบการณ์ที่ได้จากการปฏิบัติงานจริง การทำ Prime Coat มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ปกป้องชั้นพื้นทางจากสภาพอากาศที่เปียกชื้น2) ปรับปรุงคุณภาพที่ผิวหน้าของชั้นพื้นทาง 3) ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างชั้นพื้นทางและผิวทางประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ในงาน Prime Coat นอกจากสามารถให้คุณสมบัติตามที่วัตถุประสงค์ต้องการแล้วยังสามารถวัดประสิทธิภาพของงาน Prime Coat ได้จากความสามารถในการซึมลงไปในชั้นพื้นทางได้อย่างสมบูรณ์และแห้งตัวเร็วสามารถเปิดการจราจรได้ในเวลาไม่นานปัจจุบันวัสดุที่ใช้ทำ Prime Coat มีตัวเลือกให้ผู้รับเหมาเลือกใช้ให้ตรงกับความต้องการได้ไม่มากนัก ซึ่งผู้รับเหมาส่วนใหญ่เลือกใช้ คัตแบกแอสฟัลต์ ชนิด MC-70 กับชั้นพื้นทางแบบ Cement TreatedBase และแอสฟัลต์อิมัลชัน ชนิด CSS-1 กับชั้นพื้นทางทั่วไปในการทำ Prime Coat แต่ทั้งนี้ยางมะตอยทั้ง 2 ชนิดนี้ยังไม่ใช้ตัวเลือกที่ดีที่สุด

สุรพล เกตุแก้ว และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพวัสดุพื้นทางเดิมด้วยอิมัลชันสำหรับการรีไซเคิลผิวถนนลาดยางแบบเย็นในที่ โดยการก่อสร้างและบูรณะปรับปรุงถนนถือเป็น

ส่วนหนึ่งของการพัฒนาประเทศในด้านการคมนาคมขนส่งเพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศ ถนนที่ผ่านการใช้งานมาระยะเวลาหนึ่งก็จะเกิดการเสียหายขึ้นตามอายุการใช้งาน ซึ่งมีความจำเป็นต้องทำการซ่อมแซม หรือก่อสร้างบูรณะปรับปรุงใหม่ให้มีสภาพการใช้งานที่ดีเสมอ ปัจจุบันการก่อสร้างบูรณทางของกรมทางหลวงได้เริ่มให้ความสำคัญกับการ“รีไซเคิลผิวถนนลาดยางแบบเย็นในที่ (Cold in-Place recycling)” มากขึ้น แทนการขุดรื้อถนนเดิมออกแล้วทิ้งผิวทางเดิมไว้ข้างทาง ซึ่งสร้างผลกระทบให้กับสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจของประเทศทั้งทางตรงและทางอ้อม การรีไซเคิลนั้นเป็นการหมุนเวียนวัสดุเดิมกลับมาใช้ใหม่ โดยผสมผสานกับการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุเดิม (Stabilization) โดยการเติมวัสดุผสมเพิ่มเช่น แอสฟัลต์อิมัลชัน (Asphalt Emulsion) ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) เถ้าลอย (Fly ash) โฟมแอสฟัลต์ (Foam Asphalt) หรือใช้วัสดุบางอย่างที่กล่าวมาร่วมกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรงการใช้แอสฟัลต์อิมัลชันเป็นตัวปรับสภาพในการรีไซคลิ่งนั้นเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก โดยสามารถใช้เครื่องปูแอสฟัลต์ทั่วไป (Pavers) ในการทำงานหลังจากที่ปูส่วนผสมรีไซเคิลลงไปแล้ว แอสฟัลต์อิมัลชันจะเกิดการแตกตัว ซึ่งการแตกตัวนี้เกิดขึ้นจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในส่วนผสม จะสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของส่วนผสมจากสีน้ำตาลเป็นสีดำ จากนั้นจึงเริ่มทำการบดอัด (Compaction) การบดอัดนั้นทำได้ด้วยการใช้รถบดล้อยางก่อน (Pneumatic tire roller) แล้วตามด้วยรถบดล้อเหล็กแบบสั่นสะเทือน (Steel vibrating roller) หากพิจารณาจากตลาดยางมะตอยน้ำและสภาพภูมิอากาศในเมืองไทยประกอบกับคุณสมบัติที่ดีจากการออกแบบส่วนผสมจะพบว่า แอสฟัลต์อิมัลชันที่เหมาะสมนั้นคือ Cationic Asphalt Emulsion ชนิดแตกตัวช้า (SlowSetting) หรืออาจจะมีการเติมยางลาเท็กซ์ลงไปด้วยก็ได้เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะในช่วงแรกของการผสมและช่วยลดปัญหาการแตกร้าว (Cracking) และการเกิดร่องล้อ (Rutting) โดยปริมาณการใช้แอสฟัลต์อิมัลชันนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณแอสฟัลต์ในผิวทางเดิม การออกแบบส่วนผสมอาจใช้วิธี Marshall หรือ Super pave ร่วมด้วย ซึ่งอาจมีการปรับขนาดของวัสดุรีไซเคิลด้วยการเติมวัสดุใหม่ (New Aggregate) โดยเป้าหมายหลักของการออกแบบส่วนผสมนี้คือเราจะได้ Air Void ต่ำ Stability สูง Coat ดี และ Workability สูงข้อดีของการใช้แอสฟัลต์อิมัลชันในงานรีไซคลิ่งนั้น คือมีต้นทุนต่ำ มีความสามารถในการเคลือบหินที่ดีในการทำงานไม่จำเป็นต้องรอให้หินแห้ง การใช้แอสฟัลต์อิมัลชันก็ยังคงมีข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงอยู่บ้าง โดยเฉพาะในเรื่องของการบ่มตัว (Curing) กล่าวคือก่อนที่จะมีการบดอัดต้องแน่ใจว่าส่วนผสมนั้นมีการแตกตัวของอิมัลชันเป็นอย่างดีแล้วจริงๆ นั่นคือ การปล่อยให้น้ำมีการระเหยไปให้ได้มากที่สุด เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของส่วนผสม สภาพภูมิอากาศจึงมีผลอย่างยิ่งกับงานประเภทนี้ หากมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมาก หมอกลง หรือมีฝนตกจะส่งผลกระทบอย่างมากกับอัตราการระเหยของน้ำ ซึ่งหมายถึงผู้ควบคุมงานจะต้องพิจารณาเรื่องนี้ด้วยก่อนเริ่มลงมือทำงาน

วัชรินทร์ วิทยกุล และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุเชื่อมประสานในการทำผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตวิธีหนึ่งที่สามารถกระทำได้คือ การใช้ยางรถยนต์เก่าเพิ่มในแอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 60/70 แอสฟัลต์ซีเมนต์และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับการปรับปรุงแล้วนี้จะนำไปทดสอบตามวิธีของกรมทางหลวง ผลการทดสอบพบว่าสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพมีค่าเพนิเตรชั่นที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าการยืดลดลงเมื่อปริมาณยางรถยนต์เก่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าจุดอ่อนตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณยางรถยนต์เก่าสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมีค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ ยางรถยนต์เก่าน้อยกว่า 5% โดยน้ำหนัก และลดลงเมื่อปริมาณยางรถยนต์เก่ามากกว่า 5% โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามค่าการไหลลดลงเมื่อปริมาณยางเก่าเพิ่มขึ้น) ซึ่งคุณภาพของวัสดุเชื่อมประสานนี้จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ มอก. 851-2532 (1) และการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ต้องเป็นไปตาม ทล, -ม 408/2532 (2) แต่เมื่อเปิดการจราจรตามปกติแล้ว ปรากฏว่าส่วนใหญ่ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดความเสียหายขึ้นระยะเวลาอันควร

เหม โง้วศิริ (2553) ได้ทำการศึกษาเรื่องการก่อสร้างและควบคุมคุณภาพงานบูรณะปรับปรุงถนนลาดยางเดิม บทความนี้มุ่งที่จะนำเสนอเพื่อสร้างความเข้าใจถึงความสำคัญในกระบวนการทำงานบูรณะปรับปรุงถนนลาดยางเดิม โดยวิธี Pavement Recycling ตั้งแต่การศึกษารายละเอียด รูปแบบข้อกำหนดและสัญญา การวางแผนปฏิบัติการ การทำแปลงทดสอบ การควบคุมการก่อสร้าง และการควบคุมคุณภาพวัสดุ โดยมุ่งเน้นให้เกิดแนวความคิดที่รู้จักการใช้ความรู้แบบองค์รวมมาใช้ประยุกต์ให้เหมาะสมกับงานอย่างเป็นระบบที่เรียกกันว่า State of the Art

2.6.2 งานวิจัยจากต่างประเทศ

Anandakumar (1999) ได้ทำการการศึกษาเรื่อง พาร์ทิชันของรังสีสุทธิความร้อนบนพื้นผิวยางมะตอยแห้ง โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับความแปรผันของส่วนประกอบด้านพลังงานของพื้นผิวยางมะตอยแห้ง มีการกล่าวถึงจากการวิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจาก micrometeorological ใกล้เวียนนา, ออสเตรีย เกี่ยวกับปริมาณรังสีสุทธิ (RN) และฟลักซ์ความร้อนจากพื้นดิน (G) ที่วัดโดยตรง

Xingwei and Baoshan (2008) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การประเมินผลของความเสียหายจากความชื้นที่เกิดขึ้นในยางมะตอยชนิดผสมร้อนโดยการทดสอบแรงดึงทางอ้อมเพื่อใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพการ โดยศึกษาความเสียหายที่เกิดความจากความชื้นสำหรับการผสมยางมะตอยชนิดผสมร้อน (HMA) ทางเท้า ในการศึกษาจะทำการประเมินความเสียหายจากความชื้นของยางมะตอย (HMA) โดยทดสอบประสิทธิภาพพื้นผิว (SPT) และทดสอบแรงดึงทางอ้อม (IDT) ที่สามระดับคือ 100, 50 และ 0% สำหรับทดลองในห้องปฏิบัติการการประเมินผลความเสียหายความชื้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์ นอกจากจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ผสมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ด้วย ดังนั้นการออกแบบเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผิงทางแอสฟัลต์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและถูกต้องตามข้อกำหนด (Specification) ของงานด้วยขั้นตอนต่างๆ ที่ต้องดำเนินการในการจัดทำมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมวัสดุ

3.1.1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60 – 70

แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ให้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เพนิเทรชันเกรด 60-70 และต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) เพนิเทรชัน (Penetration) ที่อุณหภูมิ 25°C น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที ต้องมีค่า 60-70

(2) จุดวาบไฟ (Flash Point by Cleveland Open-Cup) ไม่น้อยกว่า 232 °C

(3) จุดอ่อนตัว (Softening Point) ต้องมีค่า 45 - 55 °C

(4) ความยืดดึง (Ductility) ที่อุณหภูมิ 25°C อัตราเร็วของเครื่องดึง 5 cm./min ไม่น้อยกว่า 100 cm.

(5) การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (Solubility in Trichloroethylene) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไม่น้อยกว่า 99%

ภาพที่ 3-1 แอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60 – 70

3.1.2 วัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวม (Aggregate) วัสดุมวลรวมประกอบด้วยวัสดุมวลรวมหยาบ วัสดุมวลรวมละเอียดและวัสดุอัดแทรกซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1.2.1 วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ตามคำนิยามของกรมทางหลวงหมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดโตกว่า 4.75 มม. (ค้างตะแกรงเบอร์ 4) ปกติวัสดุมวลรวมหยาบจะใช้หินโม่ตั้งแต่ 2 ขนาดขึ้นไป ผสมกัน เช่นใช้หินขนาดโตสุด 19.0 มม. ผสมกับหินขนาดโตสุด 9.5 มม. เป็นต้น

หินแต่ละขนาดที่ใช้จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นขนาดเดี่ยว (Single Size) ทั้งนี้เพื่อลดการแยกตัว (Segregation) ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง วัสดุมวลรวมหยาบจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(ก) สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก ดินเหนียว Silt หรือ อินทรียวัตถุผสมหรือปน และจะต้องไม่มีปฏิกิริยากับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้คุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ

(ข) ค่า Los Angeles Abrasion เมื่อทดลองตามวิธี AASHTO T 96 ไม่เกินร้อยละ 40

(ค) เมื่อทดลอง Soundness Test โดยใช้สารละลาย Sodium Sulphate ตามวิธี AASHTO T 104 น้ำหนักที่หายไปไม่เกินร้อยละ 9

(ง) เมื่อทดลอง Coating and Stripping of Bitumen – Aggregate Mixtures ตามวิธี AASHTO T 182 ต้องมีแอสฟัลต์ซีเมนต์เคลือบไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

(จ) ค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) และดัชนีความยาว (Elongation Index) เมื่อทดลองตามวิธี BS 812 ไม่เกินร้อยละ 30

(ฉ) ผิวต้องถูกโม่แตกอย่างน้อยหนึ่งหน้า ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

3.1.2.2 วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ตามคำนิยามของกรมทางหลวง หมายถึงวัสดุมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4) และต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(ก) ต้องเป็นหินฝุ่น หรือทราย

(ข) สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก ดินเหนียว Silt หรืออินทรียวัตถุ ผสมหรือปะปนอยู่ และจะต้องไม่มีปฏิกิริยากับแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งจะทำให้คุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ

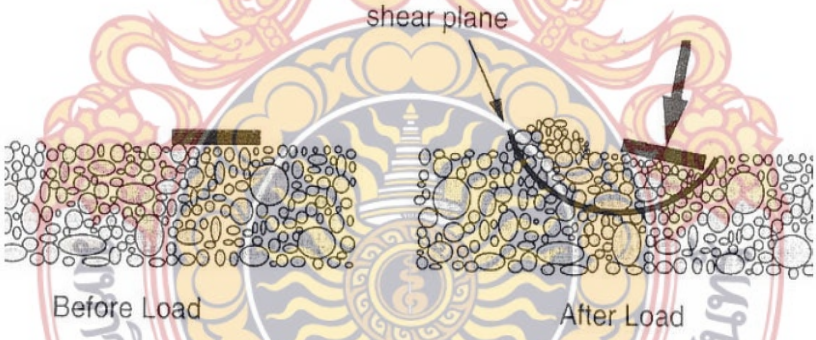
(ค) ค่า Sand Equivalent เมื่อทดลองตามวิธี AASHTOT 176 มากกว่าร้อยละ 50 โดยปกติถ้าไม่จำเป็นไม่ควรใช้ทราย จะใช้เมื่อจำเป็น เช่น ต้องการปรับปรุงขนาดคละ (Gradation) ของมวลรวม หรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่างของแอสฟัลต์คอนกรีต

3.1.2.3 วัสดุอัดแทรก (Mineral Filler) เป็นส่วนหนึ่งของวัสดุมวลรวม หมายถึงวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 กรณีที่วัสดุมวลรวมละเอียดมีส่วนผสมไม่พอ จำเป็นต้องใช้วัสดุอัดแทรกด้วยเพื่อปรับปรุงขนาดคละ วัสดุอัดแทรกที่ใช้ ได้แก่ ฝุ่นหิน (Stone Dust) ใช้ปรับปรุงขนาดคละปูนขาว หรือปูนซีเมนต์ ใช้ปรับปรุงขนาดคละ และ/หรือ ต้านทานการหลุดลอก (Anti – Stripping) ของฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบหิน ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง วัสดุอัดแทรกได้แก่ ฝุ่นหิน ปูนซีเมนต์ ปูนซิลิก้า หรือวัสดุพวก Non Plastic ซึ่งกรมทางหลวงเห็นชอบให้ใช้ได้ และจะต้องแห้งไม่จับกันเป็นก้อน มีขนาดคละดังต่อไปนี้

ผ่านตะแกรงเบอร์	30	ร้อยละ	100 โดยน้ำหนัก
ผ่านตะแกรงเบอร์	50	ร้อยละ	75-100 โดยน้ำหนัก
ผ่านตะแกรงเบอร์	200	ร้อยละ	55-100 โดยน้ำหนัก

ภาพที่ 3-2 วัสดุมวลรวม

3.1.2.4 มวลรวมที่นำมาใช้ต้องมีกำลังเฉือนเพียงพอที่จะสามารถต้านทานแรงกระทำซ้ำๆได้ เมื่อมวลรวมรับน้ำหนักเกินกำหนดก็จะเกิดระนาบแรงเฉือนและอนุภาคของมวลรวมจะเลื่อนหรือเฉือนออกจากกัน ดังรูปที่ 1 ทำให้ผิวจราจรเกิดการเสียรูปอย่างถาวร (Permanent Deformation) ตามระนาบเฉือนนี้ หน่วยแรงเฉือน (Shear Stress) จะมีค่าเกินกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของมวลรวม กำลังรับแรงเฉือนของมวลรวมเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากเป็นตัวต้านทานการเกิดร่องล้อ (Rutting) ในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต



ภาพที่ 3-3 พฤติกรรมการเฉือนของมวลรวม

3.1.3 ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

ยางรถยนต์เป็นส่วนประกอบสำคัญของรถยนต์ และอาจจะเคยได้ยิน ๆ บ่อย ๆ ว่าควรเปลี่ยนยางรถยนต์ทุก ๆ 2 ปี หรือ ที่ระยะทาง 20,000 - 50,000 กิโลเมตร สภาพดอกยางสามารถใช้งานได้จนกระทั่งดอกยางสึกหรอเหลือต่ำสุด 1.6 มิลลิเมตร สามารถสังเกตง่าย ๆ ได้จาก จุดสามเหลี่ยมเล็ก ๆ 6 จุดบนไหล่ยางแต่ละด้านเมื่อเจอสัญลักษณ์นี้แล้ว ให้มองตรงขึ้นไป ที่หน้ายาง และมองลึกลงไปที่ร่องดอกยาง ก็จะพบสันนูนที่ร่องยาง ซึ่งเรียกว่า สะพานยางและเมื่อไหร่ที่ดอกยางสึก ไปถึงสะพานยาง นั่นแสดงว่ายางหมดอายุการใช้งาน ลักษณะยางถึงแม้ยางไม่หมดอายุแต่เกิดการบวมล่อนขึ้น บริเวณส่วนใดส่วนหนึ่ง เช่น ที่

