การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง

โดย

นายสราวุธ ทรงศิวิไล
รองอธิบดีฝ่ายบำรุงทาง
กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

นักศึกษาวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร
หลักสูตรการป้องกันราชอาณาจักร รุ่นที่ 57
ประจำปีการศึกษา พุทธศักราช 2557 - 2558

บทคัดย่อ

เรื่อง การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง

ลักษณะวิชา การเศรษฐกิจ

ผู้วิจัย นายสราวุธ ทรงศิวิไล **หลักสูตร** วปอ. **รุ่นที่** 57

การวิจัยเรื่อง การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในกรมทางหลวง ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70, ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete), ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดกับราคาต่อหน่วย ตลอดจนเสนอแนะแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานทางหลวง โดยมีขอบเขตการวิจัยด้านเนื้อหาครอบคลุมเฉพาะ 4 ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่กล่าวมาข้างต้นเท่านั้น และการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบกับข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการรวบรวมเอกสาร งานวิจัย บทความ วารสาร และ บันทึกข้อความจากกรมทางหลวงเกี่ยวข้องกับต้นทุนการผลิตและการก่อสร้าง คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทต่างๆ และการนำไปใช้ประโยชน์ ดำเนินการจัดทำแบบสอบถามและวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาความสอดคล้องของข้อมูลเชิงสถิติ จากผลการวิจัย พบว่า ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) หรือ PMA มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในด้านประโยชน์การใช้งานและในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากถึงแม้ว่าราคาต่อหน่วยค่อนข้างสูงกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดอื่นๆ แต่เมื่อเทียบกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมและประโยชน์การใช้งานถือว่ามีความคุ้มค่ามากที่สุด การเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทใดนั้นนอกจากเหตุผลทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งานและคุณสมบัติทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น การตอบสนองต่อนโยบายภาครัฐ ความต้องการของชุมชน การประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

คำนำ

การพัฒนาประเทศในด้านการส่งเสริมการลงทุนทางด้านการคมนาคมขนส่ง เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาโครงข่ายเศรษฐกิจและการลงทุน การคมนาคมบนทางหลวงมีบทบาทในการเชื่อมโยงสินค้า อุตสาหกรรม และการท่องเที่ยว ส่งผลโดยตรงต่อเศรษฐกิจในภาพรวม ดังนั้น การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง นับว่าเป็นการตรวจสอบความเป็นไปได้ในด้านเศรษฐศาสตร์ของแต่ละโครงการหรือแต่ละกระบวนการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละประเภท ตลอดจนเพื่อหาแนวทางที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุด โดยมองในแง่ของผลทางด้านวิศวกรรมที่สอดคล้องกับผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน ความปลอดภัย การบริการและประโยชน์ใช้สอย รวมถึงความสัมพันธ์ด้านอื่นๆ หรือปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความต้องการของชุมชน ความเป็นประโยชน์ต่อสังคม และนโยบายของภาครัฐ เป็นต้น

(นายสราวุธ ทรงศิวิไล)
นักศึกษาวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร
หลักสูตร วปอ. รุ่นที่ 57
ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	**ก**
คำนำ	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญแผนภาพ	**ช**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย	3
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
คำจำกัดความ	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	**5**
แนวคิด การออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กรมทางหลวง	5
ทฤษฎีเกี่ยวกับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	8
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
กรอบความคิดของการวิจัย	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	**35**
การทบทวนแนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต้นทุน	35
วิธีการดำเนินการวิจัย	36
ประชากร กลุ่มตัวอย่าง	37
ตัวแปร และการวัดตัวแปร	38
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	38
การทดสอบเครื่องมือ	39
การสร้างแบบสอบถามและตัวชี้วัด	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย **45**

ผลการวิเคราะห์รูปแบบการปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 45

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมงานทาง 53

ผลการสร้างมาตรวัดโดยการหาขีดจำกัดชั้น 55

สรุปผล 55

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ **63**

สรุป 63

อภิปรายผล 64

ข้อเสนอแนะ 64

บรรณานุกรม **68**

ภาคผนวก **70**

ประวัติย่อผู้วิจัย **78**

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2-1 คุณลักษณะผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC60/70 ที่กำหนดตรงตามมาตรฐาน มอก.851/2542 9

2-2 แสดงข้อดี – ข้อเสีย ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 9

2-3 แสดงการทดสอบวัสดุมวลรวมเย็น 10

2-4 แสดงการทดสอบวัสดุมวลรวมร้อน 10

2-5 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ 12

2-6 ข้อกำหนดในการออกแบบมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต 13

2-7 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุต่างๆสำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน 14

2-8 เครื่องจักรที่ต้องเพิ่มกำลังผลิตหรือจำนวนสำหรับการก่อสร้าง 15

2-9 แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม และทางด้านสิ่งแวดล้อม WMA 21

2-10 แสดงคุณสมบัติเพิ่มเติมของวัสดุมวลรวม 22

2-11 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณ NRMA ที่ใช้ 26

2-12 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ 27

2-13 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุต่างๆ สำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน 28

2-14 แสดงคุณสมบัติของ NRMA เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ 29

2-15 อุณหภูมิในการเก็บ NRMA การผสมและการบดทับ 30

2-16 เครื่องจักรที่ต้องเพิ่มกำลังผลิตหรือจำนวนสำหรับการก่อสร้าง 30

2-17 แสดงอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บ NRMA 32

3-1 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าวัสดุและค่าดำเนินการ 36

3-2 แสดงค่าตัวชี้วัดและการถ่วงน้ำหนักต่อประเด็นคำถาม 43

4-1 แสดงผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของ AC60/70 46

4-2 แสดงผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของ WMA 47

4-3 แสดงผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของ NRMA 48

4-4 แสดงผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของ PMA 49

4-5 สรุปผลการนำไปใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด 50

4-6 สรุปผลการคำนวณราคาต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด 54

4-7 แสดงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแต่ละชนิด 56

4-8 แสดงคุณสมบัติทางด้านการนำไปใช้งานของผิวทางแต่ละชนิด 57

4-9 แสดงคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์ของผิวทางแต่ละชนิด 58

5-1 แสดงเกณฑ์และคุณลักษณะต่างๆ ที่ใช้เป็นแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 66

สารบัญแผนภาพ

หน้า

แผนภาพที่

2-1 แสดงอุณหภูมิของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่างๆ 17
2-2 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต (ลิตร/ตัน) 18
2-3 แสดงการเปรียบเทียบควันที่เกิดขึ้นจากส่วนผสม HMA กับ WMA 18
2-4 แสดงการปู WMA ในอุโมงค์ (ช่วยลดการเกิดควันและกลิ่นจากส่วนผสม) 19
2-5 แสดงตัวอย่างของ Warm Mix Asphalt Technology 20
2-6 แสดงกราฟแสดงคุณสมบัติที่สำคัญของ NRMA 24
2-7 แสดงการนำผิวทาง NRMA มาใช้ในงานบูรณะ 25
2-8 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม NRMA 28
2-9 แสดงการก่อสร้างผิวทาง NRMA 31
3-1 แสดงการตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา 40
3-2 แสดงขั้นตอนวิธีการทดสอบซ้ำ 40
3-3 แสดงขั้นตอนการสร้างตัวชี้วัดและแบบสอบถาม 42
4-1 แสดงผลทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ในห้องปฏิบัติการ 45
4-2 แสดงสรุปผลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม 56
4-3 แสดงสรุปผลคุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน 57
4-4 แสดงสรุปผลคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์ 58
4-5 แสดงสรุปผลคุณสมบัติผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 59
4-6 แสดงสรุปแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 60
5-1 แสดงผลสรุปคุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด 64
5-2 แสดงสรุปผลการเปรียบเทียบด้านความคุ้มค่าต่อการลงทุน 65

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาประเทศในด้านการส่งเสริมการลงทุนทางด้านการคมนาคมขนส่ง เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาโครงข่ายเศรษฐกิจและการลงทุน การคมนาคมบนทางหลวงมีบทบาทในการเชื่อมโยงสินค้า อุตสาหกรรม และ การท่องเที่ยว ส่งผลโดยตรงต่อเศรษฐกิจในภาพรวม กรมทางหลวงในฐานะผู้รับผิดชอบโดยตรงต่อการพัฒนาทางหลวงในประเทศไทย ได้มีการศึกษาและพัฒนาการออกแบบและรูปแบบการก่อสร้างรวมถึงเทคโนโลยีผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทันสมัยอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด

การใช้งานทางหลวงในปัจจุบัน มีปริมาณจราจรและน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ทางหลวงมีการรับน้ำหนักกระทำซ้ำจากการจราจรมากขึ้นเกินกว่าขอบเขตที่จะสามารถรับได้ อีกทั้งอุณหภูมิอากาศของโลกที่สูงทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงเกิดการอ่อนตัวได้ในระยะเวลาที่เร็วขึ้นทั้งสองสาเหตุนี้ นับเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความเสียหายของทางหลวงที่เร็วมากขึ้นในปัจจุบัน ได้แก่ การเกิดความเสียหายในลักษณะการเกิดเป็นร่องล้อ (Rutting) หรือการเสียรูปถาวร (Permanent Deformation) ซึ่งเป็นปัญหาหลักของถนนลาดยางในประเทศไทย โดยเฉพาะถนนลาดยางในบริเวณที่มีน้ำหนักกระทำมากกว่าปกติ เช่น บริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟหรือช่องทางบังคับให้รถชะลอความเร็วหรือหยุด มักเกิดความเสียหายของผิวทางก่อนอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้ และความเสียหายอีกรูปแบบหนึ่ง คือ แตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue Cracking) ของผิวทาง โดยมีผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่างๆ ที่สามารถใช้งานรองรับน้ำหนักจากการจราจรได้แตกต่างกัน ตามคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่นำมาใช้ ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70 ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) ผิวทางสโตนมาสติกแอสฟัลต์ (SMA) ผิวทางพอรัสแอสฟัลต์คอนกรีต (Porous Asphalt) ผิวทางเพื่อลดการใช้พลังงาน และรักษาสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางประเภทฉาบผิว ได้แก่ สเลอรี่ซีล (Slurry Seal) และพาราสเลอรี่ซิล (Para Slurry Seal) ที่ช่วยเพิ่มความฝืดให้กับผิวทางเดิมที่ใช้งานมานานจนมีความความฝืดลดลงต่ำกว่าข้อกำหนด นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาพัฒนาผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สามารถรองรับน้ำหนัก และต้านทานการแตกร้าวได้สูงขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดร่องล้อและการแตกร้าวของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตดังกล่าว โดยมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt

Concrete) การปรับปรุงคุณภาพด้วยการเสริมเส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber Reinforced Asphalt Concrete) และ การเสริมกำลังแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวัสดุ Geosynthetics รวมถึงการศึกษาการจัดขนาดคละของส่วนผสม และการศึกษาการออกแบบส่วนผสมโดยวิธี Superpave Design ตลอดจนการหมุนเวียนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ใช้งานมานาน มีการเสื่อมสภาพนำกลับมาใช้ใหม่ โดยวิธีการตามมาตรฐาน Asphalt Hot-Mix Recycling เป็นต้น

จากการพัฒนากระบวนการปรับปรุงผิวทางในรูปแบบต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การออกแบบและประโยชน์การนำไปใช้งาน จึงเป็นที่มาของการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละประเภท รวมถึงกระบวนการและวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมทั้งทางด้านวิศวกรรม สังคม และการลงทุน

ดังนั้น การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง จึงต้องอาศัยหลักการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เชิงวิศวกรรมงานทางเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในด้านเศรษฐศาสตร์ของแต่ละโครงการหรือแต่ละกระบวนการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละประเภทที่ใช้งานในกรมทางหลวง ตลอดจนเพื่อหาแนวทางที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุด โดยมองในแง่ของผลทางด้านวิศวกรรมที่สอดคล้องกับผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน ความปลอดภัย การบริการและประโยชน์ใช้สอย รวมถึงความสัมพันธ์ด้านอื่นหรือปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความต้องการของชุมชน ความเป็นประโยชน์ต่อสังคม และนโยบายของรัฐ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง มีวัตถุประสงค์ในการศึกษา ดังนี้

1. เพื่อศึกษาถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในกรมทางหลวง ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70 ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete)
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดกับราคาต่อหน่วย
3. เพื่อเสนอแนะแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานทางหลวง

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการรวบรวมเอกสาร การจัดทำแบบสอบถามและจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต รวมไปถึงการวิเคราะห์งานวิจัยของกรมทางหลวงในด้านการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทต่างๆ โดยแบ่งขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. ขอบเขตด้านข้อมูลเนื้อหา

การศึกษานี้ครอบคลุมเนื้อหาเฉพาะข้อมูลผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่างๆ ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70 ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) เท่านั้น

2. ขอบเขตด้านการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการนำข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบกับข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการรวบรวมเอกสาร งานวิจัย บทความ วารสาร และบันทึกข้อความจากกรมทางหลวงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย วิเคราะห์โดยหาความสอดคล้องของข้อมูลเชิงสถิติ

สมมติฐานการวิจัย

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวง รวมถึงกระบวนการปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีหลากหลายวิธี เพื่อมุ่งเน้นในด้านการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ให้มีความแข็งแรงสูง มีความทนทานต่อการเกิดร่องล้อและการเกิดรอยแตกร้าว มากกว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ (AC60/70) นำมาซึ่งการสรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสีย และแนวทางการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในแต่ละกระบวนการของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่เหมาะสมสำหรับกรมทางหลวง ประเทศไทย เฉพาะกระบวนการและชนิดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตต่าง ๆ ดังนี้

1. ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC60/70

เป็นการผสมกันระหว่าง วัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC60-70) ซึ่งทำหน้าที่ยึดประสานมวลรวมให้ยึดเหนี่ยวกัน โดยการผสมกันอย่างร้อนด้วยอุณหภูมิสูงในเครื่องผสม จากนั้นจึงนำไปปูลาดถนนขณะที่ส่วนผสมยังร้อนอยู่ แล้วบดอัดให้แน่นและเรียบ เป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้โดยทั่วไปในปัจจุบัน เช่น ทางหลวงพิเศษ และทางหลวงแผ่นดิน ฯลฯ

2. ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete : PMA)

เป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Polymer Modified Asphalt Cement) ที่โรงงานผสม (Mixing Plant) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะ และงานบำรุงทาง ที่มีปริมาณการจราจรสูง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด ขนาดรูปตัด ที่ได้แสดงไว้ในแบบ บนชั้นทางใดๆที่ได้เตรียมไว้และผ่านการตรวจสอบแล้ว

3. ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt : WMA)

เป็นเทคโนโลยีหนึ่งซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของสนธิสัญญา KYOTO ซึ่งสมาพันธ์ยุโรปได้ให้ปฏิญาณไว้ว่า จะมีการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ทั้งนี้เทคโนโลยี WMA มีการเริ่มต้นในแถบประเทศยุโรป โดยที่กลุ่มประเทศยุโรปเป็นผู้บุกเบิกเทคโนโลยีนี้ ได้ทำแปลงทดลองและแปลงสาธิตจำนวนมากโดยเฉพาะในประเทศเยอรมนี ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ และ นอร์เวย์ เทคโนโลยี WMA ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมานี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดความหนืดของยางมะตอยเพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลือบหินของยางมะตอยที่อุณหภูมิที่ต่ำลง โดย warm mix asphalt จะสามารถผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน ทั่วไปถึง 20-50 °C

4. แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete : NRMA)

ตามมาตรฐานงานทางของกรมทางหลวง หมายถึง วัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Cement) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะก่อสร้าง และงานบำรุงทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมหรือชั้นรองผิวทางหรือชั้นพื้นทางที่ได้เตรียมไว้และผ่านการตรวจสอบแล้ว ให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด มีความกว้าง ความยาว และความหนาตามรูปตัดที่ได้แสดงไว้ในแบบก่อสร้าง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาการประเมินผลความคุ้มค่าของการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง มีดังนี้

1. ทราบถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของผิวทางแต่ละชนิดที่ใช้ในกรมทางหลวง รวมถึงแนวทางการนำไปใช้ให้เหมาะสม
2. ทราบผลการเปรียบเทียบทางด้านวิศวกรรมกับความคุ้มค่าด้านการลงทุนของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละประเภทที่ใช้ในกรมทางหลวง
3. ได้ข้อเสนอแนะแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง

คำจำกัดความ

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC60/70	หมายถึง	ผิวทางแบบดั้งเดิมที่มีใช้ใน กรมทางหลวง ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด PMA	หมายถึง	ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด NRMA	หมายถึง	ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพารา
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด WMA	หมายถึง	ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กรมทางหลวง

1. โครงสร้างถนนและการออกแบบ

ถนนในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงจากข้อมูล เมื่อ 30 กันยายน 2555 มีระยะทางจริงประมาณ 50,836.84 กม. หากคิดเป็นระยะทางต่อ 2 ช่องจราจร จะมีระยะทางประมาณ 66,871.62 กม. โดยแบ่งเป็นถนนผิวคอนกรีต ประมาณ 5,497.03 กม. (8.22 %) ถนนผิวทางลาดยาง ประมาณ 61,134.35 กม. (91.42 %) และถนนผิวทางลูกรัง ประมาณ 239.984 กม. (0.36 %) (ข้อมูลจาก Website ของกรมทางหลวง)

โครงสร้างชั้นทางสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทหลัก คือ (1) โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) (2) โครงสร้างชั้นทางแบบแกร่งตัว (Rigid Pavement) และ (3) โครงสร้างชั้นทางแบบผสม (Composite Pavement) (ข้อมูลจากวารสารทางหลวง, วิจัยวิชาการ 2 ฉบับที่ 5 ปี 2555)

1.1 โครงสร้างชั้นทางประเภทแรก คือ โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว ซึ่งเป็นรูปแบบโครงสร้างของถนนลาดยางทั่วไป (Conventional Flexible Pavement) ของกรมทางหลวง โดยมีองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต พื้นทาง รองพื้นทาง ชั้นวัสดุคัดเลือก (ถ้ามี) วัสดุถมคันทาง และ/หรือ ดินเดิม (Subgrade) ทางหลวงมากกว่า 90% เป็นโครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว ซึ่งออกแบบตามวิธีของ Asphalt Institute หรือ AI (1970) โดยกำหนดอายุการออกแบบไว้ที่ 15 ปี โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัวถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นชั้นๆ หน่วยแรงในแนวดิ่งที่เกิดจากน้ำหนักรถจะกระจายสู่ชั้นโครงสร้างทางตามความ ลึก ซึ่งจะมีความเข้มข้นสูงบริเวณที่ใกล้กับผิวจราจร และจะลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้ออกแบบจึงมักใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีที่สุดไว้ใกล้กับผิวจราจร และวัสดุที่มีคุณภาพรองลงมาใช้ในชั้นลึกลงไป (ข้อมูลจากวารสารทางหลวง, วิจัยวิชาการ 2 ฉบับที่ 5 ปี 2555)

1.2 โครงสร้างชั้นทางประเภทที่สอง คือ โครงสร้างชั้นทางแบบแกร่งตัว ซึ่งเป็นรูปแบบโครงสร้างของถนนคอนกรีตในประเทศไทย นิยมก่อสร้างในบริเวณตัวเมืองหรือย่านชุมชน องค์ประกอบพื้นฐานของถนนคอนกรีต ทั่วไปของกรมทางหลวง ประกอบด้วย ผิวทางคอนกรีต Sand Cushion รองพื้นทาง วัสดุถมคันทาง และ/หรือ ดินเดิม (Subgrade) เนื่องจากผิวทางคอนกรีต

ทำหน้าที่หลักในการรับน้ำหนักและถ่ายน้ำหนักลงสู่ ชั้นดินเดิม ดังนั้นจึงทำหน้าที่เป็นชั้นพื้นทางไปในตัว บางครั้งเรียกว่า พื้นทางคอนกรีต ความหนาของชั้นรองพื้นทางจึงไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักของถนนคอนกรีตเท่าไรนัก ถนนคอนกรีตทั่วไปของกรมทางหลวงจะออกแบบตามวิธีของ Portland Cement Association หรือ PCA (1984) โดยกำหนดอายุการออกแบบไว้ที่ 20 ปี ทั้งนี้ถนนคอนกรีตอาจมีอายุยืนยาวถึง 40 ปี ถ้ามีการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี หรืออาจมีอายุการใช้งานสั้นกว่า 20 ปี ก็ได้ หากมีการแบกรับน้ำหนักบรรทุกเกินว่าที่ได้คาดการณ์ไว้ (ข้อมูลจากวารสารทางหลวง, วิจัยวิชาการ 2 ฉบับที่ 5 ปี 2555)

จากฐานข้อมูลประมาณราคาค่าก่อสร้าง ของสำนักงบประมาณ พบว่าถนนคอนกรีตจะมีราคาแพงกว่าถนนลาดยางประมาณ 35.5 %

2. แนวคิดและงานวิจัยด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กรมทางหลวง

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2556) กรมทางหลวง การศึกษาแนวทางการแก้ไขการเกิดร่องล้อของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการใช้ปูนซีเมนต์ และ เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมแทรก พบว่าจากผลการทดสอบ Dynamic Creep Test สำหรับมวลรวมทั้งหินปูนและหินบะซอลต์ ใช้ยาง AC 60/70 เป็นวัสดุเชื่อมประสานนั้น เมื่อผสมปูนซีเมนต์ 1% โดยน้ำหนักมวลรวมแล้วช่วยลดค่า Strain หรือ การเกิดร่องล้อ ลงได้ประมาณ 11.8% และ 15.2% กรณีใช้หินปูนเป็นวัสดุมวลรวมใช้ยาง AC 60/70 เป็นวัสดุเชื่อมประสานนั้นเมื่อผสมปูนซีเมนต์ หรือเถ้าลอย 1% โดยน้ำหนักมวลรวมแล้วจะช่วยลดการเกิดร่องล้อลงได้ โดยจากผลการทดสอบการเกิดร่องล้อด้วนเครื่อง Pavement Rutting Tester พบว่าเมื่อใช้ยาง AC 60/70 เป็นวัสดุเชื่อมประสานนั้น เมื่อผสมปูนซีเมนต์ 1% โดยน้ำหนักมวลรวมแล้วช่วยลดการเกิดร่องล้อ ลงได้ประมาณ 0.18% และ 0.72% เมื่อผสมเถ้าลอย 1% โดยน้ำหนักมวลรวมแล้วช่วยลดการเกิดร่องล้อ ลงได้ประมาณ 0.40%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2556) กรมทางหลวง โครงการวิจัยก่อสร้างแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา โดยทำการก่อสร้างแปลงทดสอบ ในทางหลวงหมายเลข 305 ช่วงกม. 51+750 – กม. 53+750 RT. จากนั้นจะทำการติดตามและประเมินผลหลังการก่อสร้าง พบว่าช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา มีพื้นที่ที่เกิดร่องล้อลึกเกิน 1.00 ซม. คิดเป็น 53.5 % ของพื้นที่ ส่วนช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติ มีพื้นที่ที่เกิดร่องล้อลึกเกิน 1.00 ซม. คิดเป็น 85.5 % ของพื้นที่ จึงกล่าวได้ว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา มีความสามารถต้านทานน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรได้ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา มีค่า Mean Texture Depth (MTD) ลดลงจากตอนที่เริ่มเปิดใช้งาน 0.32 มม. (ลดลง 61.5 %) ในเลนรถบรรทุก (เลนซ้าย) และ 0.16 มม. (ลดลง 26.7 %) ในเลนรถเบา (เลนขวา) ส่วนช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติ มีค่า Mean Texture Depth (MTD) ลดลง

จากตอนที่เริ่มเปิดใช้งาน 0.43 มม. (ลดลง 67.2 %) ในเลนรถบรรทุก (เลนซ้าย) และ 0.30 มม. (ลดลง 50.0 %) ในเลนรถเบา (เลนขวา) แสดงว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา ยังคงมีความลึกของพื้นผิวจราจรมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติ ซึ่งจะช่วยในการขับขี่ของผู้ใช้รถใช้ถนนให้มีความมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

พรหมมา เทพศรีหา (2556) การศึกษาพฤติกรรมของสโตนมาสติกแอสฟัลต์เมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณของวัสดุผสมแทรกระหว่างฝุ่นหินกับปูนซีเมนต์ สรุปได้ว่าการใช้ฝุ่นหิน (Stone Dust) ชนิดหินปูน เป็นวัสดุผสมแทรกในส่วนผสม SMA นั้น นอกจากทำให้ส่วนผสมมีคุณสมบัติใช้ได้ตามข้อกำหนดพิเศษสำหรับผิวทาง SMA แล้ว ยังมีความต้านทานต่อการเกิดร่องล้อ (Rutting) ได้ดีใกล้เคียงกับการผสมปูนซีเมนต์ แต่มีผลที่ดีกว่าในด้านที่มีความต้านทานต่อการเกิดรอยแตกจากความล้า (Fatigue Crack) ได้มากกว่า และทนทานต่อการรับน้ำหนักกระทำแบบซ้ำๆได้มากกว่า แสดงให้เห็นว่า การใช้ฝุ่นหิน (Stone Dust) ชนิดหินปูน เป็นวัสดุผสมแทรกนั้น จะทำให้ผิวทาง SMA มีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้นทั้งเป็นการประหยัดงบประมาณค่าวัสดุ และมีความคุ้มค่ามากว่าการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุผสมแทรก

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2556) กรมทางหลวง การใช้วัสดุใยสังเคราะห์ (Geosynthetics) เสริมกำลังโครงสร้างทางลาดยางเพื่อต้านทานการเกิดร่องล้อ จากผลการทดสอบความแข็งแรงของแปลงทดสอบหลังเปิดการใช้งาน 1 เดือน ด้วยเครื่องทดสอบแบบไม่ทำลาย (FWD) พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าการแอ่นตัวบนแปลงทดสอบโครงสร้างชั้นทางที่เสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของค่าการแอ่นตัวบนแปลงทดสอบโครงสร้างชั้นทางที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างชั้นทางที่เสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์มีความแข็งแรงกว่าโครงสร้างชั้นทางที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2556) กรมทางหลวง โครงการศึกษา Warm Mix Asphalt จากการทำแปลงทดสอบ WMA บนทางหลวงหมายเลข 3056 ตอน สามเรือน-ภาชี อ.อุทัย จ.พระนครศรีอยุธยา และทางหลวงหมายเลข 3477 ตอนแยกทางหลวงหมายเลข 308 (บางปะอิน) – ต่อทางเทศบาลนครพระนครศรีอยุธยา โดยทำการผสมที่อุณหภูมิ 129-148 $^{\circ}$C (ลดจากแอสฟัลต์คอนกรีตปกติประมาณ 20 $^{\circ}$C) และปูและบดทับที่อุณหภูมิ 110-120 $^{\circ}$C พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้มีความแข็งแรงสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ แต่สามารถประหยัดน้ำมันเตาได้ 0.9 ลิตร/ตัน (ลดลง 12 % จากปกติ) เมื่อใช้ Shell S-grade Binder และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้มีความแข็งแรงเทียบเท่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ ลดใช้น้ำมันเตา 4.64 ลิตร/ส่วนผสม 1 ตัน ประหยัด 2.01 ลิตร (=30 %) เมื่อใช้ Advera WMA และ จากการวัดคุณภาพอากาศ ณ บริเวณที่ปล่อยส่วนผสมจากห้องผสมของโรงงานผสมลงสู่รถบรรทุก พบว่า NOx ลดลง 12.3%, CO_2 ลดลง 10.5%, Total VOC ลดลง 71.8% และ Total Dust ลดลง 93.3%

พรหมมา เทพศรีหา (2555) การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความต้านทานต่อความล้า (Fatigue Resistance) ของผิวทาง Porous Asphalt, Stone Mastic Asphalt, Polymer Modified Asphalt Concrete, Warm Mix Asphalt และ Conventional Asphalt Concrete (AC 60-70) ผิวทางชนิดที่มีความต้านทานต่อความล้า หรือ การแตกร้าว เรียงลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดดังนี้ ผิวทางสโตนมาสติก (SMA) ผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (AC 60-70) และผิวทางพอรัสแอสฟัลต์คอนกรีต (PA) เป็นลำดับสุดท้าย