หน้ายาง หรือ ไหล่ยาง ก็ควรเปลี่ยนใหม่ทันทีเช่นกัน เพราะหากยังใช้ต่อไป ยางอาจแตกระเบิดได้ บาดแผลบนยางถ้าเกิดบาดแผลขึ้น โดยแผลนั้นมีความลึกไปถึงโครงสร้างยางภายใน และมีความกว้างของบาดแผลมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แผลบริเวณแก้มยาง ห้ามทำการปะซ่อมและนำมาใช้งานเด็ดขาด ควรเปลี่ยนยางใหม่โดยด่วนทันที

ภาพที่ 3-4 ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

ภาพที่ 3-5 ยางรถยนต์ที่หมดสภาพนำมาย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ

3.2 ทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมและออกแบบส่วนผสม

3.2.1 ค่าเสถียรภาพ (Stability) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อ (Rutting) เป็นคลื่นหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ในลักษณะอื่นๆ ค่าเสถียรภาพ (Stability) ของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับความเสียดทาน (Internal Friction) และแรงยึดเกาะ (Cohesion) ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ซึ่งได้แก่รูปร่างของเม็ดวัสดุ ลักษณะความเรียบ ความหยาบ หรือความขรุขระของผิววัสดุ ส่วน

แรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ว่าสามารถยึดเม็ดวัสดุมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทานและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมจะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักรถกระทำ

โดยปกติแล้ว วัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเม็ดเป็นเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าค่าเสถียรภาพสูง ส่วนแรงยึดเกาะจะมีมากถ้าแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้มีความหนืด (Kinematics Viscosity) สูงหรือขณะที่แอสฟัลต์ซีเมนต์มีอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์จนถึงจุดหนึ่งจะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดวัสดุมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมลดลง ทำให้ค่าเสถียรภาพ (Stability) ลดลงด้วย

ในการออกแบบส่วนผสมจะต้องออกแบบให้ค่าค่าเสถียรภาพสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ แต่มีข้อควรคำนึงถึงคือ ค่าค่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น อาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ โดยเฉพาะแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูลงบนพื้นทางหรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัว (Deflection) สูง

สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าค่าเสถียรภาพต่ำ ได้แก่

(1) ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกระนาด หรือเกิดร่องล้อ (Rutting) หรือเกิดการเยิ้ม (Bleeding)

(2) ใช้ทรายที่มีเม็ดขนาดกลาง (Medium Size Sand) มากเกินไป ทำให้บดอัดยากขณะที่ทำการบดอัด หรือ แม้กระทั่งบดอัดเสร็จใหม่จะมีลักษณะเคลื่อนตัวได้ง่าย (ไม่อยู่ตัว)

(3) วัสดุมวลรวมมีลักษณะกลม ผิวเรียบ ขยับตัวได้ง่าย ทำให้เกิดร่องล้อ

3.2.2 ความคงทน (Durability) หมายถึง ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพอาจเป็นผลมาจากภูมิอากาศ สภาพการจราจร หรือทั้ง 2 อย่าง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้เสื่อมสภาพเนื่องจากขบวนการ (Polymerization และ Oxidation) วัสดุมวลรวมเสื่อมสภาพจนเกิดการแตกตัว (Disintegration) และฟิล์มแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมหลุดออก (Stripping)

3.2.3 การออกแบบส่วนผสมเพื่อให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความคงทน อาจทำได้ 3 วิธี คือ

(1) ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ การใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์มากทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เคลือบผิววัสดุมวลรวมหนา ฟิล์มแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่หนาจะเสื่อมสภาพช้ากว่าฟิล์มที่บาง นอกจากนั้นการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์มากจะช่วยอุดช่วงว่างอากาศที่อาจต่อเนื่องกัน (Interconnected Air Voids) ทำให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปทำลายเนื้อแอสฟัลต์คอนกรีตได้ยาก

(2) เลือกขนาดคละที่ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะแน่น (Dense Gradation) รวมทั้งใช้วัสดุมวลรวมที่มีความแข็งแกร่ง และมีคุณสมบัติในการยึดเกาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้ดี ขนาดคละที่มีลักษณะแน่นทำให้น้ำและอากาศผ่านได้ยาก ความแข็งแกร่ง ของวัสดุมวลรวม ป้องกันการแตกหักจากน้ำหนักจราจร คุณสมบัติการเกาะยึดระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์จะช่วยไม่ให้หินหลุด (Raveling) ในสภาวะการใช้งานขณะที่ผิวทางเปียกน้ำ

(3) ออกแบบส่วนผสมรวมทั้งการบดอัดในสนาม ในลักษณะที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตที่กันน้ำและอากาศผ่านได้มากที่สุด (Maximum Impermeability)

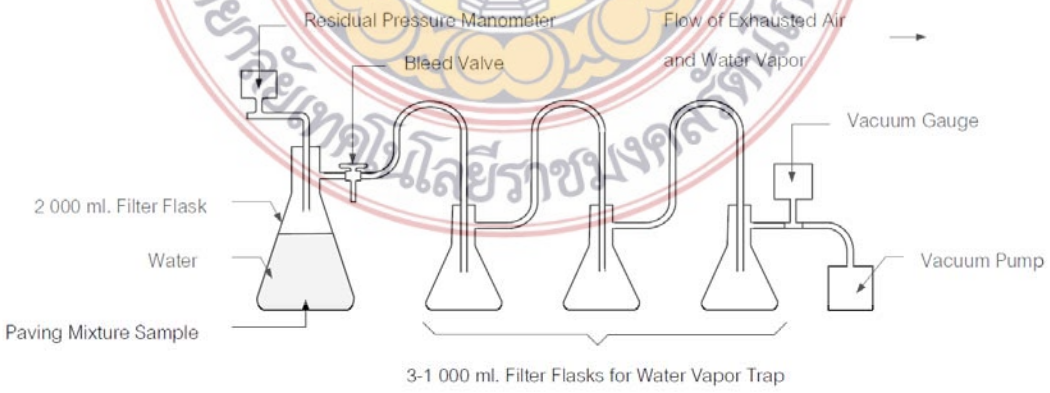
3.3 ทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์โดยวิธีมาร์แชล (Marshall Method)

เตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับทดสอบ เป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว เตรียมจากการบดอัดโดยวิธี Marshall ทำการบดอัด 75 Blows/end ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517

ภาพที่ 3-5 ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์โดยวิธีมาร์แชล (Marshall Method)

3.4 ทดลองหา Theoretical Maximum Specific Gravity

วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองหาปริมาณการดูดซึมแอสฟัลต์ (Asphalt Absorption) ของมวลรวมที่ใช้ในส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์



ภาพที่ 3-6 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.5 ทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่แทนด้วยเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

เตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่แทนด้วยเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ สำหรับทดสอบ เป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว เตรียมจากการบดอัดโดยวิธี Marshall ทำการบดอัด 75 Blows/end ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517

ภาพที่ 3-7 ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่แทนด้วยเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

3.6 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับค่าคุณสมบัติต่างๆ

นำข้อมูลปริมาณยางแอสฟัลต์แต่ละค่ามาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณ แล้วมากำหนดออกแบบที่ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม ปกติจะพิจารณาที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับค่าช่องว่างอากาศเป็นตัวกำหนดแรก ในการพิจารณาจะเลือกที่ค่าปริมาณช่องว่างที่ต้องการกำหนดในแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะออกแบบแล้วลากต่อเส้นกราฟความสัมพันธ์เพื่อหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ค่าช่องว่างที่ได้กำหนด จากนั้นนำค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ได้ไปตรวจสอบค่าคุณสมบัติอื่นๆ จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับคาคุณสมบัติ ว่ามีค่าคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ต่อไป

3.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติผิวทางแอสฟัลต์ และผิวทางแอสฟัลต์ที่แทนด้วยเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

ดำเนินการเปรียบเทียบคุณสมบัติผิวทางแอสฟัลต์ และผิวทางแอสฟัลต์ที่แทนด้วยเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ โดยคำนึงถึงหลักพิจารณา ดังนี้

3.7.1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

3.7.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ (Design Criteria)

บทที่ 4
วิเคราะห์ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้นำวัสดุจำพวกเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพผสมแอสฟัลต์ทำชั้นผิวทาง พร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดา (ไม่ผสมยางรถยนต์ที่หมดสภาพแล้ว) กับแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพทำชั้นผิวทาง จากผลการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติของเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

ผลการทดสอบคุณสมบัติของเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ วัตถุตัวอย่าง ดังรายงานผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบสำหรับการผลิตยางล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (passenger tire) และยางล้อรถบรรทุก (truck tire)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (% wt)	
	ยางล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคล	ยางล้อรถบรรทุก
ยางธรรมชาติ	14	27
ยางสังเคราะห์	27	14
เขม่าดำ	28	28
ลวดเหล็ก	14-15	14-15
สารเคมีต่างๆเช่น เส้นใย สารตัวเติม สารตัวเร่ง	16-17	16-17

ปัญหาภาวะโลกร้อนกำลังเป็นประเด็นที่สนใจของคนทั่วโลก แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหานี้ก็คือการนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์เอง (re-use) หรือการนำไปแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) เพื่อลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น สำหรับขยะที่เกิดจากยางก็เช่นกัน มีความพยายามที่จะนำขยะยางไปรีไซเคิลในรูปแบบต่างๆ ซึ่งหนึ่งในวิธีที่กำลังได้รับความสนใจ คือ การนำขยะจากยางล้อเก่าไปผ่านกระบวนการเผาไหม้ภายใต้สภาวะที่ไร้ออกซิเจน (เรียกกระบวนการนี้ว่า “ไพโรไลซิส”) เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ทั้ง ในรูปของของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เนื่องจากในยางล้อมีองค์ประกอบที่เป็นเนื้อยางซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอยู่สูงถึงประมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (ดังแสดงในตารางที่ 4.1) ด้วยเหตุนี้การทำไพโรไลซิสจึงนับเป็นวิธีการรีไซเคิลที่สำคัญเพราะนอกจากจะช่วยลดขยะที่เกิดจากยางล้อแล้ว ยังอาจช่วยลดการใช้ทรัพยากรน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติได้อีกด้วย

ตารางที่ 4-2 คุณสมบัติของเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

เศษยางรถยนต์หมดสภาพ	
องค์ประกอบหลัก	**คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมี**
1. ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber; SR) : 60-65% 2. ยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) : Balanced 1.36 ±	1. ความหนาแน่น (Density) : 0.788 - 0.93 g•cm-3 ที่ 20 °C 2. ดัชนีหักเหแสง (Refractive index) : 1.445 - 1.52 ที่ 20 °C 3. ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) : 0.19 - 0.26 $W•m^{-1}•K^{-1}$ 4. อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) : (-62) - (-75) °C 5. อุณหภูมิสูงสุดในการใช้งาน (Maximum service temperature) : 50 °C 6. ค่าการละลาย (Solubility) : 6.1 ค่าการละลายของเฮนเซ้น (Hansen solubility parameter) : 2.3 - 18.1 6.2 ค่าการละลายของฮิลเดอแบรน (Hildebrand solubility 7. แรงตึงผิว (Surface tension) 32 - 33.6 $mN•m^{-1}$

4.2 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

4.2.1 มวลรวมหยาบชนิดหินปูน

4.2.1.1 การเรียงขนาดและขนาดเม็ดวัสดุที่จำแนกออกเป็น Hot Bin 2,3 และ 4 ดังตารางที่ ก2 ,ก3 และ ก4 ตามลำดับ ผลการทดสอบนี้ จะนำไปใช้ในการคำนวณหาการเรียงขนาดของมวลรวมผสมตามอัตราส่วนเพื่อให้ได้ตามขนาดละเป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง

4.2.1.2 ค่าความสึกหรอ ผลการทดสอบความแข็งแรงของมวลรวมหยาบมีค่าเท่ากับร้อยละ 28.2 ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ยอมรับตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ที่กำหนดให้ค่าความสึกหรอต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 40 ดังตารางที่ ก5

4.2.1.3 ดัชนีความแบน เป็นการหาค่าร้อยละของน้ำหนักมวลรวมหยาบที่มีความหนาของด้านแบน มีค่าน้อยกว่า 0.6 เท่าของขนาดเฉลี่ยมวลรวมนั้น ในการทดลองได้นำมวลรวมจาก Hot Bin 2,3 และ 4 ที่มีขนาดตะแกรงเบอร์ 4 มาทดสอบ ผลการทดลองดังตารางที่ ก6,ก7 และก8 ตามลำดับ ผลการทดสอบนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาดัชนีความแบนของมวลรวมผสมตามอัตราส่วนผสม

4.2.1.4 ดัชนีความยาว เป็นการหาร้อยละของน้ำหนักมวลรวมที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่าของขนาดเฉลี่ยของมวลรวมนั้น ในการทดลองได้นำมวลรวมจาก Hot Bin 2,3 และ 4 ขนาดค้างตะแกรงเบอร์ 4 มาทดสอบ ผลการทดสอบดังตารางที่ ก9,ก10 และ ก11 ตามลำดับผลจากการทดสอบนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีความยาวของมวลรวมผสมกับอัตราส่วนผสม

4.2.1.5 ค่าความถ่วงจำเพาะตารางที่ ก14 และ ก15 ตามลำดับแสดงผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ Hot Bin 2,3 และ 4 ซึ่งจะนำใช้ไปในการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมผสมตามส่วนผสม

4.2.1.6 ความทนทาน ผลการทดสอบความทนทานด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต มวลรวมหยาบมีค่าความสึกหรอเท่ากับร้อยละ 0.9 โดยเกณฑ์การยอมรับนั้นน้ำหนักของมวลรวมหยาบจะต้องสูญหายไปไม่เกินร้อยละ 9 ดังตารางที่ ก16

4.2.2 มวลรวมละเอียดชนิดหินปูน

4.2.2.1 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด ผลการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวมละเอียด Hot Bin 1 ดังตารางที่ ก1 ผลการทดสอบนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาการเรียงขนาดของมวลรวมผสมตามอัตราส่วนผสม

4.2.2.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดใช้ Pycnometer มาทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆผลการทดสอบดังตารางที่ ก12 และ ก13 ค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะนำไปหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมผสมตามอัตราส่วนผสม

4.2.2.3 ความทนทาน มวลรวมละเอียด Hot Bin 1 เมื่อทำการทดสอบความทนทานด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟตแล้ว น้ำหนักมวลรวมละเอียดสูญหายไปร้อยละ 3.9 ซึ่งเกณฑ์การยอมรับของกรมทางหลวงกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 9 ดังตารางที่ ก17

4.2.2.4 Sand Equivalent เป็นการทดสอบหาปริมาณของวัสดุของดินเหนียวที่ปะปนอยู่ในมวลรวมละเอียด ผลการทดสอบ Sand Equivalentมีค่าเท่ากับร้อยละ 73 โดยที่เกณฑ์ยอมรับกำหนดให้มวลรวมละเอียดมีค่า Sand Equivalent ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ดังตารางที่ ก18

4.3 การออกแบบวัสดุผสม

4.3.1 คุณสมบัติของมวลรวมผสมชนิดหินปูน

4.3.1.1 เมื่อนำการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียดที่ได้จากการทดสอบต่างๆเบื้องต้นมาผสมกันด้วยอัตราส่วนผสม (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 18 : 17แล้วทำให้มวลรวมผสมมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ ข1 ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐานกรมทางหลวง

4.3.2 คุณสมบัติของวัสดุเส้นใยเคราะห์เสริมในมวลรวมผสมชนิดหินปูน

4.3.2.1 เมื่อนำผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมผสมที่ได้จากการทดสอบต่างๆมาทำการเสริมด้วยยางรถยนต์ที่หมดสภาพที่ปริมาณร้อยละ 0.25 ในอัตราส่วนผสม (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17 แล้วทำให้มวลรวมผสมมีคุณสมบัติดังตารางที่ ข2 ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐานกรมทางหลวง

4.3.2.2 เมื่อนำผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมผสมที่ได้จากการทดสอบต่างๆมาทำการเสริมด้วยวัสดุยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ปริมาณร้อยละ 0.50 ในอัตราส่วนผสม (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17แล้วทำให้มวลรวมผสมมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ ข3 ซึ่งไม่สอดคล้องตามมาตรฐานกรมทางหลวง

4.3.2.3 เมื่อนำผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมผสมที่ได้จากการทดสอบต่างๆมาทำการเสริมด้วยวัสดุยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ปริมาณร้อยละ 0.75 ในอัตราส่วนผสม (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ :

Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.75 : 45 :20 : 18 : 17แล้วทำให้มวลรวมผสมมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ ข4 ซึ่งไม่สอดคล้องตามมาตรฐานกรมทางหลวง

4.4 การทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตตามอัตราส่วนออกแบบผสมชนิดหินปูน

4.4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 18 : 17 ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ในปริมาณต่างๆกัน ดังภาพที่ 4.1 และตารางที่ ข1 จะเห็นว่า ที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ร้อยละ 5.1 โดยน้ำหนักของมวลรวม แอสฟัลต์คอนกรีตจะมีคุณสมบัติสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานกรมทางหลวงโดยมีรายละเอียดดังนี้