ธันวิน สวัสดิศานต์ และ กฤษณะ จันทรโชติ (2552) โครงการวิจัยทำการการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์เกรด 60/70 เกรด 40/50 และยางโพลิเมอรโมดิฟายดแอสฟัลต์ พบว่า วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์เกรด 40/50 มีคุณสมบัติดีกว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ ยางแอสฟัลต์เกรด 60/70 อย่างชัดเจน และวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีคุณสมบัติดีกว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช ยางแอสฟัลต์เกรด 40/50 ที่อุณหภูมิสูง แต่วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์เกรด 40/50 จะมีคุณสมบัติดีกว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ ใช้ยาง PMA ที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเปรียบเทียบอายุการใช่งานจากการแตกร้าวจากความลาของวัสดุ แอสฟัลต์คอนกรีตในสภาพการใช้งานจริงจะพบว่า เนื่องจากคาโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช่ยางเกรด 40/50 และ PMA ไมแตกตางกันมากนักในชวงอุณหภูมิใช่งานจริง (20 ถึง60 องศาเซลเซียส) ดังนั้นในโครงสรางถนนจริงของผิวทางทั้ง 2 ชนิดนาจะยุบตัวและโกงตัวใกล้เคียงกัน กลาวคือนาจะเกิดความเครียด (Strain) ในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากพิจารณากรณีดังกลาว จึงอาจกลาวได่วาในการใช่งานจริง วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ ยาง PMA จะมีอายุการใช้งานจากการแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue life) มากกว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง 40/50

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2557) กรมทางหลวง การนำวิธีการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยระบบ SUPERPAVE มาประยุกต์ใช้สำหรับประเทศไทย จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมระหว่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบด้วยระบบ Superpave กับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบด้วยวิธี Marshall พบว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบด้วยระบบ Superpave มีแนวโน้มที่จะสามารถรับแรงกระทำแบบซ้ำๆที่เป็นสาเหตุให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue) ค่าโมดูลัสการยุบตัว (Stiffness modulus) และค่าความแข็งแรงของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มากกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบด้วยวิธี Marshall ตามสมมุติฐานที่ได้กำหนดไว้ ภายใต้เงื่อนไขของวัสดุ ภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อมในประเทศไทย

เหม โง้วศิริ (2553) แนวคิดวิธีการทำ Pavement Recycling มาใช้งานก่อสร้างบูรณะปรับปรุงถนนลาดยางเดิม การนำวัสดุชั้นทางเดิมที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก มาทำการปรับปรุงคุณภาพแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ จะช่วยลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน แนว “3R” เป็นปรัชญาหนึ่งที่ใช้การพัฒนา คือ ลด (Reduce) นำมาใช้ใหม่ (reuse) และ นำมาใช้ใหม่ (Recycling)

Randy C. (2010) West RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT MANAGEMENT :BEST PRACTICES แรงจูงใจสำหรับการทำ Asphalt Hot-Mix Recycling มีทั้งทางด้านเศรษฐกิจและผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง และลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการผลิต และการขนส่งวัสดุใหม่ ได้แก่ หินจากโรงโม่ลดความต้องการทรัพยากรที่ไม่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้ใหม่ และลดพื้นที่ฝังกลบผิวทางเดิมที่เกิดจากการขุดรื้อทิ้ง ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจที่เกิดจากการนำวัสดุผิวทางเดิมกลับมาใช้ จะทำให้ประหยัดค่าวัสดุใหม่ ได้แก่หิน และแอสฟัลต์ซีเมนต์ใหม่ รวมถึงลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุเหล่านี้ไปยังสถานที่ก่อสร้างด้วย

ทฤษฎีเกี่ยวกับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

1. ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC60/70

1.1 ลักษณะโดยทั่วไปและการใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60/70

1.1.1 เป็นการผสมกันระหว่าง วัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC60-70) ซึ่งทำหน้าที่ยึดประสานมวลรวมให้ยึดเหนี่ยวกัน

1.1.2 เป็นการผสมกันอย่างร้อนด้วยอุณหภูมิสูงในเครื่องผสม จากนั้นจึงนำไปปูลาดถนนขณะที่ส่วนผสมยังร้อนอยู่ แล้วบดอัดให้แน่นและเรียบ ได้ผิวทางสีดำ

1.1.3 เมื่ออากาศร้อนผิวทางจะเกิดการขยายตัวทำให้อ่อนตัว และหากอากาศเย็นลงผิวทางจะหดตัวทำให้ผิวทางแข็งตัว

1.1.4 สามารถรองรับการจราจรได้สูง เป็นผิวทางที่ใช้ใน ทางหลวงพิเศษ และทางหลวงแผ่นดิน ฯลฯ ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2-1 คุณลักษณะผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC60/70 ที่กำหนดตรงตามมาตรฐาน มอก. 851/2542

แอสฟัลต์ซีเมนต์	หน่วย	วิธีทดลอง	AC 60/70
- เพนิเทรชัน ที่อุณหภูมิ 25°C น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที	0.1 มม.	ASTM D 5	60-70
- จุดอ่อนตัว	°C	ASTM D 36	45-55
- ความยืดดึงที่อุณหภูมิ 25°C, อัตราเร็วของเครื่องดึง 5 ซม./นาที (ไม่น้อยกว่า)	ซม.	ASTM D 113	100
- จุดวาบไฟ (ไม่น้อยกว่า)	°C	ASTM D 92	232
- การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (ไม่น้อยกว่า)	% โดยน้ำหนัก	ASTM D 2042	99

1.2 ข้อดี – ข้อเสีย ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต รายละเอียดดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงข้อดี – ข้อเสีย ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาถูกกว่าผิวทางชนิดอื่นเช่น ผิวทางคอนกรีต, PMA, NRMA เป็นต้น 2. สามารถรองรับปริมาณการจราจรได้ปกติ 3. วัสดุมวลรวมที่ใช้สามารถใช้หินได้หลายชนิด เช่น Limestone , granite , Basalt เป็นต้น 4. สามารถเปิดการจราจรได้ทันทีหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ 5. เมื่อเกิดความเสียหาย สามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย 6. ไม่เกิดเสียงดังรบกวนเมื่อ รถวิ่งผ่าน เมื่อเทียบกับผิวทางคอนกรีต	1. ทรัพยากรธรรมชาติหมดไป และเกิดมลภาวะเนื่องจากการระเบิดหินมาใช้เป็นวัสดุผสม 2. ขั้นตอนการก่อสร้างมี 3 ขั้นตอน หากขั้นตอนใดควบคุมคุณภาพได้ไม่ดีพอ อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อเปิดการจราจร 3. การเลือกวัสดุมวลรวมมาใช้งาน หากไม่ตรงตามข้อกำหนด เช่น ต้องเพิ่มวัสดุอัดแทรก ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม และยากต่อการควบคุมการผลิต 4. ขั้นตอนการปูผิวใช้เครื่องจักรในการทำงานมากทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง เมื่อเทียบกับงานคอนกรีต 5. พบการลื่นไถลได้ง่ายกว่าผิวทางประเภทอื่นๆ

1.3 การออกแบบ และมาตรฐาน

1.3.1 วิธีการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลตามมาตรฐานวิธีการทดลอง ทล.-ท. 604/2517

1.3.2 การออกแบบต้องคำนึงถึงแหล่งวัสดุ และแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่นำมาผสม

1.3.3 การเก็บตัวอย่างวัสดุมวลรวมเย็น วัสดุที่นำมาใช้ต้องทำการตรวจสอบตามตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 แสดงการทดสอบวัสดุมวลรวมเย็น

การทดลอง	มาตรฐานที่ใช้
การทดลองหาขนาดวัสดุเม็ดหยาบ	การทดลองที่ ทล.-ท.204/2516
การทดลองหาขนาดวัสดุเม็ดละเอียด	การทดลองที่ ทล.-ท.205/2517
การทดลองหาดัชนีความแบน (FI)	การทดลองที่ ทล.-ท.210/2518
การทดลองหาดัชนีความยาว (EL)	การทดลองที่ ทล.-ท 211/2518

1.3.4 การเก็บตัวอย่างวัสดุมวลรวมร้อน วัสดุที่นำมาใช้ต้องทำการตรวจสอบตามตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 แสดงการทดสอบวัสดุมวลรวมร้อน

การทดลอง	มาตรฐานที่ใช้
การทดลองหาความสึกหรอวัสดุมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion	การทดลองที่ ทล.-ท 202/2515
การทดลองหาความคงทน (Soundness)	การทดลองที่ ทล.-ท 213/2531
การทดลองหาค่า Sand Equivalent วัสดุมวลรวมละเอียด	การทดลองที่ ทล.-ท 203/2515
การทดลองหาขนาดวัสดุเม็ดหยาบ	การทดลองที่ ทล.-ท.204/2516
การทดลองหาขนาดวัสดุเม็ดละเอียด	การทดลองที่ ทล.-ท.205/2517
การทดลองหาความถ่วงจำเพาะวัสดุเม็ดหยาบ	การทดลองที่ ทล.-ท.207/2517
การทดลองหาความถ่วงจำเพาะวัสดุเม็ดละเอียด	การทดลองที่ ทล.-ท.208/2518
การทดลองหาดัชนีความแบน (FI)	การทดลองที่ ทล.-ท.210/2518
การทดลองหาดัชนีความยาว (EL)	การทดลองที่ ทล.-ท 211/2518
การหาการดูดซึมแอสฟัลต์ซีเมนต์ของมวลรวม	การทดลองที่ ทล.-ท 414/2547

1.3.5 เมื่อทำการทดลองโดยวิธีมาร์แชล ตามการทดลองที่ ทล.-ท 604/2517 ต้องได้คุณสมบัติตามข้อกำหนด ดังนี้

1.3.5.1 ความหนาแน่น (Density)

1.3.5.2 ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม (Void in Mineral Aggregate)

1.3.5.3 ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Void Filled with Bitumen)

1.3.5.4 ช่องว่างอากาศ (Air Void)

1.3.5.5 เสถียรภาพ (Stability)

1.3.5.6 ค่าการไหล (Flow)

1.3.6 การทดลองหาดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ตามการทดลองที่ ทล.-ท 413/2544

2. ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete)

2.1 ลักษณะโดยทั่วไปและการใช้งาน

ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต เป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Polymer Modified Asphalt Cement) ที่โรงงานผสม (Mixing Plant) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด

การใช้งานผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต ใช้สำหรับสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูง โดยใช้เป็นชั้นรองผิวทาง (Binder Course) และผิวทาง (Wearing Course) ในงานก่อสร้างทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับ บนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมหรือชั้นรองผิวทางหรือชั้นพื้นทาง ที่ได้เตรียมไว้และผ่านการตรวจสอบแล้ว ให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด มีความกว้าง ความยาว และความหนา ตามรูปตัด ที่ได้แสดงไว้ในแบบก่อสร้าง และใช้ในงานบำรุงทาง เช่น งานเสริมผิว (Overlay) เพื่อเสริมความแข็งแรงของผิวทางเดิมหรือเพิ่มความฝืดให้กับผิวทางเดิม โดยปูผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายดแอสฟัลต์คอนกรีตบนชั้นผิวทางเดิมที่ไดเตรียมไวเรียบร้อยแลว

2.2 วัสดุที่นำมาใช้

วัสดุที่จะนำมาใช้ทำมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วย มวลรวม และมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์

2.2.1 มวลรวม

มวลรวม ประกอบด้วยมวลหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลละเอียด (Fine Aggregate)อาจเพิ่มวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) ด้วยก็ได้โดยมวลรวมจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ที่ ทล.-ม. 409/2549 “มาตรฐานมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต”

2.2.2 มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์

มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตาม มอก. 2156-2547“มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง”

2.3 การใช้งาน

มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตตามมาตรฐานนี้ใช้สำหรับสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูงในงานทางดังต่อไปนี้

2.3.1 งานบำรุงทาง

งานเสริมผิว (Overlay) เพื่อเสริมความแข็งแรงของผิวทางเดิม หรือเพิ่มความฝืด ความยืดหยุ่น และความคงทนให้กับผิวทางเดิม

2.3.2 งานก่อสร้างและงานบูรณะทาง

2.3.2.1 งานชั้นรองผิวทาง (Binder Course) โดยปูมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตบนชั้นพื้นทางที่ได้เตรียมไว้เรียบร้อยแล้วหรือปูบนผิวทางเดิมที่จะบูรณะก่อสร้างใหม่

2.3.2.2 งานชั้นผิวทาง (Wearing Course) โดยปูมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตบนชั้นรองผิวทาง

2.4 ข้อกำหนดวัสดุและมาตรฐานงานทางที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์จะใช้ตาม มอก. 2156-2547 “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง”

2.4.2 มาตรฐานงานทาง

มาตรฐานงานทางใช้ตามมาตรฐานงานทางที่ ทล.-ม. 409/2549“ มาตรฐานมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต”

2.5 การออกแบบอัตราส่วนผสม

การออกแบบอัตราส่วนผสมมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตใช้วิธีการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล ซึ่งกรมทางหลวงใช้งานมาเป็นเวลานาน โดยมีข้อพิจารณาในการออกแบบคุณสมบัติของวัสดุที่จะใช้ทำตาม ทล.-ม. 409/2549 “มาตรฐานมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต”ขนาดคละ และปริมาณมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้เป็นไปตามตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ชั้นทาง		Wearing Course		Binder Course
ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0
	นิ้ว	3/8	1/2	3/4
ความหนา(มิลลิเมตร)		25 - 35	40 - 70	40 - 80
ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล		
มิลลิเมตร	นิ้ว			
37.5	1 1/2			
25.0	1			100
19.0	3/4		100	90 - 100

12.5	1/2	100	80 - 100	-
9.5	3/8	90 - 100	-	56 - 80
4.75	เบอร์ 4	55 - 85	44 - 74	35 - 65
2.36	เบอร์ 8	32 - 67	28 - 58	23 - 49
1.18	เบอร์ 16	-	-	-
0.600	เบอร์ 30	-	-	-
0.300	เบอร์ 50	7 - 23	5 - 21	5 - 19
0.150	เบอร์ 100	-	-	-
0.075	เบอร์ 200	2 - 10	2 - 10	2 - 8
ปริมาณมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (ร้อยละโดยมวลของมวลรวม)		4.0 - 8.0	3.0 - 7.0	3.0 – 6.5