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ	มาตรฐานกรมทางหลวง
ความหนาแน่น,กรัม/ลบ.ซม.	2.399	-
ร้อยละช่องว่างอากาศ	4.1	3ถึง5
การไหล,0.01 นิ้ว	11.9	8 ถึง16
เสถียรภาพ,ปอนด์	2,675	ไม่น้อยกว่า 1,800
ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์	71.0	-
ร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวม	14.10	ไม่น้อยกว่า 14

4.4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17 ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ในปริมาณต่างๆกัน ดังภาพที่ 4.2 และตารางที่ ข2 จะเห็นว่า ที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ร้อยละ 5.75 และ 5.83 โดยน้ำหนักของมวลรวม แอสฟัลต์คอนกรีตจะมีคุณสมบัติสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานกรมทางหลวงโดยมีรายละเอียดดังนี้

คุณสมบัติ	**ผลการทดสอบ**	**มาตรฐานกรมทางหลวง**
ความหนาแน่น,กรัม/ลบ.ซม.	2.391	-
ร้อยละช่องว่างอากาศ	4.1	3ถึง5
การไหล,0.01 นิ้ว	14	8ถึง16
เสถียรภาพ,ปอนด์	2,780	ไม่น้อยกว่า 1,800
ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์	72	-
ร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวม	14.73	ไม่น้อยกว่า 14

คุณสมบัติ	**ผลการทดสอบ**	**มาตรฐานกรมทางหลวง**
ความหนาแน่น,กรัม/ลบ.ซม.	2.391	-
ร้อยละช่องว่างอากาศ	4.0	3ถึง5
การไหล,0.01 นิ้ว	14.1	8ถึง16
เสถียรภาพ,ปอนด์	2,790	ไม่น้อยกว่า 1,800
ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์	73	-
ร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวม	14.80	ไม่น้อยกว่า 14

4.4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17 ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ในปริมาณต่างๆกัน ดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ ข3 จะเห็นว่า ที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ร้อยละ 4.1 และ 4.0 โดยน้ำหนักของมวล

รวม แอสฟัลต์คอนกรีตจะมีคุณสมบัติสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานกรมทางหลวงโดยมีรายละเอียดดังนี้

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ	มาตรฐานกรมทางหลวง
ความหนาแน่น,กรัม/ลบ.ซม.	2.367	-
ร้อยละช่องว่างอากาศ	4.1	3ถึง5
การไหล,0.01 นิ้ว	21.5	8ถึง16
เสถียรภาพ,ปอนด์	2,885	ไม่น้อยกว่า 1,800
ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์	75.0	-
ร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวม	16.2	ไม่น้อยกว่า 14

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ	มาตรฐานกรมทางหลวง
ความหนาแน่น,กรัม/ลบ.ซม.	2.367	-
ร้อยละช่องว่างอากาศ	4.0	3ถึง5
การไหล,0.01 นิ้ว	21.7	8ถึง16
เสถียรภาพ,ปอนด์	2,890	ไม่น้อยกว่า 1,800
ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์	76.0	-
ร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวม	14.80	ไม่น้อยกว่า 14

4.4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.75 : 45 :20 : 18 : 17 ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ในปริมาณต่างๆกัน ดังภาพที่ 4.4 และตารางที่ ข4 จะเห็นว่า ที่ปริมาณช่องว่างเท่ากับ 4.0 และ 4.10 นั้นไม่สามารถลากเส้นไปตัดเส้นกราฟได้ ดังนั้น ผลการทดสอบตัวอย่างนี้ไม่สามารถหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมได้

4.5 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมวัสดุยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion Fiber : Hot Bin 1:2:3:4 ในปริมาณร้อยละต่างๆชนิดหินปูน

ผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ค่าที่แสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 จะมีค่าที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยสังเคราะห์ที่ใช้ผสมเพิ่ม เมื่อใช้ปริมาณเส้นใยสังเคราะห์มาก คุณสมบัติที่ได้จะไม่สอดคล้องกับเกณฑ์กำหนดและเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยสังเคราะห์ที่ร้อยละ 0.25 จะทำให้คุณสมบัติเข้าใกล้เกณฑ์กำหนดแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมวัสดุเส้นใยสังเคราะห์ที่ Mix Proportion (Fiber : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17 ที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ปริมาณร้อยละ 5.25 และ 5.30 โดยน้ำหนักของมวลรวมแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีคุณสมบัติสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานกรมทางหลวง

4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติดัชนีความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีต

4.6.1 แอสฟัลต์คอนกรีตที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 18 : 17มีค่าดัชนีความแข็งเท่ากับ 81% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของกรมทางหลวง ดังตารางที่4.3

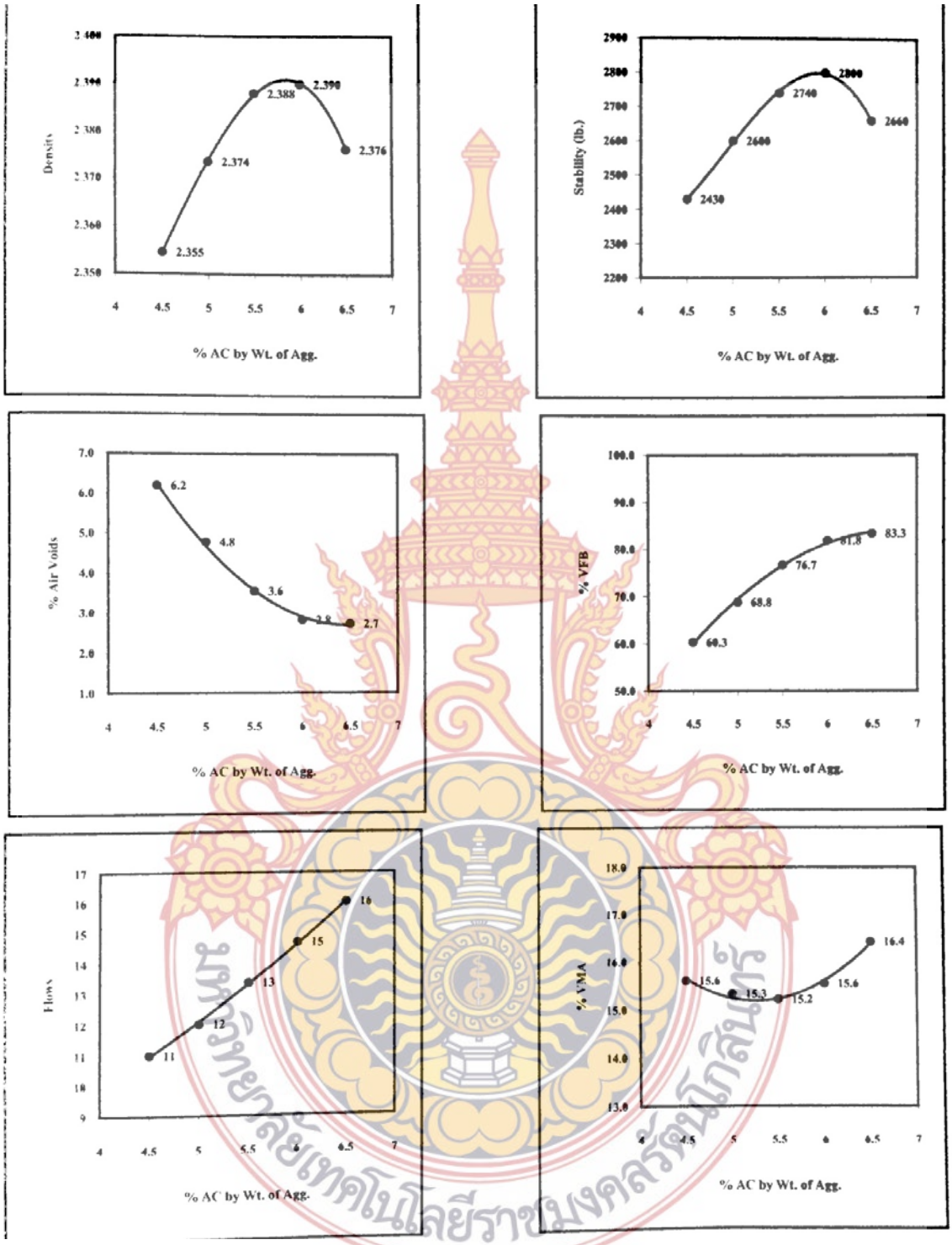
4.6.2 แอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ: Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17มีค่าดัชนีความแข็งเท่ากับ 88% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของกรมทางหลวงเช่นเดียวกับแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ ดังตารางที่ 4.5

4.6.3 แอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17มีค่าดัชนีความแข็งเท่ากับ 81 และ 88% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของกรมทางหลวงเช่นเดียวกับแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

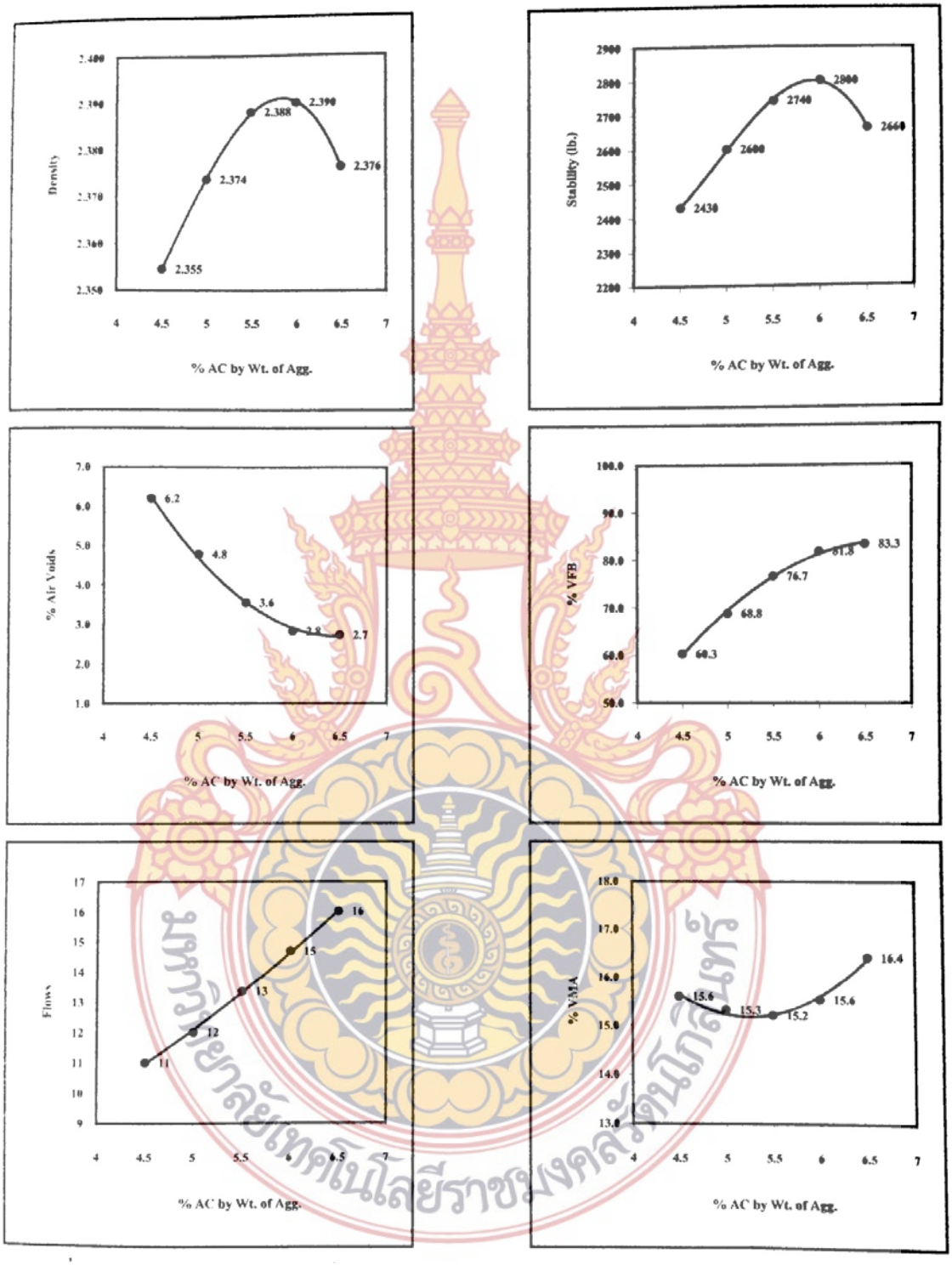
4.6.4 แอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.75 : 45 :20 : 18 : 17 ไม่สามารถหาค่าดัชนีความแข็งได้ เนื่องจากว่าอัตราส่วนช่องว่างมีค่าสูงมากจึงไม่สามารถหาเปอร์เซ็นของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมได้

4.7 ผลการเปรียบเทียบหาดัชนีความแข็งของแอสฟัลต์คอนกรีตปกติกับแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมเส้นใยสังเคราะห์ที่ Mix Proportion Fiber : Hot Bin 1:2:3:4 ในปริมาณร้อยละต่างๆชนิดหินปูน

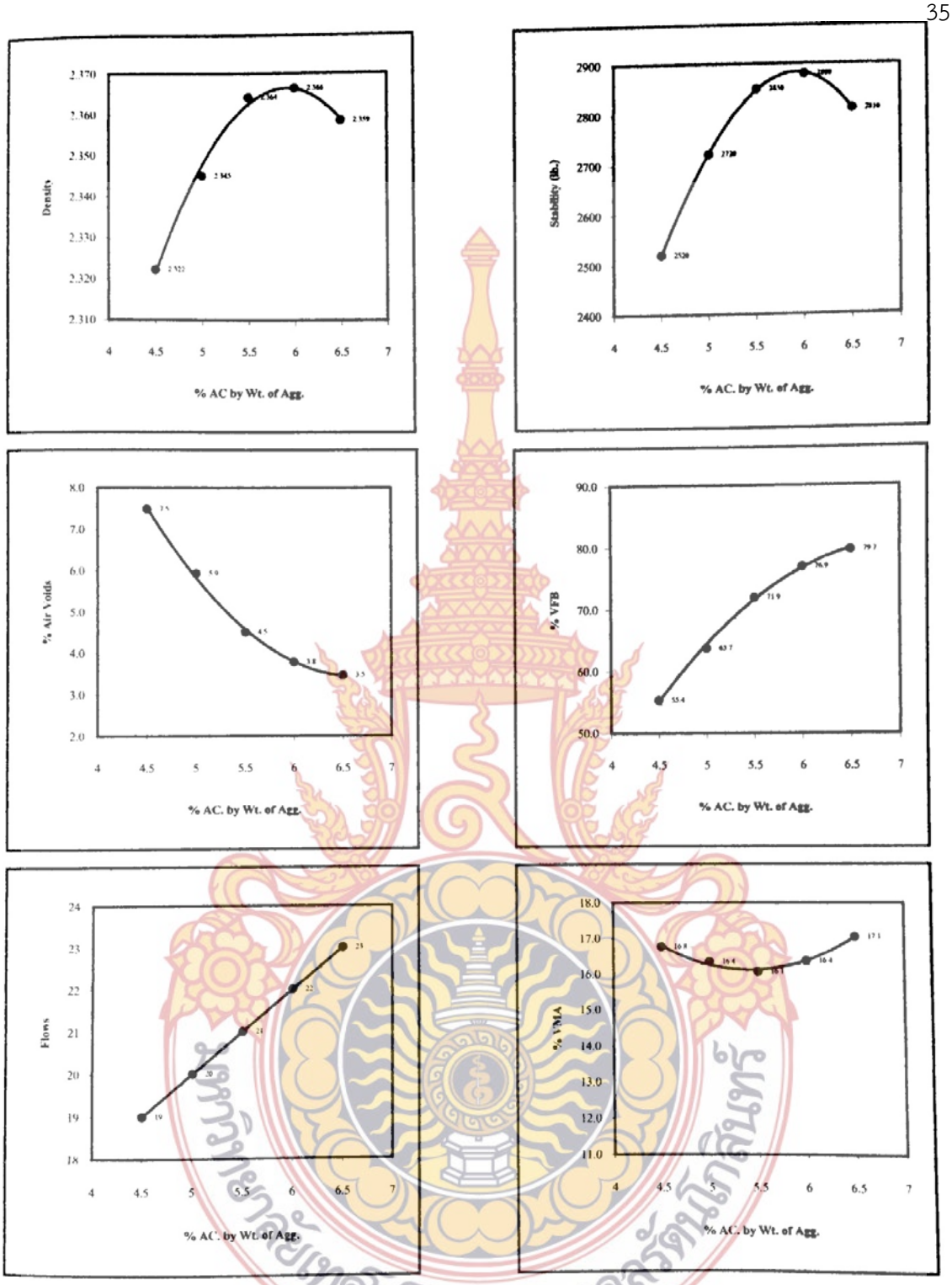
จะเห็นได้ว่า ตามปริมาณของยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ใช้ผสมเพิ่มในแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อใช้ปริมาณยางรถยนต์ที่หมดสภาพ มาก ค่าดัชนีความแข็งที่ได้จะมีค่าที่สูงขึ้น เมื่อใช้ปริมาณยางรถยนต์ที่หมดสภาพที่ร้อยละ 0.25 จะทำให้คุณสมบัติเข้าใกล้เกณฑ์ของกรมทางหลวง ที่แอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17 แอสฟัลต์ซีเมนต์ปริมาณร้อยละ 5.30 โดยน้ำหนักมวลรวม จะได้ค่าดัชนีความแข็งเท่ากับ 88% ทำให้มีคุณสมบัติสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานกรมทางหลวง



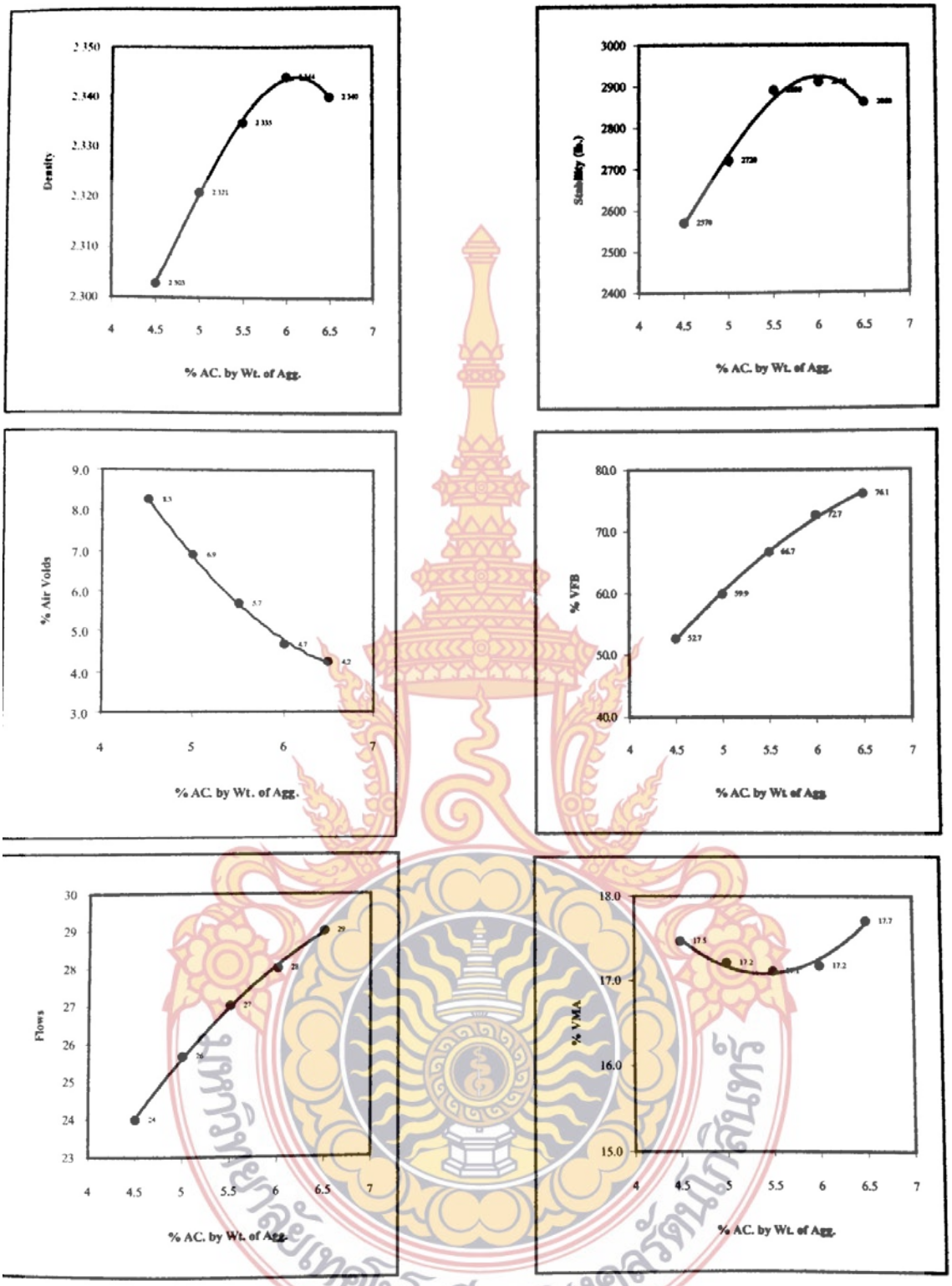
ภาพที่ 4-1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน) กับปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 20 : 15



ภาพที่ 4-2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน) กับปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.15 : 45 :20 : 20 : 15



ภาพที่ 4-3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน) กับปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17



ภาพที่ 4-4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน) กับปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.75 : 45 :20 : 18 : 17

ตารางที่ 4-1 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ กับแอสฟัลต์คอนกรีตไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ชนิดหินปูน ที่ปริมาณช่องว่าง 4.0%

คุณสมบัติ อัตราส่วนผสม	ความแน่น (g/ml)	แอสฟัลต์ (%)	การไหล (0.01 in)	เสถียรภาพ (lb)	VFB (%)	VMA (%)	ดัชนีกำลัง (%)
0.00 : 45 :20 : 18 : 17	2.401	5.50	12	2,687	71.7	14.10	79
0.25 : 45 :20 : 18 : 17	2.391	5.83	14.1	2,790	73	14.8	89
0.50 : 45 :20 : 18 : 17	2.367	5.85	21.7	2,890	76	16.2	81
0.75 : 45 :20 : 18 : 17	-	-	-	-	-	-	-
มาตรฐานกรมทางหลวง	-	3-7	8-16	≥1.800	-	≥14	>75

ตารางที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ กับแอสฟัลต์คอนกรีตไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ชนิดหินปูน ที่ปริมาณช่องว่าง 4.1 %

คุณสมบัติ อัตราส่วนผสม	ความแน่น (g/ml)	แอสฟัลต์ (%)	การไหล (0.01 in)	เสถียรภาพ (lb)	VFB (%)	VMA (%)	ดัชนีกำลัง (%)
0.00 : 45 :20 : 18 : 17	2.399	5.45	11.4	2,675	71.0	14.10	-
0.25 : 45 :20 : 18 : 17	2.399	5.85	14.0	2,781	73	14.8	74
0.50 : 45 :20 : 18 : 17	2.367	5.75	21.5	2,885	75	16.2	81
0.75 : 45 :20 : 18 : 17	-	-	-	-	-	-	-
มาตรฐานกรมทางหลวง	-	3-7	8-16	≥1.800	-	≥14	>75

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมวัสดุยางรถยนต์ที่หมดสภาพ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.00 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
Unsoaked Sample															
5.10	4.85	4.60	1,244.4	1,250.2	708.1	542.1	2.296						6,730	6,260	20
			1,247.3	1,249.8	710.3	539.5	2.312						6,070	5,650	20
			1,249.8	1,252.7	713.8	538.9	2.319						6,520	6,060	20
			1,240.4	1,247.9	708.9	539.0	2.301						6,930	6,440	18
						Average	2.308	10.4	82.2	17.8	7.4	58.4	-	6,100	20

ตารางที่ 4-3 (ต่อ) ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.00 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 18 : 17							Pen.Grade AC 60-70						Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75				Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff.AC by Wt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
Unsoaked Sample															
5.10	4.85	4.60	1,245.7	1,248.8	710.4	538.4	2.314						7,360	6,840	15
			1,249.1	1,253.7	713.2	540.5	2.311						7,810	7,260	14
			1,249.4	1,251.5	711.4	540.1	2.313						8,640	8,040	16
			1,246.7	1,251.8	708.3	543.5	2.294						8,590	7,990	16
						Average	2.308	10.4	82.2	17.8	7.4	58.4	-	7,530	15
Strength Index =				X 100	=	81 %									

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End								75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff.AC by Wt. of Mix.	Wight gm. In Air	Wight gm. Sat. Sur.Day	Wight gm. In Water	Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total AC	Volume % Total Agg.	VMA %	Air Voids %	VFB	Stability - Lb Meas.	Stability - Lb Adj.	Flows 1/100”
Unsoaked Sample															
5.25	4.99	4.73	1,255.4	1,256.8	710.0	546.8	2.296						6,420	5,970	18
			1,254.5	1,257.2	711.4	545.8	2.298						6,580	6,120	22
			1,252.5	1,255.0	710.0	545.0	2.298						6,500	6,050	18
			1,250.0	1,251.8	708.7	543.1	2.302						6,400	5,950	17
						Average	2.299	10.7	81.8	18.2	7.6	58.6	-	6,020	19

ตารางที่ 4-4(ต่อ) ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg		2.670		Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff.AC by Wt. of Mix.	Wight gm. In Air	Sat. Sur.Day	In Water	Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total AC	Agg.	VMA %	Air Voids %	VFB	Stability - Lb Meas.	Adj.	Flows 1/100”
Unsoaked Sample															
5.25	4.99	4.73	1,256.6	1,259.8	707.8	552.0	2.276						4,610	4,100	37
			1,253.8	1,256.7	713.6	543.1	2.309						4,810	4,470	30
			1,249.6	1,251.3	707.9	543.4	2.300						4,710	4,380	32
			1,255.4	1,257.6	714.4	543.2	2.311						4,910	4,570	32
						Average	2.308	10.4	82.2	17.8	7.4	58.6	-	4,380	33
Strength Index		=		X 100	=	73 %									

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง (Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff.AC by Wt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA %	Air Voids %	VFB	Stability - Lb		Flows 1/100”
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.				Meas.	Adj.	
Unsoaked Sample															
5.30	5.03	4.78	1,252.8	1,256.6	708.0	548.6	2.284						6,000	5,580	19
			1,255.3	1,258.1	710.1	548.0	2.291						5,470	5,090	18
			1,253.4	1,255.9	710.6	545.3	2.299						5,770	5,140	19
			1,250.3	1,252.9	708.4	544.5	2.296						5,520	4,910	20
						Average	2.293	10.7	81.6	18.4	7.7	58.2	-	5,180	19

ตารางที่ 4-5(ต่อ) ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC by Wt. of Mix.	Wight gm. In Air	Sat. Sur.Day	In Water	Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total AC	Agg.	VMA %	Air Voids %	VFB	Stability - Lb Meas.	Adj.	Flows 1/100”
Unsoaked Sample															
5.30	5.03	4.78	1,255.0	1,258.0	712.4	545.6	2.300						5,060	4,500	28
			1,251.5	1,255.1	710.4	544.7	2.298						5,320	4,730	24
			1,255.5	1,258.7	709.8	548.9	2.387						4,810	4,470	21
			1,251.7	1,255.0	708.4	546.6	2.290						4,940	4,590	21
						Average	2.294	10.8	81.6	18.4	7.6	58.7	-	4,570	24
Strength Index		=		X 100	=	88 %									

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 4-6 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC by Wt. of Mix.	Wight gm. In Air	Wight gm. Sat. Sur.Day	Wight gm. In Water	Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total AC	Volume % Total Agg.	VMA %	Air Voids %	VFB	Stability - Lb Meas.	Stability - Lb Adj.	Flows 1/100”
Unsoaked Sample															
5.75	5.44	5.18	1,260.6	1,262.8	709.4	553.4	2.278						6,270	5,580	22
			1,262.1	1,264.3	711.9	552.4	2.285						6,470	5,760	23
			1,263.1	1,264.9	712.7	552.2	2.287						6,650	5,920	22
			1,268.7	1,272.1	719.1	553.0	2.294						6,630	5,900	21
						Average	2.286	11.6	81.0	19.0	7.4	61.1	-	5,790	22

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 4-6(ต่อ) ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC by Wt. of Mix.	Wight gm. In Air	Wight gm. Sat. Sur.Day	Wight gm. In Water	Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total AC	Volume % Total Agg.	VMA %	Air Voids %	VFB	Stability - Lb Meas.	Stability - Lb Adj.	Flows 1/100”
Unsoaked Sample														
5.75	5.44	5.18	1,263.4	1,265.1	715.4	549.7	2.298						5,370	4,780	35
			1,265.8	1,267.5	711.8	555.7	2.278						5,140	4,570	38
			1,264.3	1,266.9	711.6	555.3	2.277						5,440	4,840	35
			1,266.7	1,269.1	716.4	552.7	2.292						5,090	4,530	39
							Average 2.286	11.6	81.0	19.0	7.4	61.1	-	4,680	38
Strength Index		=		X 100	=	81 %									

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff.AC by Wt . of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
Unsoaked Sample															
5.85	5.53	5.27	1,265.1	1,267.2	716.3	550.9	2.296						4,840	4,310	18
			1,269.0	1,271.0	715.3	555.7	2.284						5,390	4,800	19
			1,264.0	1,267.3	710.6	556.7	2.271						5,040	4,490	22
			1,267.5	1,271.2	716.2	555.0	2.284						5,420	4,820	27
						Average	2.284	11.8	80.8	19.2	7.4	61.5	-	4,610	22

ตารางที่ 4.7(ต่อ) ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแข็ง(Strength Index) ของแอสฟัลต์คอนกรีต (หินปูน) เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70				Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC by Wt. of Mix.	Wight gm. In Air	Wight gm. Sat. Sur.Day	Wight gm. In Water	Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total AC	Volume % Total Agg.	VMA %	Air Voids %	VFB	Stability - Lb Meas.	Stability - Lb Adj.	Flows 1/100”
Unsoaked Sample															
5.85	5.53	5.27	1,267.2	1,269.0	716.3	552.7	2.293						6,470	5,760	18
			1,265.4	1,268.5	717.2	551.3	2.295						6,520	5,800	19
			1,267.3	1,269.9	716.4	553.5	2.290						6,270	5,580	22
			1,264.0	1,267.3	710.6	556.7	2.271						6,300	5,610	27
						Average	2.287	11.8	80.9	19.1	7.3	62.0	-	5,690	22
Strength Index		=		X 100	=	81 %									

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยเรื่องชั้นผิวทางแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพเพื่อลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม ทางคณะผู้จัดทำได้รวบรวมผลการวิเคราะห์ผลการวิจัย โดยศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์ โดยใช้มาตรฐานของกรมทางหลวงประเทศไทย และศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพ โดยน้ำหนักอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้มาตรฐานของกรมทางหลวง ประเทศไทยจากนั้นดำเนินการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่หมดสภาพกับผิวทางแอสฟัลต์โดยทั่วไป โดยใช้มาตรฐานของกรมทางหลวงประเทศไทยจากผลการศึกษาวิจัยนี้ซึ่งได้ใช้การเปรียบเทียบผลระหว่างการเสริมความแข็งแรงด้วยวัสดุเส้นใยสังเคราะห์มาใช้เสริมในวัสดุสำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตปกติมวลรวมชนิดหินปูน สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ความแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพที่บดอัดแล้วมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีความแน่นสูงสุด หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ปริมาณยางรถยนต์ที่หมดสภาพ มาก ความแน่นจะมีค่าน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ซึ่งจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นมีอายุการใช้งานน้อยลง และมีคุณภาพที่ต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ซึ่งไม่ทำให้เกิดผลกระทบมาก เนื่องจากในการทำงานนั้นจะมีเกณฑ์การควบคุมการทำงานที่ 0.3 ของปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 5.30 ดังนั้นผลที่ได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ท่ามารถยอมรับได้

5.1.2 ร้อยละช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมวัสดุยางรถยนต์ที่หมดสภาพ จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับความแน่น จุดที่มีความแน่นสูงสุดจะใกล้เคียงกับจุดที่มีร้อยละช่องว่างอากาศในแอสฟัลต์คอนกรีตน้อยที่สุด และเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยสังเคราะห์มาก ร้อยละช่องว่างอากาศจะมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ จึงทำให้มีพื้นที่ในการขยายตัวของแอสฟัลต์มาก แต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาที่ผิวบนทำให้เกิดการเยิ้ม(Bleeding)และจะทำให้น้ำอากาศซึมผ่านเข้าไปทำลายแอสฟัลต์และการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้ง่ายขึ้น ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นมีอายุการใช้งานไม่ยืนยาวพอ

5.1.3 ค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมวัสดุยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ค่าการไหลจะเพิ่มขึ้น และแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ มีปริมาณการไหลมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยาง

รถยนต์ที่หมดสภาพ ตามปริมาณเส้นใยสังเคราะห์ที่เพิ่มขึ้นที่ปริมาณยางรถยนต์ที่หมดสภาพ เท่ากับ 0.50 และ 0.75 นั้น มีค่าการไหลที่สูงมาก ซึ่งจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นเกิดการเสียรูปทรงได้ง่ายขึ้นอาจทำให้เป็นอันตรายต่อการจราจรบนท้องถนนได้

5.1.4 เสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ พบว่า เมื่อเมื่อใช้ปริมาณยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่เพิ่มขึ้น ความแน่นมีค่าลดลง เสถียรภาพที่มากขึ้น และแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ มีค่าเสถียรที่มากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพนั้น ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นมีความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรได้สูง โดยที่ไม่เกิดร่องล้อเป็นคลื่นหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในลักษณะอื่นๆ แต่ถ้าค่าเสถียรภาพมีค่าสูงมากๆ จะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีลักษณะแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น อาจจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นเกิดความเสียหายได้

5.1.5 ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ แอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับร้อยละของช่องอากาศ จุดที่ร้อยละช่องว่างอากาศมากจะใกล้เคียงกับจุดที่มีร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะมีค่าน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยสังเคราะห์ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะมีค่าน้อยลง และ ยังคงน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ เมื่อค่าร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะมีผลทำให้ช่องว่างอากาศสูงขึ้น จะมีผลทำให้เกิดความเสียหายเหมือนกรณีที่ช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้น

5.1.6 ร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางรถยนต์ที่หมดสภาพที่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ซึ่งจะทำให้ปริมาตรช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์ซีเมนต์ได้มากขึ้น แสดงว่าทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ห่อหุ้มผิววัสดุมวลรวมหนาขึ้น ผลที่ตามมาทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทนต่ออายุการใช้งานที่ยืนยาว

5.1.7 ดัชนีความแข็งของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ: Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.25 : 45 : 20 :18 :17 มีค่าเท่ากับ 88% และ0.50 : 45 : 20 :18 :17 มีค่าเท่ากับ 81 และ 81% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของกรมทางหลวงเช่นเดียวกับ แอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมวัสดุเส้นใยสังเคราะห์ ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงได้ดีขึ้น

5.2 อภิปรายผลเพื่อหาแนวทางที่จะนำยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ใช้เสริมในงานแอสฟัลต์คอนกรีต

5.2.1 แอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์ที่หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4) เท่ากับ 0.25 : 45 : 20 :18 :17 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ร้อยละ 5.30 โดยน้ำหนักของมวลรวม ทำให้ทราบข้อดีและข้อเสียเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ได้ดังนี้