หมายเหตุ กรมทางหลวงอาจพิจารณาเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลรวม และปริมาณมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้แตกต่างจากตารางที่ 2-5 ก็ได้ ทั้งนี้มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ต้องมีคุณสมบัติ และความแข็งแรงถูกต้องตามตารางที่ 2-6

ข้อกำหนดในการออกแบบมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตให้เป็นไปตามตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ข้อกำหนดในการออกแบบมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต

ชั้นทาง		Wearing Course		Binder Course
ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0
	(นิ้ว)	(3/8)	(1/2)	(3/4)
ความหนามิลลิเมตร		25 – 35	40 - 70	40 - 80
Number of Blows (Each End)		75	75	75
Stability	N	13345	13345	13345
(lb)		(3000)	(3000)	(3000)
Flow 0.25 mm(0.01 in.)		10-18	10-18	10-18
Percent Air Voids		3–5	3-5	3-6
Percent Voids inMineral Aggregate (VMA) Min.		15	14	13
Stability / Flow	Min.			
N / 0.25 mm		934	934	934
(lb / 0.01 in.)		210	210	210
Percent Strength Index Min.		75	75	75

หมายเหตุ

1. การทดลองเพื่อออกแบบส่วนผสมมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 604 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall” โดยใช้อุณหภูมิในการทดลองตามข้อแนะนำการใช้งานผลิตภัณฑ์ (Technical Data Sheet) จากบริษัทผู้ผลิตมอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์

2. การทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 413 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต”

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (Tolerant Limit) ของวัสดุต่างๆ ตามตารางที่ 2-7 เพื่อใช้ควบคุมงานนั้นๆ

ตารางที่ 2-7 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุต่างๆ สำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน

วัสดุ	**ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ เปอร์เซ็นต์**
1. มวลรวม	
1.1 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8) และขนาดใหญ่กว่า	±5
1.2 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16) 0.600 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) และ 0.300 มิลลิเมตร (เบอร์ 50)	±4
1.3 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.150 มิลลิเมตร (เบอร์ 100)	±3
1.4 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200)	±2
2. แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ	
2.1 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ	±0.3

2.6 คุณสมบัติที่ดีของผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต

ผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวทางที่มีความแข็งแรงทนทาน และมีความยืดหยุ่นสูง เหมาะสำหรับใช้เป็นผิวทางในทางหลวงที่มีปริมาณจราจรสูงมาก

2.6.1 ใช้ในงานก่อสร้างและบำรุงทางเป็นวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชั้น Wearing Course โดยให้มีความหนาอยู่ระหว่าง 4 – 5 ซม.

2.6.2 ถนนที่เป็นโครงข่ายทางหลวงสายหลักที่มีปริมาณการจราจรสูง หรือ

2.6.3 ถนนที่มีปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่า 5000 คัน/วัน หรือ

2.6.4 ถนนบริเวณทางลาดชันหรือทางแยกที่รถบรรทุกต้องชะลอความเร็วมีความเร็วต่ำกว่า 20 กม./ชม. หรือหยุดนิ่ง และมีปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่า 2000 คัน/วัน

2.6.5 ถนนบริเวณที่เสียหายเป็นร่องล้อลึก โดยที่ความเสียหายเกิดในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเท่านั้นและไม่มีการแตกร้าว อาจขูดไสผิวทางเดิมที่เสียหายออก แล้วปูผิวทางใหม่ด้วยผิวทางโพลิ เมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต

2.6.6 อาจพิจารณาใช้โพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตได้ตามข้อแนะนำอื่นที่เหมาะสมนอกเหนือจากข้อแนะนำข้างต้นได้ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และลักษณะการบรรทุกแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

2.7 การก่อสร้างผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต

2.7.1 การใช้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่มวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์

ในการก่อสร้างผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์มีความหนืดสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ปกติ จึงต้องใช้น้ำมันเตาหรือวัสดุเชื้อเพลิงอื่นใดเพิ่มขึ้น เพื่อให้ความร้อนแก่มวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ ประมาณ 20 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ สามารถผสมให้แอสฟัลต์เคลือบมวลรวมได้อย่างทั่วถึง ทั้งสามารถขนส่ง ปู และบดทับได้ความแน่น ความเรียบตามมาตรฐาน

2.7.2 เครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้าง

เครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบด้วย โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต รถบรรทุกขนส่งส่วนผสม เครื่องปู รถบดทับ เนื่องจากโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตมีความหนืดสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ปกติ จึงต้องเพิ่มขนาดกำลังผลิต จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 เครื่องจักรที่ต้องเพิ่มกำลังผลิตหรือจำนวนสำหรับการก่อสร้าง

ที่	เครื่องจักร	ขนาด/กำลังผลิต	จำนวน	หมายเหตุ
1	โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต	อย่างต่ำ 80 ตัน/ชม.	1	มากกว่าปกติ 20 ตัน/ชม.
2	รถบดล้อยาง	น้ำหนักไม่น้อยกว่า 10 ตัน	4	มากกว่าปกติ 1 คัน

เครื่องจักรและเครื่องมือทุกชนิดที่นำมาใช้งานต้องมีสภาพใช้งานได้ดี โดยต้องผ่านการตรวจสอบและหรือสอบเทียบและนายช่างผู้ควบคุมงานอนุญาตให้ใช้ได้ ในระหว่างการก่อสร้างผู้รับจ้างต้องบำรุงรักษาเครื่องจักรและเครื่องมือทุกชนิดให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ

2.8 ประโยชน์ของผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต

2.8.1 สามารถต้านทานการเกิดร่องล้อ (Rutting) ได้ดีมาก

2.8.2 มีความต้านทานการเกิดรอยแตกจากความล้า (Fatigue Crack) ได้สูง

2.8.3 มีอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น ทำให้ยืดระยะเวลาการซ่อมบำรุงถนนออกไปได้อีกหลายปี

2.8.4 ทำให้ประหยัดงบประมาณในการซ่อมบำรุงทาง

2.9 ข้อจำกัดปัญหาและอุปสรรค หรือข้อควรระมัดระวัง

2.9.1 ปัญหาและอุปสรรคในการเก็บรักษา

โพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ถังเก็บ ณ โรงผสม ต้องมีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ จึงจะสามารถทำการสูบถ่ายได้ จึงทำให้สิ้นเปลืองค่าพลังงานในการเก็บรักษาด้วย

2.9.2 ปัญหาและอุปสรรคในการผสม ขนส่ง ปู และบดทับ

2.9.2.1 การผสม การปู และบดทับต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ ประมาณ 20 °C เพื่อลดความหนืดลง สามารถผสมเข้ากับมวลรวมได้ดี ปูและบดทับได้ จึงต้องใช้น้ำมันเตาในการเผาให้ความร้อนแก่หินมากขึ้น

2.9.2.2 ต้องใช้โรงงานผสมที่มีกำลังผลิตสูงกว่าปกติอีก 20 ตัน/ชม. เพื่อป้องกันการเกิดรอยต่อที่ไม่เรียบ

2.9.2.3 การบดทับให้ได้ความแน่นต้องเพิ่มรถบดล้อยาง จาก 3 คัน เป็น 4 คัน ตามตารางข้างต้น

2.9.3 ปัญหาและอุปสรรคในด้านงบประมาณ

เนื่องจากโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตมีราคาต้นทุนสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ โดยประมาณ 30 % หากกรมทางหลวงได้รับงบประมาณไม่เพียงพอ ก็จะไม่สามารถใช้ผิวทางชนิดนี้ได้มากขึ้นในกรณีที่มีความจำเป็นสำหรับสายทางที่มีปริมาณจราจรสูงมาก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดความเสียหายเร็วกว่าปกติ

3. ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA)

Warm Mix Asphalt คือ เทคโนโลยีหนึ่งซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของสนธิสัญญา KYOTO ซึ่งสมาพันธ์ยุโรปได้ให้ปฏิญาณไว้ว่า จะมีการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ทั้งนี้เทคโนโลยี WMA มีการเริ่มต้นในแถบประเทศยุโรป โดยที่กลุ่มประเทศยุโรปเป็นผู้บุกเบิกเทคโนโลยีนี้ ได้ทำแปลงทดลองและแปลงสาธิตจำนวนมากโดยเฉพาะในประเทศเยอรมนี ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ และ นอร์เวย์ เทคโนโลยี WMA ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมานี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดความหนืดของยางมะตอยเพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลือบหินของยางมะตอยที่อุณหภูมิที่ต่ำลง

โดย warm mix asphalt จะสามารถผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน ทั่วไปถึง 20-50 ºC ซึ่งผลงานต่าง ๆ เหล่านี้ได้รับการยืนยันจากกรมทางหลวงของสหรัฐอเมริกา

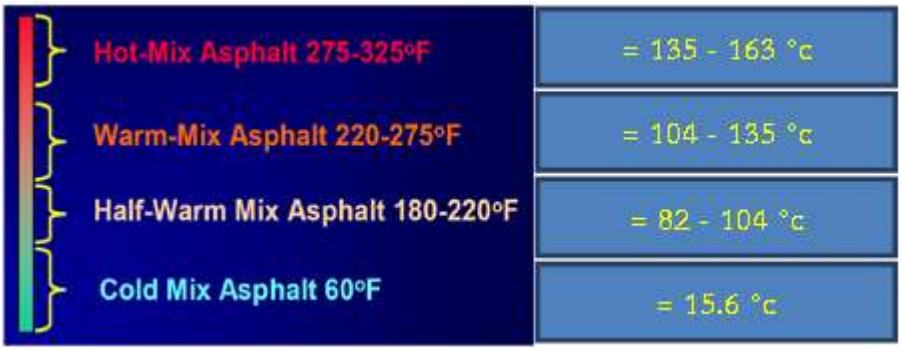
กรมทางหลวง โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้มีการศึกษาคุณสมบัติของ Warm Mix Asphalt (WMA) ทั้งทางด้านวิศวกรรม และด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม คุ้มค่า และไม่เกิดความเสียหายต่องานทาง ผลการทดสอบครั้งนี้พบว่าการใช้เทคโนโลยี WMA ด้วยกระบวนการต่างๆ สามารถลดอุณหภูมิในการผสมและบดทับแอสฟัลต์คอนกรีตโดยไม่ทำให้คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตลดลงจากมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนด จากผลที่ได้ดังกล่าวทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และลดปริมาณควัน ความร้อน และมลพิษทางอากาศ ทั้งยังแสดงคุณสมบัติความต้านทานการลื่นไถล และความต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดีกว่า HMA และจากการตรวจสอบมลพิษทางอากาศโดยมหาวิทยาลัยมหิดล แสดงให้เห็นว่า WMA สามารถลดมลพิษทางอากาศได้ดีกว่า HMA อีกด้วย

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้ดำเนินโครงการทดสอบคุณสมบัติ Warm Mix Asphalt (WMA) และจัดทำแปลงทดสอบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติ ทั้งทางด้านวิศวกรรม และด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงการใช้งานระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน Hot Mix Asphalt (HMA) โดยใช้ยางแอสฟัลต์ เกรด AC 60/70 กับ WMA โดยใช้เทคโนโลยี WMA ชนิดต่างๆ เพื่อส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อม ซึ่งในสภาวะการปัจจุบัน สิ่งแวดล้อมของโลกมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างมาก อันเป็นผลกระทบจากการเกิดสภาวะโลกร้อน สาเหตุส่วนหนึ่งมาจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ได้แก่ CO_2 (คาร์บอนไดออกไซด์) CH_4 (มีเทน) CFC_8 (คลอโรฟลูออโรคาร์บอน) N_2O (ไนตรัสออกไซด์) ไอน้ำ และโอโซน โดยเฉพาะ CO_2 เป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการผลิต หรือกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ซึ่งในกระบวนการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งใช้น้ำมันเตาในการเผาไหม้ให้ความร้อนแก่มวลรวม จะก่อให้เกิดก๊าซ CO_2, NO_x, VOC และฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.1 การศึกษาคุณสมบัติของ Warm Mix Asphalt

คุณสมบัติและลักษณะของ Warm Mix Asphalt (WMA) ได้แก่ การนำ Hot Mix Asphalt ปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่าง เพื่อให้สามารถ ผสม ปู และบดทับ ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไปอย่างน้อย 20 – 30 ˚c และ ต้องมีคุณสมบัติใช้ได้ตามข้อกำหนด (พิเศษ) ของกรมทางหลวง

แผนภาพที่ 2-1 แสดงอุณหภูมิของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่างๆ



3.2 ประโยชน์ของการใช้ WMA

เป็นที่ปรากฏชัดเจนจากประสบการณ์การใช้ WMA ทั้งในกลุ่มประเทศยุโรปและอเมริกาแล้วว่า WMA มีข้อดีหลายประการด้วยกัน และจากข้อมูลการทดลองในห้องปฏิบัติการรวมถึงผลที่ได้จากแปลงทดสอบ ทั้งนี้สามารถ สรุปประโยชน์ของการใช้ WMA ได้ 3 ด้านด้วยกัน คือ

3.2.1 คุณสมบัติเชิงกล

3.2.1.1 ปริมาณโพรงอากาศ (void content) หน้างานลดลงประมาณ 1% และยังช่วยให้ทนการหลุดล่อนจากน้ำได้ดีกว่า

3.2.1.2 การผลิตที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ลดการเสื่อมสภาพเนื่องจาก short term aging ยืดอายุการใช้งานทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ คงอยู่ได้นานขึ้น

3.2.1.3 สามารถต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดีเทียบเท่า HMA

3.2.1.4 มีเวลาสำหรับการบดทับมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความร้อนของส่วนผสมที่อุณหภูมิต่ำกว่า จะช้ากว่าการสูญเสียความร้อนที่อุณหภูมิที่สูงกว่า สามารถทำงานได้มากขึ้น เพราะไม่ต้องกังวลเรื่องอุณหภูมิลดลงอันเนื่องมาจากระยะทางขนส่งที่ไกล

3.2.1.5 ช่วยให้บดทับได้ง่ายขึ้น เนื่องจาก Warm Mix Asphalt มีความหนืดลดลงอันเนื่องมาจากการเติมสารผสมเพิ่ม หรือการใช้เทคนิคของ WMA