ตารางที่ 5-1 ข้อดีและข้อเสียของแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ที่ปริมาณร้อยละ 0.25

คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อเสีย
ความแน่น (Density)	-	- ทำให้อายุการใช้งานน้อยลงและแอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพต่ำลง แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
ช่องว่างอากาศ (Air Voids)	-ทำให้มีพื้นที่ในการขยายตัวได้มากขึ้น	-
การไหล (Flow)	-มีความยืดหยุ่นของผิวทางที่ดีและมีการยึดเกาะระหว่างมวลรวมมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น	-
เสถียรภาพ (Stability)	-สามารถรับน้ำหนักการจราจรได้สูงขึ้น โดยไม่เกิดร่องล้อ	-
ร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์(VFB)	-ทำให้ช่องว่างอากาศน้อยลง และทำให้ฟิล์มที่เคลือบวัสดุมวลรวมมากขึ้น -ทำให้ช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์มีมากขึ้น	-
ร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวม (VMA)	-ทำให้มีปริมาตรช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์ซีเมนต์ได้มากขึ้น -ทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ห่อหุ้มผิววัสดุมวลรวมหนาขึ้น	-
ดัชนีความแข็ง (Strength Index)	-สามารถรับกำลังได้สูงขึ้น -ทำให้มีความต้านทานในการหลุดลอกของแอสฟัลต์คอนกรีตได้ดีขึ้น	-

ตารางที่ 5-2 ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวง

คุณสมบัติต่างๆ		ผลการทดสอบที่ ปริมาณยางรถยนต์ที่หมดสภาพ 0.25%	มาตรฐานกรมทางหลวง
Design Asphalt Content (% By Weight of Aggregate)		5.30	±0.3%
Marshall Density	gm./ml.	2.384	-
Marshall Air Voids	%	4.0	3-5
Voids in Mineral Aggregate (VMA)	%	15.2	>14
Voids Filled with Asphalt (VFB)	%	75	-
Marshall Stability	lbs.	2,690	≥1,800
Marshall Flow	0.01”	13	8-16
Marshall Stability/ Marshall Flow	lbs./0.01”	207	≥160
Strength Index	%	88	≥75

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1) จากการศึกษาพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ จะมีการกระจายตัวของยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ในมวลรวมผสมไม่ดีพอ เนื่องจากจะมียางรถยนต์ที่หมดสภาพบางส่วนเกาะกันเป็นก้อน ทำให้ความแน่นของก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนนั้นมีค่าที่แตกต่างกันบ้างในบางก้อน ดังนั้นจึงควรศึกษาปรับปรุงวิธีป้องกันการกระจายของยางรถยนต์ที่หมดสภาพ ในวัสดุมวลรวม

2) การศึกษาครั้งนี้ พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพนั้น ในขณะที่ทำการผสมนั้น มีลักษณะค่อนข้างเหนียวและทำให้อุณหภูมิในการผสมลดลงเร็วกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ จึงทำให้บดอัดนั้นน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยในครั้งต่อไป

1) การศึกษาครั้งต่อไปควรทดลองนำวัสดุยางรถยนต์ที่หมดสภาพไปเสริมในแอสฟัลต์คอนกรีตกับมวลรวมชนิดอื่นๆ เช่น หินแกรนิต หินบะซอลท์ และ Slag เป็นต้น

2) ควรศึกษาในกรณีที่นำวัสดุยางรถยนต์ที่หมดสภาพไปใช้ในงานที่เกี่ยวกับคอนกรีต เพื่อศึกษาคุณสมบัติในด้านการรับแรงต่างๆของคอนกรีต

3) ควรศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ เช่น การทดสอบร่องล้อ ของแอสฟัลต์คอนกรีตปกติและแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ เพื่อนำมาประกอบการออกแบบและอายุการใช้งาน

4) ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งาน โดยเปรียบเทียบผลการตอบแทนทางเศรษฐกิจ พิจารณาต้นทุนการผลิตการประหยัดแรงงานและเชื้อเพลิง ว่าจะใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ลดลงเท่าไร ซึ่งจะคุ้มค่าในการนำยางรถยนต์ที่หมดสภาพมาใช้หรือไม่ อายุการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์ที่หมดสภาพ

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ชิตชัย อนันตเศรษฐ์ (2534). “**ลักษณะชั้นดินและฐานรากในเชียงใหม่**”.รายงานทางวิชาการ,ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ณรงค์ กุหลาบ. 2543. **แอสฟัลต์เทคโนโลยี.** มหาวิทยาลัยรังสิต,ปทุมธานี.

บริษัท กรุงเทพเอ็นยิเนียร์ริ่งคอนซัลแตนท์ จำกัด (2546). รายงานการเจาะสำรวจดิน. โครงการ THE CHEDI CHAING MAI.

ม.ล วิจิตอัจฉรา สรรพกิจจำนง และ คณะ (2536). ”**เถ้าลอยในงานทาง**”. รายงานฉบับที่ วพ.131,ศูนย์วิจัยและพัฒนา, กรมทางหลวง.

ศิริรัตน์ จิตการค้า วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุรพล เกตุแก้ว. 2551. **การปรับปรุงคุณภาพวัสดุพื้นทางเดิมด้วยอิมัลชันสำหรับการรีไซเคิลผิวถนนลาดยางแบบเย็นในที่**. สัมมนาวิศวกรรมทาง ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. หน้า409-427.

สุรพล เกตุแก้ว. 2551. เส้นทางสัมพันธ์, **2551 "ทางเลือกใหม่สำหรับงาน Prime coat" วารสารเส้นทางสัมพันธ์ บริษัททิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน),** 10, 30 : กันยายน-ธันวาคม 2551.

เหม โง้วศิริ 2553. **การก่อสร้างและควบคุมคุณภาพงานบูรณะปรับปรุงถนนลาดยางเดิม.** สัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และตรวจสอบ ประจำปีงบประมาณ 2553 .

K.Anandakumar. A study on the partition of net radiation into heat fluxes on a dry asphalt surface, Atmospheric Environment . 33, (1999), 3911-3918.

N.Miura, D.T. Bergado, A.Sakai and R.Nakamurra (1987). ”Improvementa of Soft Marine ClayBy Special Admixtures Using Dry and Wet Jet Method”. 9th Southeast Asian Geotechnical Conference , 7-11 December1987, Bangkok , PP8-35 – PP8-46.

S.Valliappan (1992). ”Computer Aided Designs in Geotechnical Engineering”. Contribution forthe Work Shop, November 1992, Southeast Asian Geotechnical Society(SEAGS).

THAI TENOX CO.,LTD and THAI PILING RIG CO.,LTD (2004). Repoet, Soil Cement Column Installation (Installation Standard Step), Project:THE CHEDI CHAINGMAI.

Vernor R.Schaefer and Lee W.Abramson (1997). ”Ground Improvement, Ground Reinforcement, Ground Treatment”. Proceeding of Session, Committee on Soil Improvement andGeosynthetics of the GEO-INSTITUTE of American Socity of Civil Engineering, 17-19 July, American.

Xingwei Chen and Baoshan Huang. Evaluation of moisture damage in hot mix asphalt using simple performance and superpave indirect tensile tests, 22(2008), 1950-1962.

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุมวลรวม

ตารางที่ ก1 ผลการทดสอบขนาดคละของวัสดุมวลรวม Hot Bin 1

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size	First Trial			Second Trial			Average % Passing
	Retained gm.	Passing gm.	Passing %	Retained gm.	Passing gm.	Passing %	
#4	-	989.7	100	-	1,209.9	100	100
#8	235.1	754.6	76.2	257.9	952.0	78.7	77.5
#16	268.5	486.1	49.1	312.6	639.4	52.8	51.0
#30	164.1	322.0	32.5	207.3	432.1	35.7	34.1
#50	120.7	201.3	20.3	155.2	276.9	22.9	21.6
#100	73.3	127.6	12.9	105.0	171.9	14.2	13.6
#200	34.5	93.1	9.4	48.7	123.2	1.2	9.8

ตารางที่ ก2 ผลการทดสอบขนาดคละของวัสดุมวลรวม Hot Bin 2

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size	First Trial			Second Trial			Average % Passing
	Retained gm.	Passing gm.	Passing %	Retained gm.	Passing gm.	Passing %	
3/8”	-	2,166	100	-	2,165	100	100
#4	513	1,635	76.3	554	1,611	74.4	75.4
#8	1,135	518	23.9	1,084	527	24.3	24.1
#16	447	71	3.3	461	66	3.0	3.2
#30	59	12	0.6	59	7	0.3	0.5

ตารางที่ ก3 ผลการทดสอบขนาดคละของวัสดุมวลรวม Hot Bin 3

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size	First Trial			Second Trial			Average % Passing
	Retained gm.	Passing gm.	Passing %	Retained gm.	Passing gm.	Passing %	
¾”	-	3,055	100	-	3,587	100	100
½”	92	2,963	97.0	78	3,509	97.8	97.4
3/8”	1,271	1,692	55.4	1,543	1,966	54.8	55.1
#4	1,491	201	6.6	1,735	231	6.4	6.5
#8	160	41	1.3	179	52	1.4	1.4

ตารางที่ ก4 ผลการทดสอบขนาดคละของวัสดุมวลรวม Hot Bin 4

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size	First Trial			Second Trial			Average % Passing
	Retained gm.	Passing gm.	Passing %	Retained gm.	Passing gm.	Passing %	
¾”	-	4,004	100	-	4,384	100	100
½”	3,646	358	8.9	3,949	435	9.9	9.4
3/8”	342	16	0.4	402	33	0.8	0.6

ตารางที่ ก5 ผลการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุมวลรวมหยาบ (หินปูน)

Material : หิน ¾” nominal size

Grading B number of revolution 500

Number of abrasive 11 weight of changes 4,584 gm.

Sieve Size		Accumulation Weight of sample	
Passing	Retained on		
1 ½”	1”	-	gm.
1”	¾”	-	gm.
¾”	½”	2,500	gm.
½”	3/8”	2,500	gm.
Original Weight of sample (W1)		5,000	gm.
Final Weight of sample (W2)		3,590	gm.
Loss (W1-W2)		1,410	gm.
Percent of wear $\frac{W1-W2}{W1}$ x 100		28.2	

ตารางที่ ก6 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแบนของวัสดุมวลรวมหยาบ Hot Bin 2

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size U.S.Standard Square Opening (mm.)	Width of slot Sieve (mm.)		Mass Retained Y (gm.)	Mass Passing X (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Flakiness Index %
63.50-50.80 (2 ½" – 2")	34.29	(1.350")				
50.80-38.10 (2"-1 ½")	26.67	)				
38.10-25.40 (1 ½"-1")	19.05	(1.050")				
25.40-19.05 (1"-3/4")	13.34	)				
19.05-12.70 (3/4"-1/2")	9.53	(0.750")				
12.70-9.52 (1/2"-3/8")	6.68	)				
9.52-4.76 (3/8"-#4)	4.29	(0.525")	345	168	513	
		)				
		(0.375")				
		)				
		(0.263")				
		)				
		(0.169")				
		)				
total			345	168	513	32.7
% F.I. = Total Mass Passing slot sieve x 100 / Total mass			X / (X+Y)	x	100	= 33 %

ตารางที่ ก7 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแบนของวัสดุมวลรวมหยาบ Hot Bin 3

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size U.S.Standard Square Opening (mm.)	Width of slot Sieve (mm.)		Mass Retained Y (gm.)	Mass Passing X (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Flakiness Index %
63.50-50.80 (2 ½" – 2")	34.29	(1.350")				
50.80-38.10 (2"-1 ½")	26.67	)				
38.10-25.40 (1 ½"-1")	19.05	(1.050"				
25.40-19.05 (1"-3/4")	13.34	)				
19.05-12.70 (3/4"-1/2")	9.53	(0.750"	60	32	92	
12.70-9.52 (1/2"-3/8")	6.68	)	1,127	144	1,271	
9.52-4.76 (3/8"-#4)	4.29	(0.525"	1,371	120	1,491	
		)				
		(0.375"				
		)				
		(0.263"				
		)				
		(0.169"				
		)				
total			2,558	296	2,854	10.4
% F.I. = Total Mass Passing slot sieve x 100 / Total mass			X / (X+Y)	x	100	= 10 %

ตารางที่ ก8 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแบนของวัสดุมวลรวมหยาบ Hot Bin 4

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size U.S.Standard Square Opening (mm.)	Width of slot Sieve (mm.)		Mass Retained Y (gm.)	Mass Passing X (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Flakiness Index %
63.50-50.80 (2 ½" – 2")	34.29	(1.350")				
50.80-38.10 (2"-1 ½")	26.67	)				
38.10-25.40 (1 ½"-1")	19.05	(1.050"				
25.40-19.05 (1"-3/4")	13.34	)				
19.05-12.70 (3/4"-1/2")	9.53	(0.750"	3,246	400	3,646	
12.70-9.52 (1/2"-3/8")	6.68	)	317	25	342	
9.52-4.76 (3/8"-#4)	4.29	(0.525"	10	4	14	
		)				
		(0.375"				
		)				
		(0.263"				
		)				
		(0.169"				
		)				
total			3,573	429	4,002	10.7
% F.I. = Total Mass Passing slot sieve x 100 Total mass				X 100 = (X+Y)	x	11 %

ตารางที่ ก9 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความยาวของวัสดุมวลรวมหยาบ Hot Bin 2

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size U.S.Standard Square Opening (mm.)	Width of Slot Sieve (mm.)	Mass Passing X (gm.)	Mass Retained Y (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Flakiness Index %
63.50-50.80 (2 ½" – 2")	102.87 (4.050")				
50.80-38.10 (2"-1 ½")	80.01)				
38.10-25.40 (1 ½"-1")	57.15 (3.150"				
25.40-19.05 (1"-3/4")	40.01)				
19.05-12.70 (3/4"-1/2")	28.58 (2.250"				
12.70-9.52 (1/2"-3/8")	20.02)				
9.52-4.76 (3/8"-#4)	12.85 (1.575") (1.125") (0.788") (0.506")	505	8	513	
total		505	8	513	1.6

$$\% \text{ F.I.} = \frac{\text{Total Mass Retained}}{\text{Total mass}} \times 100 = \frac{Y}{(X+Y)} \times 100 = 2\ \%$$

ตารางที่ ก10 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความยาวของวัสดุมวลรวมหยาบ Hot Bin 3

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size U.S.Standard Square Opening (mm.)	Width of slot Sieve (mm.)		Mass Passing X (gm.)	Mass Retained Y (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Flakiness Index %
63.50-50.80 (2 ½" – 2")	102.87	(4.050")				
50.80-38.10 (2"-1 ½")	80.01	)				
38.10-25.40 (1 ½"-1")	57.15	(3.150")				
25.40-19.05 (1"-3/4")	40.01	)				
19.05-12.70 (3/4"-1/2")	28.58	(2.250")	89	3	92	
12.70-9.52 (1/2"-3/8")	20.02	)	975	296	1,271	
9.52-4.76 (3/8"-#4)	12.85	(1.575")	1,411	80	1,491	
		)				
		(1.125")				
		)				
		(0.788")				
		)				
		(0.506")				
		)				
total			2,475	379	2,854	13.3
% F.I. = Total Mass Retained x 100 / Total mass			Y / (X+Y) x 100 =			13 %

ตารางที่ ก11 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความยาวของวัสดุมวลรวมหยาบ Hot Bin 4

Material : หินปูน (Lime Stone)

Sieve Size U.S.Standard Square Opening (mm.)	Width of slot Sieve (mm.)	Mass Passing X (gm.)	Mass Retained Y (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Flakiness Index %
63.50-50.80 (2 ½" – 2")	102.87 (4.050")				
50.80-38.10 (2"-1 ½")	80.01)				
38.10-25.40 (1 ½"-1")	57.15 (3.150"				
25.40-19.05 (1"-3/4")	40.01)				
19.05-12.70 (3/4"-1/2")	28.58 (2.250"	3,070	576	3,646	
12.70-9.52 (1/2"-3/8")	20.02)	258	84	342	
9.52-4.76 (3/8"-#4)	12.85 (1.575"	12	2	14	
	)				
	(1.125"				
	)				
	(0.788"				
	)				
	(0.506"				
	)				
total		3,340	662	4,002	16.5

% F.I. = $\frac{\text{Total Mass Retained}}{\text{Total mass}} \times 100 = \frac{Y}{(X+Y)} \times 100 =$ 17 %

ตารางที่ ก12 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของวัสดุมวลรวม Hot Bin 1

Sample : หินปูน (Lime Stone),(Retained #200)

Wt.Pycnometer + SSD Sample = 743.1 gm. Wt.Container +Day Sample = 797.1 gm.

Wt. Pycnometer = 160.7 gm. Wt.Container = 220.1 gm.

Wt.SSD Sample (A) = 582.4 gm. Wt. Day Sample = 577.0 gm.

Determination		1	2	3
Temperature	(t) °C	45	50	60
Density of Water	(dt)gm/ml.	0.9902	0.9922	0.9941
Wt. Pycnometer + Water + Sample	(W1)gm.	1,021.4	1,021.9	1,022.4
Wt. Pycnometer + Water	(W2)gm.	655.5	656.4	657.3
Apparent Specific Gravity				
GA (t°C) = B × [dt /(B+W2-W1)]		2.707	2.707	2.707
GB(30°C) = GA × (t / 0.9957)		2.719	2.719	2.719
Bulk Specific Gravity (Oven-Day Bassic)				
GB (t°C) = B × [dt /(A+W2-W1)]		2.639	2.639	2.640
GB(30°C) = GB × (t / 0.9957)		2.650	2.650	2.651

Average GA. (30°C) = 2.719

Average GB. (30°C) = 2.650

% Water Absorption = [(A-B)/B] ×100 = 0.94 %

ตารางที่ ก13 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของวัสดุมวลรวม Hot Bin 1

Sample : หินปูน (Lime Stone),(Retained #200)

Wt.Pycnometer + SSD Sample = - gm. Wt.Container +Day Sample = 349.8 gm.

Wt. Pycnometer = - gm. Wt.Container = 210.9 gm.

Wt.SSD Sample (A) = - gm. Wt. Day Sample = 138.9 gm.

Determination		1	2	3
Temperature	(t) °C	45	50	60
Density of Water	(dt)gm/ml.	0.9902	0.9922	0.9941
Wt. Pycnometer + Water + Sample	(W1)gm.	743.4	744.3	745.1
Wt. Pycnometer + Water	(W2)gm.	675.4	656.4	745.1
Apparent Specific Gravity				
GA (t°C) = B × [dt /(B+W2-W1)]		1.940	2.707	0.994
GB(30°C) = GA × (t / 0.9957)		2.714	2.714	2.714
Bulk Specific Gravity (Oven-Day Bassic)				
GB (t°C) = B × [dt /(A+W2-W1)]		-	-	-
GB(30°C) = GB × (t / 0.9957)		-	-	-

Average GA. (30°C) = 2.714

Average GB. (30°C) = -

% Water Absorption = [(A-B)/B] ×100 = - %

ตารางที่ ก15 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ (หินปูน)

Material : Hot Bin 3 และ 4

Sample		Mass of Sample (gm)			Bulk Specific Gravity (GB) A/(B-C)	Apparent Specific Gravity (GA) A/(A-C)	Water Absorption (%) (B-A)×100 A
		In Oven-Day (A)	In Saturate Surface Day (B)	Immersed In water (C)			
Hot Bin 2	No.1						
	No.2						
	No.3						
	No.4						
	Total						
Hot Bin 3	No.1	933.3	937.5	589.2	2.680	2.712	0.45
	No.2	936.7	940.5	591.8	2.686	2.716	0.41
	No.3	943.5	947.9	595.5	2.677	2.711	0.47
	No.4						
	Total	2,813.5	2,825.9	1,776.5	2.681	2.713	0.44
Hot Bin 4	No.1	941.2	944.0	595.0	2.697	2.719	0.30
	No.2	945.3	948.4	596.8	2.689	2.712	0.33
	No.3	951.0	955.1	601.3	2.688	2.219	0.43
	No.4						
	Total	2,837.5	2,847.5	1,793.1	2.691	2.717	0.35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ก16 ผลการทดสอบความทนทานของมวลรวมหยาบ

Sample หิน ¾”

Source โรงโม่หินสินชัย ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

1.Quantitative Examination ☑ Coarse Aggregate ☐ Fine Aggregate

Plus 4.75 mm. .....% Minus 4.75 mm. .....%

Sieve Size,mm.	% Retained of Original sample (1)	Mass of Test Fraction Before Test gm. (2)	Mass of Test Fraction After Test gm. (3)	Actual Loss,gm. (4)= (2)- (3)	Actual % Loss. (5)= (4) ×100 (2)	Weighted% Loss (6)= (1)× (5) 100
63-37.5	0	0	0	0	0	0
37.5-19.0	0	0	0	0	0	0
19.0-9.5	61.10	1,000	996.2	3.8	0.38	0.23
9.5-4.75	36.20	300.0	295.1	4.9	1.63	0.59
Minus 4.75	2.7	-	-	-	1.63	0.04
			Total % Loss			0.9

2. Qualitative Examination of Aggregate Larger than 19.0 mm.

Sieve Size,mm.	Particles Exhibiting of Distress								Total No. of Particles Before Test
	Splitting		Crumbling		Cracking		Flaking		
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	

3.Solution ☑ Sodium Sulfate ☐ Magnesium Sulfate

Freshly Prepared Previously Used

4. Number of Cycles 5 Cycles.

ตารางที่ ก17 ผลการทดสอบความทนทานของมวลรวมละเอียด

Sample หินฝุ่น

1.Quantitative Examination ☐ Coarse Aggregate ☒ Fine Aggregate

Plus 4.75 mm. .....% Minus 4.75 mm. .....%

Sieve Size,mm.	% Retained of Original sample (1)	Mass of Test Fraction Before Test gm. (2)	Mass of Test Fraction After Test gm. (3)	Actual Loss,gm. (4)= (2)- (3)	Actual % Loss. (5)= (4) ×100 (2)	Weighted% Loss (6)= (1)× (5) 100
9.5-4.75	0	0	0	0	0	0
4.75-2.36	0	0	0	0	0	0
2.36-1.18	39.2	100	96.2	3.8	3.80	1.49
1.18-0.60	38.1	100	96.1	3.9	3.90	1.49
0.60-0.30	17.9	100	96.1	3.9	3.90	0.70
Minus 4.75	4.8	-	-	-	3.90	0.19
			Total % Loss			3.9 %

2. Qualitative Examination of Aggregate Larger than 19.0 mm.

Sieve Size,mm.	Particles Exhibiting of Distress								Total No. of Particles Before Test
	Splitting		Crumbling		Cracking		Flaking		
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	

3.Solution ☒ Sodium Sulfate ☒ Magnesium Sulfate

Freshly Prepared Previously Used

4. Number of Cycles 5 Cycles.

ตารางที่ ก18 ผลการทดสอบหาค่า Sand Equivalent ของวัสดุมวลรวม

Hot Bin 1

Sample no.1	Sand Reading	Clay Reading	S.E.= $\frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100$	Remark
1.	3.8	5.2	$\frac{3.8}{5.2} \times 100 = 73.1\ \%$ = 74 %	
2.	3.8	5.3	$\frac{3.8}{5.3} \times 100 = 71.7\ \%$ = 72 %	
			Average = 73%	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ก19 ผลการทดสอบหาค่า Sand Equivalent ของวัสดุมวลรวม

Cold Bin (หินฝุ่น)

Sample no.1	Sand Reading	Clay Reading	S.E.= $\frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100$	Remark
1.	3.7	5.5	$\frac{3.7}{5.5} \times 100 = 67.3\ \%$ $= 68\ \%$	
2.	3.7	5.6	$\frac{3.7}{5.6} \times 100 = 66.1\ \%$ $= 67\ \%$	
			Average = 68%	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ก20 Specific Gravity Blend

Specific Gravity of Hot Bin 1 Retained #200 : Gb = 2.650 , Ga = 2.719

Passing #200 : Ga = 2.714

Blend Sp.Gr. = $\frac{100}{[R\#200/Gb\#200]+[P\#200/Ga\#200]}$

$= \frac{100}{\left[\frac{90.2}{2.650}\right]+\left[\frac{9.8}{2.714}\right]}$

Blend Sp.Gr. = 2.656

description		Hot Bin 1 [HB 1]	Hot Bin 2 [HB 2]	Hot Bin 3 [HB 3]	Hot Bin 4 [HB 4]
Bulk Specific Gravity	(GB)	2.656	2.673	2.681	2.691
Apparent Specific Gravity	(GA)	2.719	2.714	2.713	2.717
Flaskiness Index	(F.I.)		33	10	11
Elongation Index	(E.I.)		2	13	17
% Passing Sieve#4	(P)		75.4	6.5	-
Mix Proportion	(H)	45	20	18	17

Apparent Specific Gravity Blend = $\frac{100}{\left[\frac{HB1}{Ga1}\right]+\left[\frac{HB2}{Ga2}\right]+\left[\frac{HB3}{Ga3}\right]+\left[\frac{HB4}{Ga4}\right]}$

$= \frac{100}{\left[\frac{45}{2.719}\right]+\left[\frac{20}{2.714}\right]+\left[\frac{18}{2.713}\right]+\left[\frac{17}{2.717}\right]}$

Blend Ga. = 2.717

Bulk Specific Gravity Blend = $\frac{100}{\left[\frac{HB1}{Gb1}\right]+\left[\frac{HB2}{Gb2}\right]+\left[\frac{HB3}{Gb3}\right]+\left[\frac{HB4}{Gb4}\right]}$

$= \frac{100}{\left[\frac{45}{2.656}\right]+\left[\frac{20}{2.673}\right]+\left[\frac{18}{2.681}\right]+\left[\frac{17}{2.691}\right]}$

Blend Gb. = 2.670

Flaskiness Index of Total Agg. = $\frac{F.I.2[100-P2]+F.I.3[100-P3]+F.I.4[100-P4]}{[100-P2]HB2+[100-P3]HB3+[100-P4]HB4}$

$$= \frac{38(100-78.4)20+10(100-6.8)18+11(100-0)17}{(100-78.4)20+(100-6.8)18+(100-0)17} =$$

13%

Elongation Index of Total Agg. $= \frac{E.I.2[100-P2]+E.I.3[100-P3]+E.I.4[100-P4]}{[100-P2]HB2+[100-P3]HB3+[100-P4]HB4}$

$$= \frac{2(100-78.4)20+13(100-6.8)18+17(100-0)17}{(100-78.4)20+(100-6.8)18+(100-0)17} =$$

10.73 %

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ก21 การหาอัตราส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต

Aggregate	Sp.Gr.	1”	¾”	½”	3/8”	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Hot Bin 1	2.656		100	100	100	100	77.5	51.0	34.1	21.6	3.6	9.8
Hot Bin 2	2.673		100	100	100	75.4	24.1	3.2	0.5	-	-	-
Hot Bin 3	2.681		100	97.4	55.1	6.5	1.4	-	-	-	-	-
Hot Bin 4	2.691		100	9.4	0.6	-	-	-	-	-	-	-
Desired	Binder Course	100	90-100	-	56-86	65-65	23-49	-	-	5-10	-	2-8
DOH.-408/32	Wearing Course		100	80-100	-	44-74	28-58	-	-	5-21	-	2-10

N0.	Sp.Gr.		Proportion													
1	2.670	45	20	18	17		100	86.0	78.3	64.8	41.1	23.7	15.4	9.7	6.1	4.4

Asphalt Absorbed by Aggregate = 0.27 %

No.	% AC by Agg	Date	Wt.In Air (gm.)	Wt. SSD. (gm.)	Wt. In Water (gm.)	Vol. (ml.)	Density (gm./ml.)	VMA. (%)	Air Voids. (%)	VFB. (%)	Stability (Lb.)	Flow (1/100”)
1	5.0		1,240.0	1,241.0	722.9	518.1	2.393					
			1,241.7	1,242.7	722.9	519.8	2.389					
			1,240.0	1,241.1	720.9	520.2	2.384					
						Average	2.389	14.8	4.2	71.7		

ตารางที่ ก21 (ต่อ) การหาอัตราส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต

Aggregate	Sp.Gr.	1”	¾”	½”	3/8”	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Hot Bin 1	2.656		100	100	100	100	77.5	51.0	34.1	21.6	3.6	9.8

Hot Bin 2			2.673			100	100	100	75.4	24.1	3.2	0.5	-	-	-
Hot Bin 3			2.681			100	97.4	55.1	6.5	1.4	-	-	-	-	-
Hot Bin 4			2.691			100	9.4	0.6	-	-	-	-	-	-	-
Desired			Binder Course		100	90-100	-	56-86	65-65	23-49	-	-	5-10	-	2-8
DOH.-408/32			Wearing Course			100	80-100	-	44-74	28-58	-	-	5-21	-	2-10

N0.	Sp.Gr.		Proportion												
1	2.670	45	20	18	17		100	86.0	78.3	64.8	41.1	23.7	15.4	9.7	6.1	4.4

Asphalt Absorbed by Aggregate	=	0.27	%		

No.	% AC by Agg	Date	Wt.In Air	Wt. SSD.	Wt. In Water	Vol.	Density	VMA.	Air Voids.	VFB.	Stability	Flow
1	5.0		(gm.)	(gm.)	(gm.)	(ml.)	(gm./ml.)	(%)	(%)	(%)	(Lb.)	(1/100")
			1,235.3	1,236.5	713.2	523.3	2.361					
			1,235.7	1,236.3	716.1	520.2	2.375					
			1,240.3	1,241.2	717.6	523.6	2.369					
						Average	2.368	15.5	5.0	67.8		

ตารางที่ ก22 Bin Combination

Cold Bins

Sieve Lime/Fiber	% Passing				
	3/8”	¾”	1”	Comb’d	Desired
1”			100	100	
¾”			85.5	97.7	100
½”			22.9	83.8	80-100
3/8”	100	100	5.7	80.2	-
#4	97.0	53.2	0.3	63.6	44-74
#8	68.3	9.7		36.4	28-58
#16	42.6	4.6		22.3	-
#30	27.6			13.5	-
#50	19.4			9.5	5-21
#100	14.4			7.1	-
#200	11.7			5.7	2-10
Mix Proportion	49	30	21	-	By Mass

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ก23 Bin Combination

Hot bins

Sieve Lime/Fiber	% Passing					
	Bin1	Bin2	Bin3	Bin4	Comb'd	Desired
1"						
¾"			100	100	100	100
½"			97.4	9.4	84.1	80-100
3/8"		100	55.1	0.6	75.0	-
#4	100	75.4	6.5		61.3	44-74
#8	77.5	24.1	1.4		39.9	28-58
#16	51.0	3.2			23.6	-
#30	34.1	0.5			15.4	-
#50	21.6				9.7	5-21
#100	13.6				6.1	-
#200	9.8				4.4	2-10
Mix Proportion	45	20	18	17		By Mass

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล

ตารางที่ ข1ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน) ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 18 : 17							Pen.Grade AC 60-70					Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
4.5	4.31	4.05	1,238.0	1,239.0	716.0718	523.0	2.367						2,500	2,400	11
			1,237.1	1,238.1	.1 718.9	520.0	2.379						2,420	2,420	10
			1,238.5	1,239.4		520.5	2.379						2,440	2,340	10
						Average	2.375	9.4	85.1	14.9	5.5	63.1	-	2,390	10
5.0	4.76	4.53	1,240.0	1,241.0	722.9	518.1	2.393						2,720	2,720	11
			1,241.7	1,242.7	722.9	519.8	2.389						2,410	2,410	11
			1,240.0	1,241.1	720.9	520.2	2.384						2,570	2,570	12
						Average	2.389	10.6	85.2	14.8	4.2	71.6	-	2,570	11

5.5	5.21	4.96	1,240.0 1,246.0 1,248.4	1,241.1 1,247.7 1,249.5	724.9 728.0 729.8	516.2 519.7 519.7	2.402 2.398 2.402						2,790 2,670 2,600	2,790 2,670 2,600	12 13 12
						Average	2.401	11.7	85.2	14.8	3.1	79.0	-	2,690	12

ตารางที่ ข1(ต่อ)ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน)ที่Mix Proportion(ยางรถยนต์หมดสภาพ: Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ0 : 45 :20 :18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0 : 45 :20 : 18 : 17						Pen.Grade AC 60-70						Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
6.0	5.66	5.41	1,252.9 1,253.9 1,250.6	1,253.3 1,254.0 1,250.7	733.2734 731.8	52.1 520.0 518.9	2.409 2.411 2.410						2,810 2,740 2,760	2,810 2,740 2,760	14 13 12

						Average	2.410	12.8	85.2	14.8	2.0	86.5	-	2,770	13
6.5	6.10	5.85	1,256.6	1,256.8	736.3	520.6	2.414						2,690	2,690	14
						523.7	2.399						2,830	2,830	14
			1,256.1	1,256.6	732.9	522.8	2.405						2,780	2,780	14
			1,257.2	1,257.6	734.8										
						Average	2.406	13.8	84.6	15.4	1.6	89.6	-	2,690	14

ตารางที่ ข2 ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน)ที่Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ: Hot Bin 1:2:3:4))เท่ากับ0.25 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70					Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670		Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
4.5	4.31	4.05	1,247.5	1,249.0	719.9719	529.3	2.357						2,550	2,450	11
						530.7	2.352						2,510	2,410	11
			1,248.3	1,250.3		529.9	2.355						2,520	2,420	10

			2	0	719.										
			1,247.	1,249.	5										
			9	4											
						Average	2.355	9.4	84.4	15.6	6.2	60.3	-	2,390	11
5.0	4.76	4.53	1,250.	1,251.	725.	526.3	2.376						2,690	2,580	12
			4	5	2	527.8	2.370						2,710	2,600	12
			1,251.	1,251.	724.	526.6	2.375						2,720	2,610	13
			0	9	1										
			1,250.	1,251.	725.										
			6	8	2										
						Average	2.374	10.5	84.7	15.3	4.8	68.8	-	2,600	12
5.5	5.21	4.96	1,254.	1,255.	729.	525.5	2.388						2,880	2,760	13
			7	3	8	524.0	2.389						2,830	2,710	14
			1,252.	1,252.	728.	524.9	2.387						2,860	2,750	13
			0	4	4										
			1,252.	1,254.	729.										
			9	1	2										
						Average	2.388	11.7	84.8	15.2	3.6	76.7	-	2,740	13

ตารางที่ ข2(ต่อ)ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน)ที่ Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ0.25 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.25 : 45 :20 : 18 : 17								Pen.Grade AC 60-70					Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670		Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
6.0	5.66	5.41	1,254.8	1,255.5	730.0731	525.5	2.388						2,910	2,800	15
			1,255.3	1,256.2	.0	525.2	2.390						2,930	2,810	14
			1,255.0	1,256.0	731.3	524.7	2.392						2,900	2,780	15
						Average	2.390	12.7	84.4	15.6	2.8	81.8	-	2,800	15
6.5	6.10	5.85	1,258.5	1,259.5	729.8	529.7	2.376						2,850	2,740	16
			1,257.8	1,258.7	728.9	528.9	2.378						2,820	2,710	15
			1,258.0	1,258.8	729.1	529.7	2.375						2,840	2,730	17
						Average	2.376	13.7	83.6	16.4	2.7	83.3	-	2,730	16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ข3 ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน)ที่ Mix Proportion(ยางรถยนต์หมดสภาพ:Hot Bin 1:2:3:4))เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17							Pen.Grade AC 60-70					Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End					75		Avg.Sp.Gr.Agg				2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
4.5	4.31	4.05	1,245.2	1,246.4	710.5709	535.9	2.324						2,620	2,520	18
			1,244.5	1,245.8	710.2	536.4	2.320						2,730	2,540	21
			1,244.8	1,246.0		535.8	2.323						2,600	2,500	19
						Average	2.322	9.3	83.2	16.8	7.5	55.4	-	2,390	19
5.0	4.76	4.53	1,245.5	1,247.5	715.3	532.2	2.340						2,760	2,650	19
			1,247.2	1,248.5	718.4	530.1	2.353						2,830	2,720	21
			1,248.1	1,249.5	716.6	532.9	2.342						2,910	2,790	20
						Average	2.345	10.4	83.6	16.4	5.9	63.7	-	2,720	20