3.2.1.6 สามารถใช้กับถนนหรือยางประเภทใดก็ได้

3.2.2 ด้านสิ่งแวดล้อม

3.2.2.1 ผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำ (130-145 °C) ลดการใช้พลังงานจาก Fossil (ใช้น้ำมันเตาในการเผาให้ความร้อนแก่มวลรวมน้อยลง)

3.2.2.2 สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซ CO_2, CO, NO_X, SO_2 เป็นต้น ลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และอนุภาคต่างๆ (Particulates) ซึ่ง CO_2 เป็นสาเหตุให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases)

3.2.2.3 ลดควัน และกลิ่นต่างๆที่มาจากส่วนผสม (เพราะใช้อุณหภูมิต่ำลง) เป็นการลดมลพิษทั้งในขั้นตอนการผลิต และการก่อสร้างผิวทาง

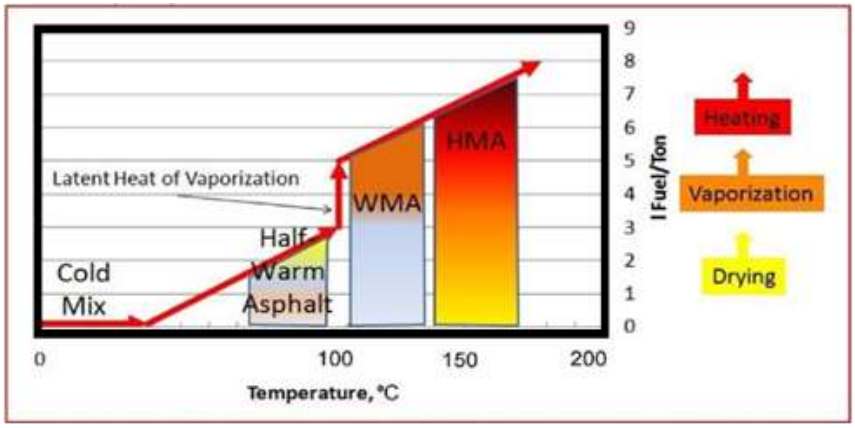
3.2.2.4 ลดการสึกหรอของ Plant เนื่องจากใช้ความร้อนต่ำลง

3.2.2.5 เปิดการจราจรได้เร็วขึ้นเนื่องจากทำการบดทับที่อุณหภูมิต่ำ

3.2.3 การปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ในสนาม

สามารถลดการรับมลพิษของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานและชุมชนรอบข้าง (ลดกลิ่น และควัน) การทำงานที่อุณหภูมิต่ำช่วยให้สภาพการทำงานดีขึ้น ส่งผลให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานมีความปลอดภัยจากการรับสารอันตราย ที่ถูกปล่อยออกมาที่โรงผสม (Mixing Plant) และหน้างาน

แผนภาพที่ 2-2 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต (ลิตร/ตัน)



Warm Mix Asphalt ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตประมาณ 5-6 ลิตร/ตัน ใช้เชื้อเพลิง 6-8 ลิตร/ตัน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของโรงงานผสม ปริมาณความชื้นในวัสดุมวลรวม และเทคโนโลยีที่ใช้ (ข้อมูลจาก Report No. FHWA-PL-08-007 “Warm-Mix Asphalt: European Practice”)

แผนภาพที่ 2-3 แสดงการเปรียบเทียบควันที่เกิดขึ้นจากส่วนผสม Hot Mix Asphalt กับ Warm Mix Asphalt

แผนภาพที่ 2-4 แสดงการปู Warm Mix Asphalt ในอุโมงค์ (ช่วยลดการเกิดควันและกลิ่นจากส่วนผสม)

3.3 เทคนิค หรือกระบวนการของ Warm-Mix Asphalt

เทคนิคหรือกระบวนการหลักๆ ของ Warm Mix Asphalt มี 4 ประเภท ดังนี้

3.3.1 Organic Additives ใช้เพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ได้แก่ การใช้ Sasobit ซึ่งเป็น Wax ชนิดหนึ่ง (ไม่ใช่ Wax ที่พบในแอสฟัลต์ซีเมนต์) มีลักษณะเป็น Fine crystalline long chain aliphatic hydrocarbon ผลิตจาก natural gas หรือ coal โดยใช้กระบวนการ Fisher Tropsch polymerization process โดย Sasobit มีจุดหลอมเหลวที่ 85 -115 ℃

3.3.2 Chemical Additives เป็น Surfactant ที่ใช้เพื่อลดความตึงผิวระหว่างผิวสัมผัสของหิน กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เป็นตัวหล่อลื่น หรือลดความเสียดทานภายใน เป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะเม็ด หรือผง หรือของเหลว ใช้ในอัตรา 0.20-0.75 โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ สามารถลดอุณหภูมิได้ 28-50 ℃ ได้แก่

3.3.2.1 CECABASE® RT

3.3.2.2 EVOTHERM 3G, EVOTHERM ET

3.3.2.3 REVIX

3.3.2.4 ECOMAC

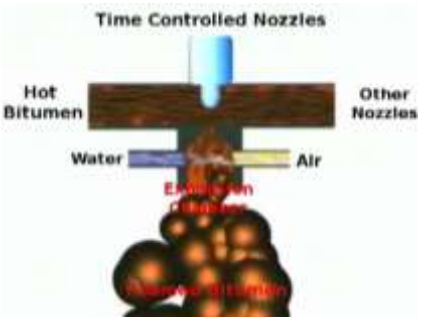
3.3.3 Foaming techniques หรือ Water based Technologies แบ่งเป็นเทคนิคย่อยๆ ดังนี้

3.3.3.1 ใช้น้ำฉีดเข้าไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ร้อน ทำให้เกิดโฟมแอสฟัลต์ (direct foaming technique) ได้แก่ Double Barrel Green

3.3.3.2 ใช้น้ำจากสารเคมีทำให้เกิดโฟม (Indirect Foaming Technique) ได้แก่การใช้ Synthetic Zeolite ซึ่งผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์ทำให้มีน้ำอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล ประมาณร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก

3.3.4 Hybrid Technologies เป็นการผสมผสานตั้งแต่ 2 เทคโนโลยีขึ้นไป เช่น ใช้ Additive และ ใช้ Foaming techniques ซึ่งอาจใช้น้ำจากมวลรวมละเอียด เพื่อทำให้เกิดโฟม ได้แก่ LEA (Low Energy Asphalt) หรือใช้น้ำฉีดโดยตรง ได้แก่ LEB (Low Energy Asphalt Concrete)

แผนภาพที่ 2-5 แสดงตัวอย่างของ Warm Mix Asphalt Technology



Direct Foaming Diagram

Direct Foaming Asphalt

Synthetic Zeolite (Advera WMA)

Chemical Additives (EVOTHERM 3G)

Organic Additives (Sasobit)

Low Energy Asphalt (LEA)

3.4 สรุปผลการศึกษาและแนวทางนำไปประยุกต์ใช้ WMA

3.4.1 ผลการศึกษา WMA

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม และทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้ผลดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม และทางด้านสิ่งแวดล้อม WMA

เทคนิคของ Warm Mix Asphalt	**ผลทางด้านวิศวกรรม**	**ผลทางด้านเศรษฐกิจ**	**ผลทางด้านสิ่งแวดล้อม**
Synthetic Wax *- Sasobit*	- สามารถลดอุณหภูมิได้ตามเป้าหมาย - แอสฟัลต์คอนกรีตมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ช่วยลดการเกิดร่องล้อ	ลดการใช้น้ำมันเตาในการเผาหินประมาณ 20 %	- ลดควัน - ลดก๊าซต่างๆ - ลดฝุ่นละออง - ลดความร้อนต่อผู้ปฏิบัติงาน
Synthetic Zeolite *- Advera WMA*	- สามารถลดอุณหภูมิได้ตามเป้าหมาย - ไม่เพิ่ม หรือลดความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีต	ลดการใช้น้ำมันเตาในการเผาหินประมาณ 30 %	
เทคนิคของ Warm Mix Asphalt	**ผลทางด้านวิศวกรรม**	**ผลทางด้านเศรษฐกิจ**	**ผลทางด้านสิ่งแวดล้อม**
Pre-blended Asphalt *- Shell S-Grade*	- สามารถลดอุณหภูมิได้ตามเป้าหมาย - แอสฟัลต์คอนกรีตมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ช่วยลดการเกิดร่องล้อ	ลดการใช้น้ำมันเตาในการเผาหินประมาณ 12 %	- ลดควัน - ลดก๊าซต่างๆ - ลดฝุ่นละออง - ลดความร้อนต่อผู้ปฏิบัติงาน

3.4.2 แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ WMA

การที่จะกำหนด Warm Mix Asphalt ไว้เป็นมาตรฐานงานผิวทางแอสฟัลต์อีกชนิดหนึ่งเพื่อใช้งานนั้น เนื่องจาก Warm Mix Asphalt ที่ทำการเผาให้ความร้อนแก่มวลรวมที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ 20 – 30 °C จะมีผล ดังนี้

3.4.2.1 ความชื้นยังคงเหลืออยู่ในมวลรวมมากเกินมาตรฐาน อาจก่อให้เกิดปัญหาในการเคลือบของแอสฟัลต์ได้

3.4.2.2 เกิดการหลุดลอกเสียหายได้ง่าย ถึงแม้จะมี Warm Mix Asphalt บางเทคนิคที่ใช้ Anti-stripping ร่วมด้วย

3.4.2.3 นอกจากนี้ Warm Mix Asphalt บางเทคนิคอาจมีปัญหาในการบดทับที่อุณหภูมิต่ำดังกล่าว

3.5 การตรวจสอบควบคุมคุณภาพ Warm Mix Asphalt

ให้มีการทดสอบเพื่อเป็นการยืนยันคุณภาพ ดังนี้

3.5.1 ทดสอบการเคลือบของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ตามวิธีการทดลองที่ AASHTO T 195 “Determining Degree of Particle Coating of Bituminous-Aggregate Mixtures” โดยปริมาณมวลรวมที่แอสฟัลต์เคลือบเต็มพื้นที่ผิวต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 95

3.5.2 ทดสอบความต้านทานความเสียหายจากการกระทำของน้ำ (Moisture Damage) โดยใช้การทดลองทล.-ท. 413 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต” แทน เพราะไม่ต้องใช้กระบวนการ Freeze and Thaw ตาม AASHTO T283

3.5.3 ทดสอบความสามารถบดทับได้ (Compactibility) โดยหาอัตราส่วนของ Air Voids ของ Warm Mix Asphalt ต่อ Air Voids ของ Hot Mix Asphalt ต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 90 – 110

3.5.4 ทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม (Performance Test) เพิ่มเติม เช่น ค่า Fatigue, Dynamic creep, ค่า Modulus

3.5.5 ควรเพิ่มคุณสมบัติของมวลรวมจากมาตรฐานที่ ทล.-ม.408/2532 อีกดังตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 แสดงคุณสมบัติเพิ่มเติมของวัสดุมวลรวม

การทดลอง	มาตรฐานที่ใช้	ข้อกำหนด
การทดลองหาค่าดรรชนีความแบน (Flakiness Index)	การทดลองที่ ทล.-ท. 210	ค่าดรรชนีความแบนต้องไม่เกินร้อยละ 35
การทดลองหาค่าดรรชนีความยาว (Elongation Index)	การทดลองที่ ทล.-ท. 211	ค่าดรรชนีความยาวต้องไม่เกินร้อยละ 35
หาค่าปริมาณการแตกหักของวัสดุมวลรวมเมื่อถูกแรงบด Aggregate Crushing Value (ACV)	การทดลอง BS 812: Part 110	ค่าปริมาณการแตกหักของวัสดุมวลรวมเมื่อถูกแรงบดต้องไม่เกินร้อยละ 25
การทดลองหาค่าปริมาณการแตกหักของวัสดุมวลรวมเมื่อถูกแรงตกกระแทก	ทดลองที่ ทล.-ท. 208	ค่าปริมาณการแตกหักต้องไม่เกินร้อยละ 25
การทดลองหาค่า Sand Equivalent	การทดลองที่ ทล.-ท. 203	ต้องมีค่า Sand Equivalent ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

3.5.6 ควรมีการตรวจสอบ ควบคุมคุณภาพ และตรวจรับสารผสมเพิ่มสำหรับผลิต Warm Mix Asphalt แต่ละประเภทอย่างเข้มงวดด้วย

การที่จะนำ Warm Mix Asphalt ไปใช้งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด คุ้มค่ากับการใช้จ่ายงบประมาณนั้น ผู้ออกแบบสายทางจะต้องกำหนดคุณสมบัติทางด้านความสามารถรองรับน้ำหนัก และปริมาณจราจร และคุณสมบัติพิเศษทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จะส่งผลต่อชุมชนบริเวณที่ตั้งโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต และชุมชนสองข้างทาง ตลอดจนผู้ใช้ทาง

3.6 ผลสำเร็จและจุดเด่นของผิวทาง WMA

ผลสำเร็จจากการศึกษา Warm Mix Asphalt ทำให้ทราบถึงชนิดของเทคนิค ชนิดของสารผสมเพิ่มสำหรับการทำ Warm Mix Asphalt ทราบถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรม และผลดีในด้านสิ่งแวดล้อม ทราบถึงข้อเสียของ Warm Mix Asphalt แต่ละอย่างที่นำมาศึกษา สามารถนำผลการศึกษามาเป็นข้อมูลประกอบในการจัดทำร่างมาตรฐานผิวทาง Warm Mix Asphalt เพื่อการใช้งานได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และที่สำคัญ เป็นการนำนวัตกรรมด้านการรักษาสิ่งแวดล้อมมาใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์ของประเทศไทย

4. ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete)

4.1 ลักษณะโดยทั่วไปและการใช้งาน

แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) ตามมาตรฐานงานทางของกรมทางหลวง หมายถึง วัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่าง มวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Cement) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะก่อสร้าง และงานบำรุงทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับ บนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมหรือชั้นรองผิวทางหรือชั้นพื้นทาง ที่ได้เตรียมไว้และผ่านการตรวจสอบแล้ว ให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด มีความกว้าง ความยาว และความหนา ตามรูปตัด ที่ได้แสดงไว้ในแบบก่อสร้าง

4.2 วัสดุที่นำมาใช้

วัสดุที่จะนำมาใช้ทำแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ประกอบด้วย มวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