5.5	5.21	4.96	1,252.8 1,253.1 1,250.3	1,253.1 1,253.6 1,251.2	722.6 723.4 723.1	530.5 530.2 528.1	2.362 2.363 2.368						2,900 3,040 3,160	2,780 2,920 3,030	23 21 19
						Average	2.364	11.6	83.9	16.1	4.5	71.9	-	2,850	21

ตารางที่ข3(ต่อ)ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน)ที่Mix Proportion(ยางรถยนต์หมดสภาพ:Hot Bin 1:2:3:4))เท่ากับ0.50:45 :20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.50 : 45 :20 : 18 : 17							Pen.Grade AC 60-70					Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End					75			Avg.Sp.Gr.Agg			2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
6.0	5.66	5.41	1,254.1 1,256.0 1,256.3	1,255.0 1,256.7 1,257.1	724.4726 .4 726.4	530.6 530.3 530.7	2.364 2.368 2.367						2,970 2,990 3,040	2,850 2,870 2,920	22 23 21

						Average	2.366	12.6	83.6	16.4	3.8	76.9	-	2,800	22
6.5	6.10	5.85	1,261.3	1,262.1	727.1	535.0	2.358						2,970	2,850	23
						534.3	2.360						2,920	2,800	24
			1,261.0	1,261.7	727.4	535.7	2.358						3,000	2,790	21
			1,263.1	1,263.6	727.6										
						Average	2.359	13.6	82.9	17.1	3.5	79.7	-	2,810	23

ตารางที่ ข4 ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน)ที่ Mix Proportion(ยางรถยนต์หมดสภาพ:Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.75:45:20 : 18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.75 : 45 :20 : 18 : 17							Pen.Grade AC 60-70						Sp.Gr.AC		1.02
Compaction, Number of Blows each End					75		Avg.Sp.Gr.Agg				2.670		Bitumen Absorption		0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA %	Air Voids %	VFB	Stability - Lb		Flows 1/100”
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.				Meas.	Adj.	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

4.5	4.31	4.05	1,248.8 1,249.2 1,251.4	1,249.9 1,250.6 1,252.1	708.0708 708.2	541.9 542.4 543.9	2.304 2.303 2.302						2,720 2,810 2,720	2,530 2,610 2,530	21 26 25
						Average	2.303	9.2	82.5	17.5	8.3	52.6	-	2,570	24
5.0	4.76	4.53	1,254.4 1,254.0 1,254.3	1,256.5 1,255.1 1,255.3	715.8 714.6 715.3	540.7 540.5 540.0	2.320 2.320 2.323						2,900 2,860 2,990	2,700 2,660 2,790	26 27 24
						Average	2.321	10.3	82.8	17.2	6.9	59.9	-	2,720	26
5.5	5.21	4.96	1,258.5 1,259.0 1,259.5	1,259.9 1,260.2 1,260.6	719.7 720.7 722.1	540.2 539.5 538.5	2.330 2.336 2.339						3,130 3,080 3,120	2,850 2,860 2,900	27 28 26
						Average	2.335	11.4	82.9	17.1	5.7	66.7	-	2,890	27

ตารางที่ ข4(ต่อ) ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต(หินปูน)ที่Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ: Hot Bin1:2:3:4))เท่ากับ0.75:45:20:18 : 17

Mix Proportion (ยางรถยนต์หมดสภาพ : Hot Bin 1:2:3:4)) เท่ากับ 0.75 : 45 :20 : 18 : 17							Pen.Grade AC 60-70					Sp.Gr.AC			1.02
Compaction, Number of Blows each End					75		Avg.Sp.Gr.Agg				2.670	Bitumen Absorption			0.27%
%AC by Wt. of Agg.	%AC by Wt. of Mix.	%Eff. AC byWt. of Mix.	Wight gm.			Bulk Vol. ml.	Bulk Density gm/ml.	Volume % Total		VMA	Air Voids	VFB	Stability - Lb		Flows
			In Air	Sat. Sur.Day	In Water			AC	Agg.	%	%		Meas.	Adj.	1/100”
6.0	5.66	5.41	1,261.1	1,262.1	722.7724	539.4	2.340						3,150	2,930	28
			1,260.8	1,261.7	.3 724.0	537.4	2.348						3,160	2,940	26
			1,261.8	1,262.7		538.7	2.344						3,090	2,870	30
						Average	2.344	12.5	82.8	17.2	4.7	76.7	-	2,910	28
6.5	6.10	5.85	1,267.3	1,268.5	726.6	541.9	2.341						3,050	2,840	29
			1,266.7	1,267.7	725.7	542.0	2.339						3,090	2,870	28
			1,267.0	1,268.1	726.3	541.8	2.340						3,070	2,860	30
						Average	2.340	13.5	82.5	17.7	4.2	76.3	-	2,810	29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ข5 ผลการทดสอบการดูดซึมแอสฟัลต์ที่ Mix Proportion 0 : 45 :20 : 18 : 17

Material : หินปูน กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์

description		Unit	Trial1	Trial2
% AC by Mass of Aggregate		%	6.0	6.0
% AC by Mass of Total Mix	(σ)	%	5.66	5.66
Mass of Flask in Water	(A)	gm.	733.9	733.9
Mass of Flask in Air	(B)	gm.	1,304.8	1,304.9
Mass of Flask + Sample in Air	(C)	gm.	2,556.8	2,559.4
Mass of Sample in Air = C-B	(D)	gm.	1,252.0	1,254.5
Mass of Flask + Sample in Water	(E)	gm.	1,477.0	1,478.6
Theoretical Maximum Specific Gravity Gm = D/(A+D-E)	(Gm)		2.460	2.461
Average Theoretical Maximum Specific Gravity	(Gv)		2.461	
Virtual Specific Gravity $Gv = \frac{(100-\sigma)}{\left(\frac{100}{Gm}\right)-(\sigma/Gac)}$			2.689	
	(Gag)		2.670	
Bulk Specific Gravity of Mix Aggregate	(Gac)		1.02	
Specific Gravity of Asphalt Cement	(Aac)			
Asphalt Absorption $Aac = \frac{100 \times (Gv-Gag) \times Gac}{Gv \times Gag}$		%	0.27	

ตารางที่ ข6 ผลการทดสอบการดูดซึมแอสฟัลต์ที่ Mix Proportion 0.25 : 45 :20 : 18 : 17

Material : หินปูน กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์

description		Unit	Trial1	Trial2
% AC by Mass of Aggregate		%	6.0	6.0
% AC by Mass of Total Mix	(σ)	%	5.66	5.66
Mass of Flask in Water	(A)	gm.	733.4	733.4
Mass of Flask in Air	(B)	gm.	1,321.7	1,321.7
Mass of Flask + Sample in Air	(C)	gm.	2,586.3	2,588.4
Mass of Sample in Air = C-B	(D)	gm.	1,264.6	1,266.5
Mass of Flask + Sample in Water	(E)	gm.	1,485.7	1,487.2
Theoretical Maximum Specific Gravity Gm = D/(A+D-E)	(Gm)		2.468	2.470
Average Theoretical Maximum Specific Gravity	(Gv)		2.469	
Virtual Specific Gravity $Gv = \frac{(100-\sigma)}{\left(\frac{100}{Gm}\right)-(\sigma/Gac)}$			2.699	
Bulk Specific Gravity of Mix Aggregate	(Gag)		2.670	
Specific Gravity of Asphalt Cement	(Gac)		1.02	
Asphalt Absorption $Aac = \frac{100\times(Gv-Gag)\times Gac}{Gv\times Gag}$	(Aac)	%	0.41	

ตารางที่ ข7 ผลการทดสอบการดูดซึมแอสฟัลต์ที่ Mix Proportion 0.50 : 45 :20 : 18 : 17

Material : หินปูน กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์

description		Unit	Trial1	Trial2
% AC by Mass of Aggregate		%	6.0	6.0
% AC by Mass of Total Mix	(σ)	%	5.66	5.66
Mass of Flask in Water	(A)	gm.	733.5	733.5
Mass of Flask in Air	(B)	gm.	1,321.7	1,321.7
Mass of Flask + Sample in Air	(C)	gm.	2,584.5	2,585.6
Mass of Sample in Air = C-B	(D)	gm.	1,262.8	1,263.9
Mass of Flask + Sample in Water	(E)	gm.	1,483.5	1,484.5
Theoretical Maximum Specific Gravity Gm = D/(A+D-E)	(Gm)		2.463	2.464
Average Theoretical Maximum Specific Gravity	(Gv)		2.464	
Virtual Specific Gravity $Gv = \frac{(100-\sigma)}{\left(\frac{100}{Gm}\right)-(\sigma/Gac)}$			2.693	
	(Gag)		2.670	
Bulk Specific Gravity of Mix Aggregate	(Gac)		1.02	
Specific Gravity of Asphalt Cement	(Aac)			
Asphalt Absorption $Aac = \frac{100 \times (Gv-Gag) \times Gac}{Gv \times Gag}$		%	0.33	

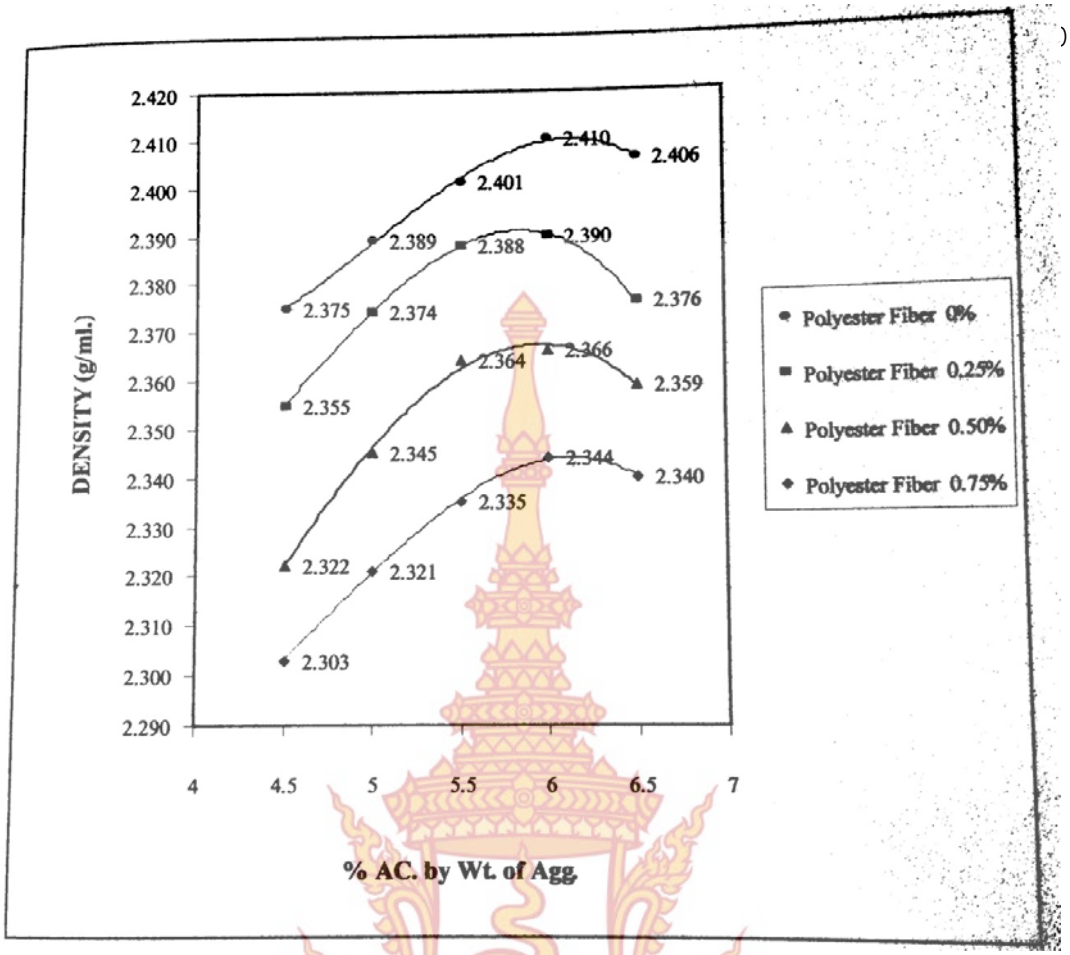
ตารางที่ ข8 ผลการทดสอบการดูดซึมแอสฟัลต์ที่ Mix Proportion 0.75 : 45 :20 : 18 : 17

Material : หินปูน กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์

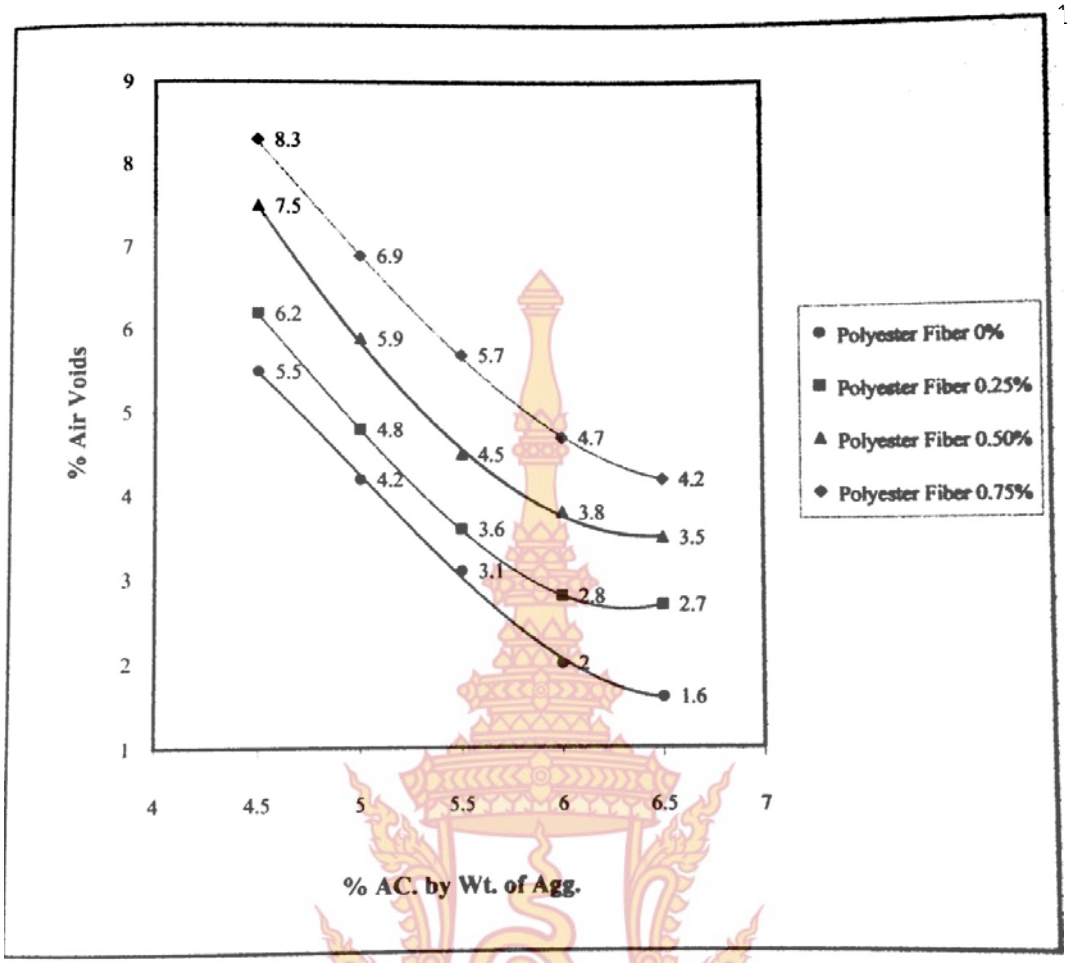
description		Unit	Trial1	Trial2
% AC by Mass of Aggregate		%	6.0	6.0
% AC by Mass of Total Mix	(σ)	%	5.66	5.66
Mass of Flask in Water	(A)	gm.	733.6	733.6
Mass of Flask in Air	(B)	gm.	1,321.7	1,323.2
Mass of Flask + Sample in Air	(C)	gm.	2,582.9	2,584.5
Mass of Sample in Air = C-B	(D)	gm.	1,261.2	1,261.3
Mass of Flask + Sample in Water	(E)	gm.	1,481.2	1,481.1
Theoretical Maximum Specific Gravity Gm = D/(A+D-E)	(Gm)		2.456	2.455
Average Theoretical Maximum Specific Gravity	(Gv)		2.456	
Virtual Specific Gravity $Gv = \frac{(100-\sigma)}{\left(\frac{100}{Gm}\right)-(\sigma/Gac)}$			2.683	
	(Gag)		2.670	
Bulk Specific Gravity of Mix Aggregate	(Gac)		1.02	
Specific Gravity of Asphalt Cement	(Aac)			
Asphalt Absorption $Aac = \frac{100 \times (Gv-Gag) \times Gac}{Gv \times Gag}$		%	0.19	

ภาคผนวก ค

ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์หมดสภาพ กับแอสฟัลต์คอนกรีตไม่เสริมยางรถยนต์หมดสภาพ

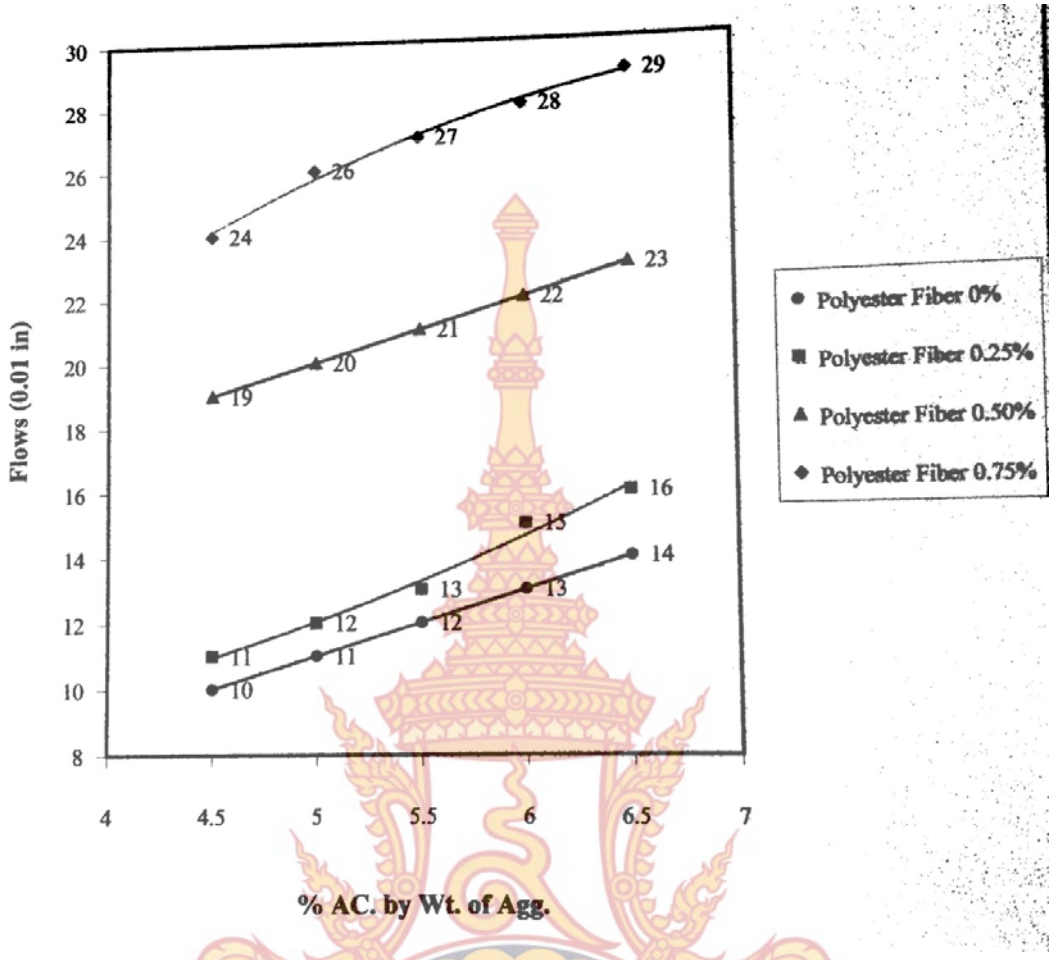


ภาพที่ ค1 แผนภูมิการเปรียบเทียบของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมยางรถยนต์หมดสภาพที่ปริมาณร้อยละต่างๆ



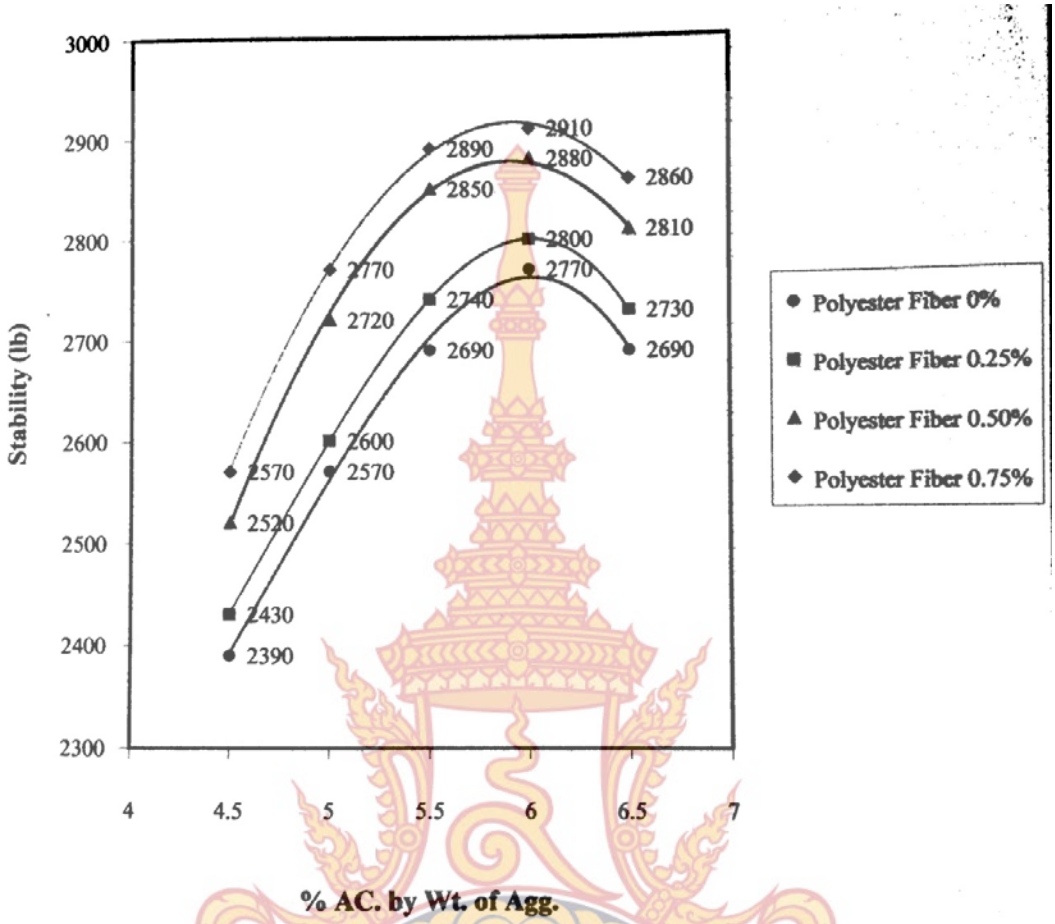
ภาพที่ ค2 แผนภูมิการเปรียบเทียบร้อยละช่องว่างของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมวัสดุยางรถยนต์หมดสภาพที่ปริมาณร้อยละต่างๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

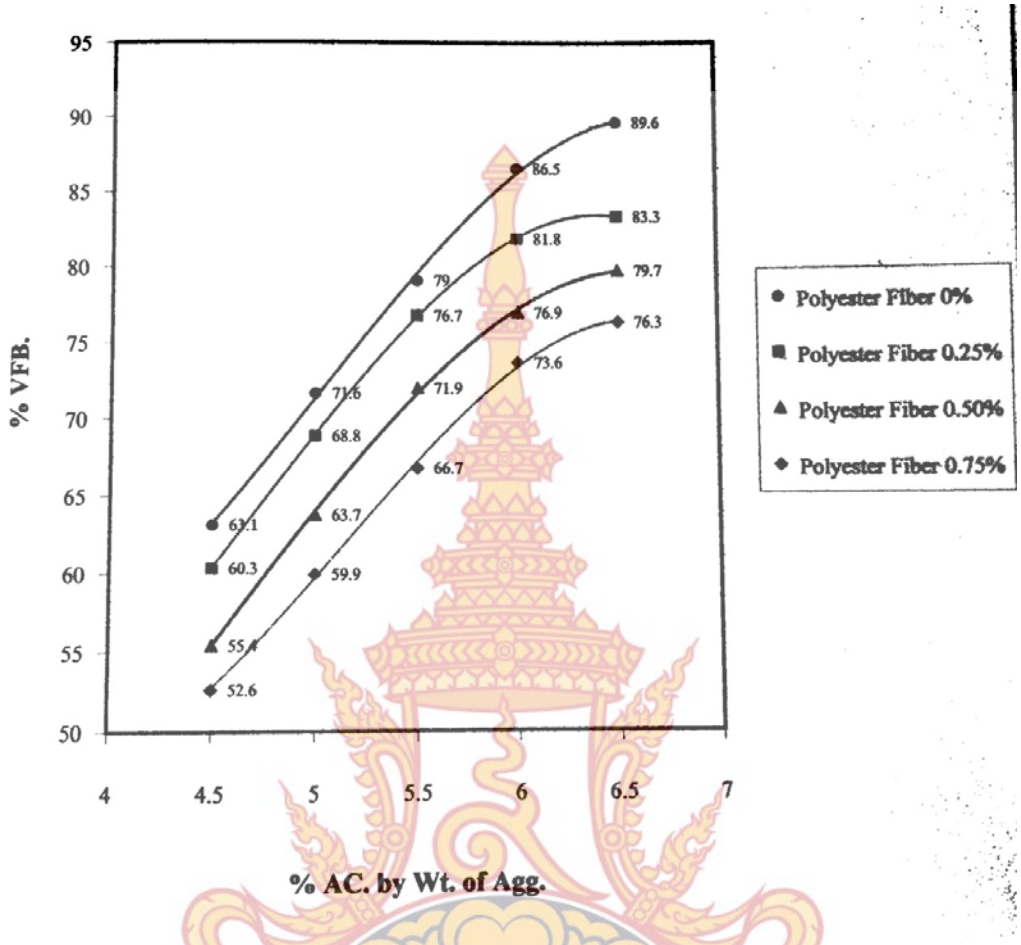


ภาพที่ ค3 แผนภูมิการเปรียบเทียบการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมวัสดุยางรถยนต์หมดสภาพที่ปริมาณร้อยละต่างๆ

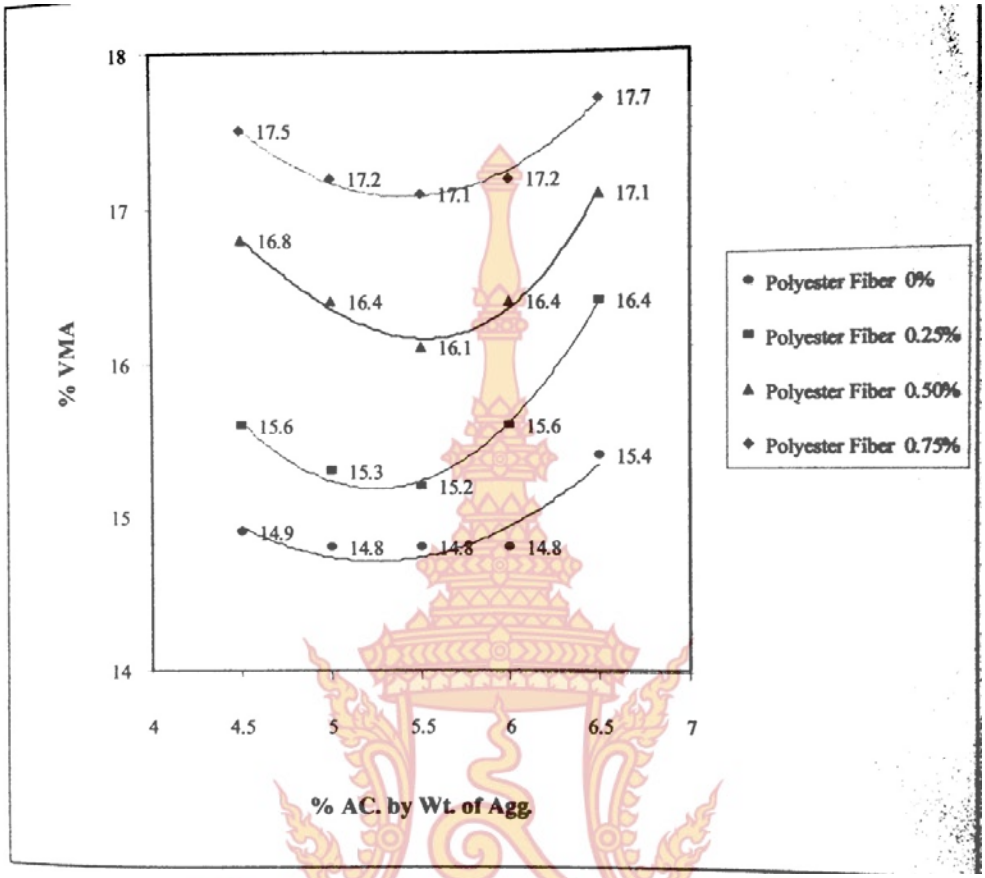
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



ภาพที่ ค4 แผนภูมิการเปรียบเทียบเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินบูนเสริมวัสดุเส้นใยสังเคราะห์ที่ปริมาณร้อยละต่างๆ



ภาพที่ ค5 แผนภูมิการเปรียบเทียบร้อยละช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูนเสริมวัสดุเส้นใยสังเคราะห์ที่ปริมาณร้อยละต่างๆ



ภาพที่ ค6 แผนภูมิการเปรียบเทียบร้อยละช่องว่างระหว่างมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดหินปูนเสริมวัสดุยางรถยนต์หมดสภาพ ที่ปริมาณร้อยละต่างๆ

ประวัติคณะผู้วิจัยและผู้ร่วมวิจัย

1. หัวหน้าโครงการ/ผู้วิจัยหลัก

1.1 ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวณิชาภา มินาบูลย์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss.Nichapha Minaboon

1.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 7303 00125 59 1

1.3 ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่ง อาจารย์

1.4 หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร สถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ กระทรวงศึกษาธิการ เลขที่ 96 หมู่ที่ 3 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170 โทรศัพท์ 0 2889 4585 โทรสาร 0 2889 2621 Email : nichapha.min@rmutr.ac.th.com

1.5 ประวัติการศึกษา

- ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ประเภทช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม
- ปริญญาตรีบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยี ราชมงคลรัตนโกสินทร์
- ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

1.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- งานสหกิจศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์

1.7 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัย ว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

- ขยะพลาสติกผสมดินบดอัด งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2554 มทร. รัตนโกสินทร์ ดำเนินการเสร็จแล้ว
- ถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แหล่งทุน งบประมาณ ผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555 ดำเนินการเสร็จแล้ว
- การผลิตถ่านชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ในการเกษตรกรรม เพื่อชุมชน ตาม **แนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง แหล่งทุนงบประมาณ โครงการส่งเสริม**

วิจัยในอุดมศึกษา (สกอ.)ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555 ดำเนินการเสร็จแล้ว

2. ผู้ร่วมวิจัย

2.1 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสุธน รุ่งเรือง

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Suthon Rungruang

2.2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3920100172781

2.3 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 6

2.4 หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

- สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 หมู่ 3 ถ. พุทธมณฑลสาย 5ต.ศาลายา อ. พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 02-889-4585-7 โทรสาร 02-8894585-7 E-mail : suthon_ru@hotmail.com

2.5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา (คอบ.)สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา (วศบ.)สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปริญญาโท วิศวกรรมโยธา (วศม.)มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมธนบุรี

2.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

ความเสียหายของจุดต่อระหว่างคอนกรีตและเหล็กออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและออกแบบโครงสร้างเหล็ก

คอนกรีตเทคโนโลยีและการทดสอบวัสดุ

2.7 ประสบการณ์ที่ เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

2.7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

2.7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

2.7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

พฤติกรรมของหูช้างเหล็กที่ยึดติดกับคอนกรีตเสริมเหล็ก , ประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9 , 19-21 พฤษภาคม ,จังหวัดเพชรบุรี.,2547

จุดต่อโครงสร้างระหว่างองค์อาคารเหล็กและองค์ประกอบคอนกรีตเสริมเหล็ก , ประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9 , 19-21 พฤษภาคม ,จังหวัดเพชรบุรี.,2547

2.7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

3. ผู้ร่วมวิจัย

3.1 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายอาทร ชูพลสัตย์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr, Arthorn Chuponsat

3.2 เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1201 00655 99 1

3.3 ตำแหน่งปัจจุบันอาจารย์ 5 สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และ2ถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

3.4 หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มทร.รัตนโกสินทร์ เลขที่ 96หมู่ 3 ตำบล ศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัด นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 02-8894585-7 ต่อ 2650

สถานที่อยู่ 37/1 หมู่ 2 ตำบลบางเขน อำเภอ เมือง จังหวัดนนทบุรี 11000 โทรศัพท์ 02-9525046 โทรศัพท์มือถือ 083-1898270

E-mail – arthorn_civil16@rmutr.ac.th

3.5 ประวัติการศึกษา

ปวช.ช่างก่อสร้าง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต นนทบุรี

ปวส.ช่างก่อสร้าง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต นนทบุรี

ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต เทเวศร์

ปริญญาโท วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต

3.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

วิศวกรรมการทาง , วิศวกรรมขนส่ง

3.7ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย : การศึกษาวิธีการสำรวจและการทดสอบวัสดุก่อสร้างทาง (ดินลูกรัง) สำหรับใช้ในงานถนน

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : การศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัดผสมปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนต์และขี้เถ้าแกลบเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ปี 2550

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : การศึกษาวิธีการสำรวจและการทดสอบวัสดุก่อสร้างทาง (ดินลูกรัง) สำหรับใช้ในงานถนน แหล่งทุนงบประมาณ ผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2551

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ขยะพลาสติกผสมดินบดอัด แหล่งทุนงบประมาณ ผลประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555