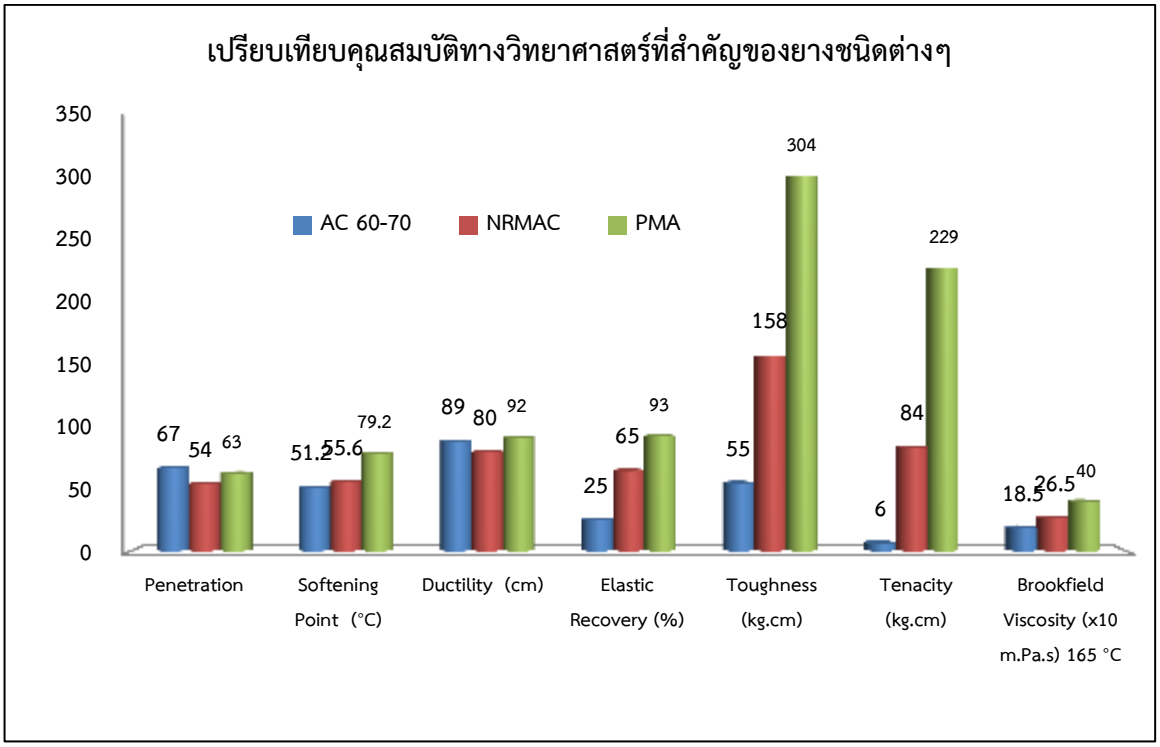
4.2.1 มวลรวม

มวลรวม ประกอบด้วยมวลหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลละเอียด (Fine Aggregate) อาจเพิ่มวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) ด้วยก็ได้ โดยมวลรวมจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ที่ ทล.-ม. 416/2556 “แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ”

4.2.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ให้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตาม ทล.-ก. 409/2556 “ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ”

แผนภาพที่ 2-6 แสดงกราฟแสดงคุณสมบัติที่สำคัญของแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ



4.3 การใช้งาน

แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติตามมาตรฐานนี้ ใช้ในงานทางดังต่อไปนี้

4.3.1 งานบำรุงทาง

งานเสริมผิว (Overlay) เพื่อเสริมความแข็งแรงของผิวทางเดิม หรือเพิ่มความฝืด ความยืดหยุ่น และความคงทนให้กับผิวทางเดิม

4.3.2 งานก่อสร้างทางและงานบูรณะก่อสร้างทาง

4.3.2.1 แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติตามมาตรฐานของกรมทางหลวงสามารถนำมาใช้เป็นชั้นทางดังนี้

1) งานชั้นพื้นทาง (Base Course) โดยปูแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ บนชั้นรองพื้นทางที่ได้เตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว

2) งานชั้นรองผิวทาง (Binder Course) โดยปูแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ บนชั้นพื้นทางที่ได้เตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว หรือปูบนผิวทางเดิมที่จะบูรณะก่อสร้างใหม่

3) งานชั้นผิวทาง (Wearing Course) โดยปูแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ บนชั้นรองผิวทาง ชั้นพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว

แผนภาพที่ 2-7 แสดงการนำผิวทาง NRMA มาใช้ในงานบูรณะ

สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)

สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)

4.4 ข้อกำหนดวัสดุและมาตรฐานงานทางที่เกี่ยวข้อง

4.4.1 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดวัสดุที่เกี่ยวข้อง คือ ข้อกำหนดวัสดุ ทล.-ก. 409/2556 “แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ”

4.4.2 มาตรฐานงานทาง

มาตรฐานงานทางที่เกี่ยวข้อง คือ มาตรฐานงานทางที่ ทล.-ม. 416/2556 “แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ”

4.5 การออกแบบอัตราส่วนผสม

การออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ใช้วิธีการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล ซึ่งกรมทางหลวงใช้งานมาเป็นเวลานาน โดยมีข้อพิจารณาในการออกแบบดังนี้

คุณสมบัติของวัสดุที่จะใช้ทำแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ขนาดคละ และปริมาณ แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติ ให้เป็นไปตามตารางที่ 2-11

ตารางที่ 2-11 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติที่ใช้

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

หมายเหตุ กรมทางหลวงอาจพิจารณาเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลรวม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติที่ใช้แตกต่างจากตารางที่ 2-11 ก็ได้ ทั้งนี้ แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติที่ได้ต้องมีคุณสมบัติ และความแข็งแรงถูกต้องตามตารางที่ 2-12

ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ให้เป็นไปตามตารางที่ 2-12

ตารางที่ 2-12 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

ชั้นทาง		Wearing Course		Binder Course	Base Course
ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
	(นิ้ว)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)
ความหนา มิลลิเมตร		25 – 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
Number of Blows (Each End)		75	75	75	75
Stability	N	9786	9786	9786	9786
	(lb)	(2200)	(2200)	(2200)	(2200)
Flow 0.25 mm (0.01 in.)		9 -17	9 -17	9 -17	9 -17
Percent Air Voids		3 – 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.		15	14	13	12
Stability / Flow Min.					
N / 0.25 mm		750	750	750	750
(lb / 0.01 in.)		170	170	170	170
Percent Strength Index Min.		75	75	75	75

หมายเหตุ

1. การทดลองเพื่อออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 604 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall” โดยใช้อุณหภูมิในการทดลองตามข้อแนะนำการใช้งานผลิตภัณฑ์ (Technical Data Sheet) จากบริษัทผู้ผลิตแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

2. การทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 413 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต”

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (Tolerant Limit) ของวัสดุต่างๆ ตามตารางที่ 2-13 เพื่อใช้ควบคุมงานนั้นๆ

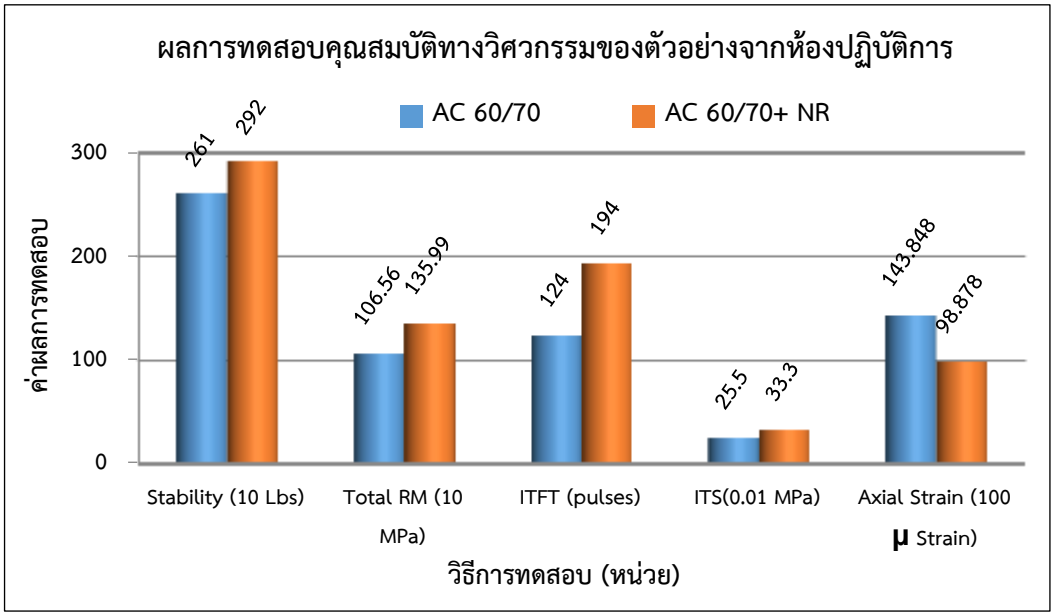
ตารางที่ 2-13 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุต่างๆ สำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน

วัสดุ	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ เปอร์เซ็นต์
1. มวลรวม	
1.1 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8) และขนาดใหญ่กว่า	±5
1.2 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16) 0.600 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) และ 0.300 มิลลิเมตร (เบอร์ 50)	±4
1.3 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.150 มิลลิเมตร (เบอร์ 100)	±3
1.4 มวลรวมผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200)	±2
2. แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ	
2.1 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ	±0.3

4.6 คุณสมบัติที่ดีของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมโดยส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

แผนภาพที่ 2-8 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม NRMA



ตารางที่ 2-14 แสดงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ

ทดสอบโดย	**Indirect Tensile Fatigue**	**Dynamic Creep**	**Stability**	**Resilient Modulus**	**Indirect Tensile Strength**
Nrachai Tuntiworawit, Direk Lavansiri และ Chayatan Phromsorn *	+ 40.5 %	- 65.1 %	-	-	+ 16.0 %
ส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์	+ 56.5 %	- 31.3 %	+ 11.9 %	+ 27.6 %	+ 30.6 %
ค่าเฉลี่ย	**+ 48.5 %**	**- 48.2 %**	-	-	**+ 23.3 %**

อ้างอิง * "THE MODIFICATION OF ASPHALT WITH NATURAL RUBBER LATEX" , Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 679 - 694, 2005

จะเห็นได้ว่า ค่าความต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Indirect Tensile Fatigue) ของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ มีค่ามากกว่า (+) แอสฟัลต์คอนกรีตปกติ และค่าการเกิดร่องล้อ (Dynamic Creep) น้อยกว่า (-) ประมาณ 48 % อันแสดงให้เห็นว่าอายุการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติจะยาวนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติประมาณ 48 %

4.7 การก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

การใช้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่มวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์ ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ เนื่องจากแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติมีความหนืดสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ปกติ จึงต้องใช้น้ำมันเตาหรือวัสดุเชื้อเพลิงอื่นใดเพิ่มขึ้น เพื่อให้ความร้อนแก่มวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ ประมาณ 20 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อลดความหนืดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ สามารถผสมให้แอสฟัลต์เคลือบมวลรวมได้อย่างทั่วถึง ทั้งสามารถขนส่ง ปู และบดทับได้ความแน่น ความเรียบตามมาตรฐาน

ตารางที่ 2-15 อุณหภูมิในการเก็บแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ การผสมและการบดทับแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

วัสดุ/กระบวนการ	องศาเซลเซียส	หมายเหตุ
มวลรวมก่อนการผสม	170 ± 10	สูงกว่า AC 60/70 ประมาณ 20 องศาเซลเซียส
แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติในถังเก็บ	ไม่สูงกว่า 130 *	สูงกว่า AC 60/70 ประมาณ 30 องศาเซลเซียส
แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติเมื่อจะผสมกับมวลรวม	170 ± 5 *	สูงกว่า AC 60/70 ประมาณ 20 องศาเซลเซียส
ส่วนผสมที่ผลิตได้	170 ± 10	
การบดทับขั้นต้น **	ไม่ต่ำกว่า 140 *	

* หรือมีอุณหภูมิตามข้อแนะนำการใช้งานผลิตภัณฑ์ของบริษัทผู้ผลิต หรือตามที่ระบุไว้ในสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน

** การบดทับขั้นกลาง และการบดทับขั้นสุดท้าย ให้ดำเนินการโดยต่อเนื่องทันที

4.8 เครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้าง

เครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ประกอบด้วย โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต รถบรรทุกขนส่งส่วนผสม เครื่องปู รถบดทับ

เนื่องจากแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติมีความหนืดสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ปกติ จึงต้องเพิ่มขนาดกำลังผลิต จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ ดังนี้

ตารางที่ 2-16 เครื่องจักรที่ต้องเพิ่มกำลังผลิตหรือจำนวนสำหรับการก่อสร้าง

ที่	เครื่องจักร	ขนาด/กำลังผลิต	จำนวน	หมายเหตุ
1	โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต	อย่างต่ำ 80 ตัน/ชม.	1	มากกว่าปกติ 20 ตัน/ชม.
2	รถบดล้อยาง	น้ำหนักไม่น้อยกว่า 10 ตัน	4	มากกว่าปกติ 1 คัน

เครื่องจักรและเครื่องมือทุกชนิดที่นำมาใช้งานต้องมีสภาพใช้งานได้ดี โดยต้องผ่านการตรวจสอบและหรือสอบเทียบและนายช่างผู้ควบคุมงานอนุญาตให้ใช้ได้ ในระหว่างการก่อสร้างผู้รับจ้างต้องบำรุงรักษา เครื่องจักรและเครื่องมือทุกชนิดให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ

แผนภาพที่ 2-9 แสดงการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

4.9 ประโยชน์ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

4.9.1 ยืดระยะเวลาการซ่อมบำรุงถนนออกไป 2-3 ปี ทำให้ประหยัดงบประมาณ

4.9.2 เพิ่มอุปสงค์ของยางพาราในประเทศให้สูงขึ้น

4.9.3 รักษาเสถียรภาพของราคายางพาราในประเทศ

4.9.4 ช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยาง ซึ่งมีอยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศอีกทางหนึ่ง

4.9.5 ยางพาราที่ใช้ จะทดแทนเนื้อแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศได้ส่วนหนึ่ง จึงช่วยประหยัดเงินตราในการนำเข้าจากต่างประเทศ

4.10 ข้อจำกัด ปัญหาและอุปสรรค หรือข้อควรระมัดระวัง

4.10.1 ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตแอสฟัลต์ซีเมนต์

4.10.1.1 ปัจจุบันการนำยางพารามาผสมกับแอสฟัลต์ในงานของกรมทางหลวงนั้น จะใช้น้ำยางพาราข้น (Latex) เท่านั้น ส่วนการนำยางพาราแห้ง หรือยางผงมาผสมยังอยู่ระหว่างการศึกษา

4.10.1.2 การใช้ยาง Latex ซึ่งมีเนื้อยาง 60 % มีน้ำอยู่ประมาณ 40 % มาผสมกับยาง AC 60/70 ที่อุณหภูมิ 150-160 °C ซึ่งเกินจุดเดือดของน้ำ จะเกิดการระเบิดของไอน้ำอย่างรุนแรง ซึ่งเป็นอันตรายมาก จึงต้องเติม Latex เข้าไปผสมทีละน้อย ทำให้ต้องใช้เวลานาน และในระหว่างการผสม จะเกิดฟอง (Foam) เป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้สาร Anti-foam ช่วยลด

4.10.2 ปัญหาและอุปสรรคในการเก็บรักษา

แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติที่ผลิตได้แล้วต้องมีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะสามารถทำการสูบถ่ายได้ อุณหภูมิต้องไม่สูงมาก และ

ภายในระยะเวลาที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อมิให้ยางพาราเกิดการเสื่อมสภาพ โดยอุณหภูมิและระยะเวลาจะระบุไว้ใน ทล.-ก.409/2556

ตารางที่ 2-17 แสดงอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ ที่ระบุไว้ตาม ทล.-ก.409/2556

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (ชม.)
130	72
140	48
150	18
160	12
170	4
180	3
200	1

4.10.3 ปัญหาและอุปสรรคในการผสม ขนส่ง ปู และบดทับ

4.10.3.1 การผสม การปู และบดทับ ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ ประมาณ 20 °C เพื่อลดความหนืดลง สามารถผสมเข้ากับมวลรวมได้ดี ปูและบดทับได้ จึงต้องใช้น้ำมันเตาในการเผาให้ความร้อนแก่หินมากขึ้น

4.10.3.2 การบดทับให้ได้ความแน่นต้องเพิ่มรถบดล้อยาง จาก 3 คัน เป็น 4 คัน

4.10.4 ปัญหาและอุปสรรคในด้านงบประมาณ

เนื่องจากแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติมีราคาต้นทุนสูงขึ้น (18-20 %) รัฐบาลจึงควรให้การสนับสนุนงบประมาณที่เพิ่มขึ้น และควรมีนโยบายที่ชัดเจน จึงจะสามารถผลักดันให้มีการใช้งานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติได้ประโยชน์สูงสุด และมีความยั่งยืน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟ้าใหม่ แก้วรัตนปัทมา (2550) ได้ศึกษารูปแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบต้นทุนในการจ้างเหมางานบำรุงปกติของกรมทางหลวง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์ต้นทุนงานบำรุงปกติทางหลวงของหน่วยงานรัฐ ในกรณีที่ตัดสินใจจ้างเหมาเอกชน เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบต้นทุนและปัจจัยที่เกี่ยวข้องเมื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงต้นทุนกับกรณีที่หน่วยงานรัฐ

ยังคงดำเนินการเอง โดยใช้หน่วยงานกรมทางหลวงเป็นต้นแบบของการศึกษา โดยการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่ 1) การศึกษาองค์ประกอบต้นทุนที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนแต่ละประเภทเมื่อมีการโอนถ่ายงานไปให้เอกชน ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว และเพื่อระบุถึงลักษณะของปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนดังกล่าวซึ่งส่งผลต่อความคุ้มค่าในภาพรวม โดยใช้การศึกษาข้อมูลเชิงเอกสาร แล้วนำผลที่ได้มาสอบทานกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญถึงความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ และ 2) การวิเคราะห์ตัวอย่างข้อมูลต้นทุนของหน่วยงานเพื่อศึกษาถึงลักษณะข้อมูลและสมมติฐานที่เกี่ยวข้อง และลักษณะผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ โดยเลือกงานบำรุงปกติ ได้แก่ งานปะซ่อมผิวทาง งานขุดซ่อมผิวทาง และงานตัดหญ้าเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ครั้งนี้ จากการศึกษาในกรณีหน่วยงานรัฐโอนถ่ายงานไปจ้างเอกชนมีต้นทุนที่ต้องคำนึงถึง 3 ส่วนได้แก่ 1) ต้นทุนเดิมของหน่วยงานที่ไม่สามารถปรับลดได้ 2) ต้นทุนค่าจ้างเอกชน และ 3) ต้นทุนที่หน่วยงานใช้ในกระบวนการจัดจ้าง ควบคุม และตรวจสอบงานจ้าง ทั้งนี้ เนื่องจากที่ผ่านมาหน่วยงานรัฐมีทรัพยากรประเภทต่างๆ ไว้เพื่อทำงานอยู่แล้ว ดังนั้นในการปรับลดต้นทุนในส่วนแรกจึงส่งผลอย่างมากต่อความคุ้มค่าในการโอนถ่าย สำหรับการปรับลดต้นทุนทางตรงนั้น ต้นทุนที่ไม่สามารถปรับลดได้ทันที คือ ต้นทุนบุคลากรทางตรง และต้นทุนค่าเครื่องจักร ซึ่งในระยะสั้นถ้าหน่วยงานสามารถนำทรัพยากรที่ว่างลงไปทำประโยชน์ในด้านอื่นย่อมไม่เกิดต้นทุนส่วนเกินขึ้น ในระยะยาว การลดจำนวนบุคลากรอาจทำแบบค่อยเป็นค่อยไปได้ ส่วนการลดจำนวนเครื่องจักรจำเป็นต้องคำนึงถึงการเสียความคล่องตัวในการทำงาน สำหรับต้นทุนทางอ้อม การลดเนื้องานเพียงบางส่วนอาจไม่ส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายของบุคลากรสนับสนุน และค่าใช้จ่ายทางอ้อมอื่นๆ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้อมูล งานทั้ง 3 ประเภทได้รับผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยแต่ละประเภทแตกต่างกันออกไป เนื่องจากงานเหล่านั้นมีสัดส่วนของต้นทุนที่แตกต่างกัน ซึ่งสะท้อนถึงความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดความคุ้มค่าเมื่อโอนถ่ายภารกิจที่แตกต่างกันด้วย

กรอบความคิดของการวิจัย

ในการดำเนินงานด้านการประเมินผลความคุ้มค่าของการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวงนั้น การเลือกใช้ชนิดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อให้มีความเหมาะสมและคุ้มค่ากับงบลงทุนนั้นอาจเป็นไปได้ที่จะมีแนวทางในการปฏิบัติที่หลากหลายและก่อให้เกิดผลตามมาที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วางแผนหรือผู้ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดทิศทางหรือการเลือกชนิดของผิวทางให้มีความเหมาะสม จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาทางเลือกทั้งหมดที่เป็นไปได้ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เหมาะสมที่สุด และกำหนดใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ โดยทั่วไปทางเลือก (Alternatives) คือ แนวทางปฏิบัติและวิธีที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อรองรับสถานการณ์ที่พิจารณา ในสถานการณ์ที่พิจารณานี้อาจมีหลายทางเลือกที่สามารถนำปฏิบัติและบรรลุผลตามที่

ต้องการ แต่จะมีอยู่เพียงทางเลือกเดียวซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับสถานการณ์นั้น ด้วยเหตุนี้เราจึงจำเป็นต้องนิยามข้อกำหนดของการประเมิน (Evaluation criteria) ขึ้นมา เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดระดับความเหมาะสมของแต่ละทางเลือก ทางเลือกใดมีความเหมาะสมมากที่สุด ก็จะถูกเลือกเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับสถานการณ์นั้นๆ ซึ่งโดยทั่วไป ถ้าพิจาณาในมุมมองของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมแล้ว ข้อกำหนดด้านการเงิน (Financial criteria) เช่น ราคาต้นทุนต่อหน่วย มักถูกพิจารณาเป็นตัวชี้วัดหลักของการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการคัดเลือกผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่างๆ ประกอบกับข้อมูลทางด้านวิศวกรรมและการประเมินจากผู้ใช้งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นต้น ดังนั้นกรอบความคิดของการวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนได้แก่

1. การศึกษาองค์ประกอบราคาต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด ดังนี้ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดยาง AC60/70 (แบบดั้งเดิมที่ใช้ในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตของกรมทางหลวง) ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดยาง PMA ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดที่มียางพาราเป็นส่วนผสม (NRMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น (WMA) ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงต้นทุนของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในแต่ละชนิด ทั้งต้นทุนการผลิตและการก่อสร้าง ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น การบำรุงรักษา เป็นต้น และเพื่อระบุถึงลักษณะของปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนดังกล่าว ซึ่งจะส่งผลต่อความคุ้มค่าในภาพรวม โดยใช้การศึกษาข้อมูลเชิงเอกสารการคำนวณต้นทุนของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด แล้วนำผลที่ได้มาสอบทานกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญถึงความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลและลักษณะการใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

3. เปรียบเทียบความคุ้มค่าด้านการลงทุนของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด ทั้งในด้านต้นทุนและประสิทธิผลจากการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม

4. เสนอแนะแนวทางในการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การทบทวนแนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต้นทุน

จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมาซึ่งได้มีการรวบรวมแนวคิดจากงานวิจัยในอดีตและศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของการดำเนินการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดแล้วนั้น จะเห็นได้ว่านอกเหนือจากการพิจารณาข้อมูลต้นทุนต่อหน่วย (Unit Cost) ที่ใช้ในการทำงานแล้ว ในการวางแผนหรือตัดสินใจเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทใดนั้น จะต้องคำนึงถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและการก่อสร้าง ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น การบำรุงรักษา เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพียงพอต่อการตัดสินใจ

จากลักษณะดังกล่าว เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็นการทบทวนแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนว่ามีหลักการพื้นฐานอย่างไร มีประเด็นใดบ้างที่ต้องคำนึงในการวิเคราะห์ การทบทวนสมมติฐานที่เกี่ยวกับประสิทธิผลของการก่อสร้างในอนาคตรวมถึงต้นทุนในการบำรุงรักษาผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด และการนำเสนอแนวคิดและวิธีดำเนินการวิจัยโดยละเอียด

1. หลักเกณฑ์การประเมินราคาทุนต้นต่อหน่วย

การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้สมการค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา + 1.39A + 0.054C + 0.0067R + 0.0017 W + 0.0097HC + 0.049 ADD โดย

A หมายถึง ค่ายางโมดิฟายด์แอสฟัลท์อีมัลชันรวมค่าขนส่งถึงหน้างาน (บาท / ลิตร)

C หมายถึง ค่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์รวมค่าขนส่งถึงหน้างาน (บาท / กก.)

R หมายถึง ค่าหินปากโม่รวมค่าขนส่งถึงหน้างาน (บาท / ลบ.ม.)

W หมายถึง ค่าน้ำรวมค่าขนส่งถึงหน้างาน (บาท / ลบ.ม.)

HC หมายถึง ค่าขนส่งวัสดุผสมเสร็จไปปู (บาท /ตัน)

ADD หมายถึง ค่าสารผสมเพิ่มรวมค่าขนส่งถึงหน้างาน (บาท /ลิตร)

2. ข้อมูลวัสดุและค่าดำเนินการ

รายการข้อมูลและค่าดำเนินการ ใช้หลักการคิดตามกรมทางหลวง และราคาอ้างอิงตามสถานการณ์ปัจจุบัน ตัวอย่างการคำนวณ เช่น

2.1 ราคาน้ำมัน 25.00-25.99 บ./ลิตร

2.2 สมมติระยะทางโครงการ 4 กม.

2.3 ระยะขนส่งยาง CSS-1hและสารผสมเพิ่ม = 70 กม.

2.4 ระยะขนส่งปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 = 50 กม. ,หินฝุ่น = 5 กม. ,น้ำ = 3 กม.

ตารางที่ 3-1 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าวัสดุและค่าดำเนินการ

ที่	รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท)	ระยะขนส่ง (กม.)	ค่าขนส่ง (บาท)	ค่าขนขึ้น-ลง (บาท)	รวม
	ยาง CSS-1h (EMA)	บ./Bulk	38,995.00	70	89.95	25	39,109.95
	ปูนซีเมนต์ประเภท 1	บ./ตัน	2,194.00	50	64.41	50	2,308.41
	หินฝุ่น	บ./ลบ.ม.	338.39	5	11.71		350.10
	หิน 3/8 "	บ./ลบ.ม.	363.39	5	11.71		375.10
	น้ำ	บ/ลบ.ม.	3.00	3	8.55		11.55
	สารผสมเพิ่ม	บ. / ลิตร	200.00	70	89.95		289.95

วิธีการดำเนินการวิจัย

การประเมินผลความคุ้มค่าของการก่อสร้างผิวทางให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง ทำการศึกษาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ อธิบายถึงความสำคัญทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในแต่ละชนิด และรวบรวมข้อมูลการสัมภาษณ์เชิงลึกเกี่ยวกับข้องคิดเห็นด้านการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ในด้านผลดีและผลกระทบต่างๆ มีวิธีการดำเนินการ ดังนี้

1. แนวทางการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) และข้อมูลปฐมภูมิ (primary data)

2. แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

2.1 ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่รวบรวมได้จากเอกสารราชการ ตัวอย่างการคำนวณและวิธีการคำนวณราคาต้นทุน จากหน่วยงานกรมทางหลวง

บทความ ผลงานวิชาการ วารสาร เอกสารประกอบ บันทึกข้อความ คำสั่ง และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง ทั้งในและต่างประเทศ ได้แก่

2.1.1 เอกสารแนวทางการกำหนดราคากลางงานก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กรมทางหลวง

2.1.2 เอกสาร แบบฟอร์มการคำนวณราคาต้นทุนและวิธีการคำนวณราคาต้นทุน ประกอบด้วย ตารางค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา ตารางอัตราการใช้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ใน

การคำนวณราคากลาง ตารางตัวแปรค่าดำเนินการปูลาดและบดทับตามความหนา ตารางค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง

2.1.3 ข้อมูลเชิงวิศวกรรมด้านประสิทธิผล (Performance Test) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดในห้องปฏิบัติการ กรมทางหลวง

2.1.4 เอกสารบันทึกข้อความแนวทางการใช้ผิวทางแอสฟัลต์ กรมทางหลวง

2.2 ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่รวบรวมได้จากการออกแบบสอบถามและสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งจากหน่วยงานภายนอกและกรมทางหลวง รวมทั้งสิ้น 20 ท่าน ประกอบด้วย ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ, ผู้อำนวยการส่วนออกแบบและแนะนำโครงสร้างชั้นทาง, ผู้อำนวยการส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์, ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง, คณาจารย์มหาวิทยาลัย, ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งในหน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานเอกชน เป็นต้น

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

จากกรอบแนวความคิดของงานวิจัยที่กล่าวในข้างต้น การดำเนินการวิจัยครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้ 6 ขั้นตอน ได้แก่

3.1 วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการผลิตและการก่อสร้าง ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เพื่อคำนวณราคาต้นทุนต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

3.2 รวบรวมข้อมูลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทต่างๆ และการนำไปใช้ประโยชน์

3.3 ดำเนินการจัดทำแบบสอบถาม และสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

3.4 รวบรวมผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์

3.5 เปรียบเทียบผลทางด้านวิศวกรรมในด้านประโยชน์ใช้สอยกับราคาต้นทุนต่อหน่วยเพื่อประเมินความคุ้มค่าด้านการลงทุน

3.6 รวบรวมและสรุปข้อเสนอแนะแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานทางหลวง

ประชากร กลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขอบเขตของประชากรและกลุ่มตัวอย่าง กำหนดประชาชนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและใช้เทคนิคการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง โดยอาศัยหลักความน่าจะเป็น (probabilistic sampling) และใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้น เป็นการกำหนดกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

1. ประชากร คือ สมาชิกทั้งหมดที่อยู่ในกรอบที่เกี่ยวข้องกับปัญหาวิจัย การกำหนดขอบเขตของประชากรโดยอาศัยขอบเขตด้านความรู้เฉพาะด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ได้แก่ ผู้ที่ทำงานด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งผู้ผลิตยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ ผู้รับเหมาก่อสร้าง และวิศวกรผู้ควบคุมงานออกแบบและก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

2. กลุ่มตัวอย่าง คือ สมาชิกส่วนหนึ่งของประชากรแลเป็นตัวแทนของประชากร โดยความจำเป็นของการใช้กลุ่มตัวอย่างคือ มีความเป็นไปได้ในการเก็บข้อมูลแม่นยำ มีความประหยัดเวลาแรงงาน งบประมาณ ค่าใช้จ่าย และเพิ่มประสิทธิภาพ การเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sample) เป็นการใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งจากหน่วยงานราชการ กรมทางหลวง และหน่วยงานเอกชน

ดังนั้น ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ในการวิจัยนี้ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งจากหน่วยงานภายนอกและกรมทางหลวง รวมทั้งสิ้น 20 ท่าน ประกอบด้วย ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ, ผู้อำนวยการส่วนออกแบบและแนะนำโครงสร้างชั้นทาง, ผู้อำนวยการส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์, ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง คณาจารย์มหาวิทยาลัย, ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งในหน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานเอกชน เป็นต้น

ตัวแปร และการวัดตัวแปร

1. ตัวแปร

ตัวแปรในการวิจัยการประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง เป็นการกำหนดตัวแปรตามแนวความคิด (Conceptual Variable) ได้แก่ ตัวชี้วัดทางด้านสมรรถนะและความพึงพอใจต่อผู้ใช้ประโยชน์ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ล่ะชนิด ในการวิจัยนี้ได้กำหนดตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการตัดสินในเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม กำหนดตัวแปรได้ ดังนี้

1.1 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม

1.2 คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน

1.3 คุณสมบัติด้านการตอบสนองภาครัฐ

1.4 คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

2. การวัดตัวแปร

การวัดตัวแปร (Variable Measurement) คือ กระบวนการแปรสภาพแนวความคิด (Concept) หรือตัวแปร (Variable) ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรม (Abstract) ให้เป็น

ข้อมูลเชิงปริมาณหรือตัวเลข ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปธรรม (Concrete) สามารถบ่งชี้ระดับค่าของตัวแปรและเปรียบเทียบค่าของตัวแปรได้จากการสร้างตัวชี้วัด ได้แก่ การถ่วงน้ำหนักคำถามแต่ละข้อและการให้คะแนนของแต่ละคำถาม เช่น 4 = พึงพอใจมาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย, 1 = ไม่แน่ใจ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ การสร้างแบบสอบถามและตัวชี้วัด ซึ่งตัวชี้วัดหนึ่งตัวสามารถสร้างเป็นคำถามได้อย่างน้อยหนึ่งคำถามขึ้นกับว่าคำถามนั้นๆมีเนื้อหาครอบคลุมตัวชี้วัดที่ต้องการ และสามารถวัดได้ ตรงกับสิ่งที่เราต้องการวัด ดังนั้น ก่อนการตั้งคำถามจะต้องมีความชัดเจนในตัวชี้วัดว่ามีความหมายแน่ชัดอย่างไร มีตัวอย่างรูปธรรมอะไรที่รองรับตัวชี้วัดดังกล่าวและตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อจะได้มั่นใจว่าคำถามที่ตั้งไว้นั้นมีความเที่ยงตรง (validity) มากที่สุด ดังนั้นตัวชี้วัดในการวิจัยนี้ได้แก่ ความปลอดภัยในการบริการ ประโยชน์ใช้สอย ความต้องการของชุมชน ประโยชน์ต่อสังคม นโยบายของรัฐ ความสะดวกในการทำงานและการนำไปใช้งาน ความต้องการต่อสิ่งแวดล้อม ราคาและการบำรุงรักษา

2. สเกลการวัดตัวแปร

สเกลการวัดตัวแปร เป็นการประยุกต์ใช้กระบวนการวิธีการจัดลำดับทัศนคติในการวิจัยการประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวงนี้ ใช้วิธีกระบวนการ การจัดลำดับทัศนคติ แบบไลเคิร์ท (Likert Scale) ซึ่งเป็นการให้สเกลคำตอบ 5 ระดับคือ 5 (เห็นด้วยอย่างยิ่ง) 4 (เห็นด้วย) 3 (ปานกลาง) 2 (ไม่เห็นด้วย) 1 (ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง) หรือเรียกอีกอย่างว่า Semantic เป็นการสร้างมาตรวัดเพื่อใช้สำหรับวัดค่าตัวแปรที่ต้องการวัด

การทดสอบเครื่องมือ

ในการสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่มีประสิทธิภาพ ที่จะสามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เพื่อตอบปัญหาการวิจัยได้เป็นอย่างดี จำเป็นจะต้องมีขั้นตอนที่เป็นระบบในการสร้างและพัฒนา โดยหลังจากสร้างเครื่องมือเสร็จแล้วจะต้องนำเครื่องมือไปทดลองใช้แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าดัชนีที่บ่งชี้คุณภาพของเครื่องมือนั้น ๆ ว่าเป็นอย่างไร ที่เป็นขั้นตอนของ “การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย”

1. ความเที่ยงตรง

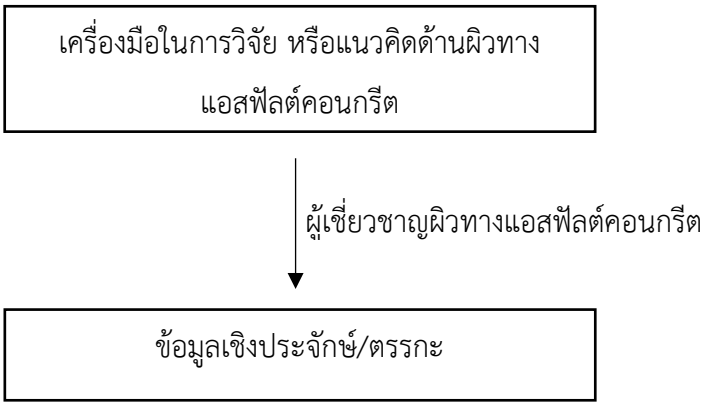
ความเที่ยงตรง (Validity) มีลักษณะที่เรียกว่า “Measure What to Measure” หมายถึง เครื่องมือวัดในสิ่งที่ต้องการวัด ความเที่ยงตรงเป็นคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพในการทำนาย อนาคตของพฤติกรรม หรือเป็นค่าสหสัมพันธ์ของเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับองค์ประกอบที่ต้องการวัด ในที่นี้ได้แก่ ความเที่ยงตรงของข้อมูลจากแบบสอบถาม โดยใช้วิธีตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) เป็นการตรวจสอบสรุปอ้างอิงถึง มวลเนื้อหาสาระความรู้ หรือประสบการณ์ ที่เครื่องมือมุ่งวัดว่ามีความครอบคลุม หรือเป็นตัวแทน มวลความรู้ หรือประสบการณ์ได้เพียงไร สามารถดำเนินการได้ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 จำแนก ตัวแปรให้ครอบคลุมตามแนวคิดหรือวัตถุประสงค์โดยการสร้างตารางวิเคราะห์ประเด็น/หลักสูตร และขั้นตอนที่ 2 พัฒนาเครื่องมือให้มีความครอบคลุมตัวแปรและวัตถุประสงค์ และสามารถตรวจสอบ ได้โดย

1.1 ให้ผู้เชี่ยวชาญในด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ตรวจสอบความเหมาะสมของตัวชี้วัด ขอบเขตของเนื้อหา และการวิเคราะห์ข้อมูล

1.2 ตรวจสอบเนื้อหาหรือข้อมูลผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตว่ามีความสอดคล้องกับเนื้อหาหรือข้อมูลหรือไม่และ

1.3 เปรียบเทียบสัดส่วนของข้อคำถามว่ามีความสอดคล้องกับน้ำหนัก ความสำคัญของแต่ละเนื้อเรื่องที่มุ่งวัดมากน้อยเพียงไร ดังแสดงการตรวจสอบความเที่ยงตรง ตามเนื้อหา

แผนภาพที่ 3-1 การตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา



2. ความเชื่อมั่น

ความเชื่อมั่น (Reliability) เป็นคุณสมบัติของเครื่องมือวัดสิ่งที่ต้องการวัดไม่ว่าจะวัดกี่ครั้ง หรือวัดในสภาพการณ์ที่แตกต่างกันจะได้รับผลการวัดคงเดิม มีความหมายของความเชื่อมั่นใน 3 ลักษณะดังนี้

2.1 ความเชื่อมั่นเป็นความคงที่ ความเชื่อถือได้ และความสามารถที่ทำนายได้

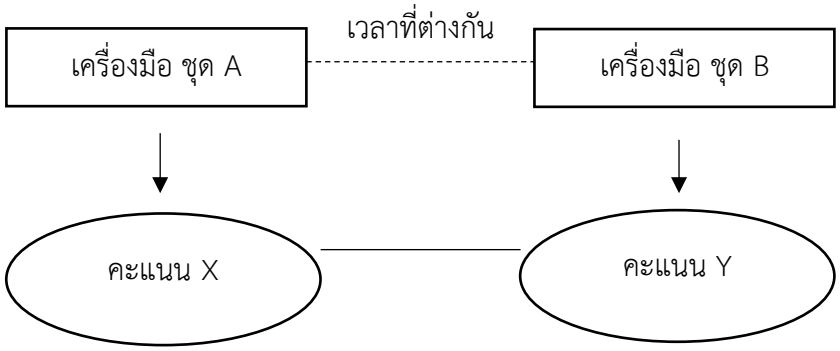
2.2 ความเชื่อมั่นที่เป็นความถูกต้องในการวัดสิ่งที่ต้องการวัดอย่างไม่ผิดพลาด

2.3 ความเชื่อมั่นเป็นคุณสมบัติของการวัดที่ไม่มีความคลาดเคลื่อน ในการวัดให้ผลการวัดที่ถูกต้อง ชัดเจนแน่นอน

ความเชื่อมั่น เป็นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนชุดหนึ่งกับคะแนนอีกชุดหนึ่ง สรุปได้ว่า เครื่องมือในการวิจัยที่ดีจะต้องมีความเชื่อมั่นได้ว่าผลที่ได้จากการวัดจะมี ความคงที่ชัดเจนไม่เปลี่ยนแปลงไปมา ผลการวัดครั้งแรกเป็นอย่างไร เมื่อวัดซ้ำโดยใช้เครื่องมือวัดผลชุดเดิมจะวัดกี่ครั้งก็จะให้ผลการวัดเหมือนเดิม ใกล้เคียงกัน หรือสอดคล้องกัน

วิธีการประมาณค่าความเชื่อมั่น ในการตรวจสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัยจะใช้วิธีการความเชื่อมั่นแบบวัดความคงที่ (Measure of Stability) ที่เป็นวิธีการทดสอบซ้ำ (Test-Retest Method) โดยใช้เครื่องมือชุดเดียวกันไปทดสอบกับผู้ให้ข้อมูลกลุ่มเดียวกัน 2 ครั้ง ที่ใช้ช่วงเวลาที่ต่างกันแล้วนำคะแนนที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) ดังแสดงในแผนภาพที่ 3-2

แผนภาพที่ 3-2 ขั้นตอนวิธีการทดสอบซ้ำ



3. คุณภาพของเครื่องมือในการวิจัย

ในการสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย นอกจากจะนำมาหาความเที่ยงตรง และ ความเชื่อมั่นแล้วในการสร้างและพัฒนาเครื่องมือแล้ว ยังมีคุณภาพของเครื่องมือวิจัยที่ควรพิจารณา ได้แก่ อำนาจจำแนก (Discrimination) หมายถึง คุณภาพของเครื่องมือที่ที่สร้างขึ้นแล้วสามารถจำแนกกลุ่ม/บุคคลแยกออกจากกันเป็นกลุ่มตามลักษณะที่ตนเองเป็นอยู่/เกณฑ์ของความรอบรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คำนวณหาค่าได้ดังสูตรคำนวณดังนี้

$$r = \frac{P_H - P_L}{n}$$

โดยที่ r เป็นค่าอำนาจจำแนกของแบบสอบถาม

P_H = เป็นจำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง

P_L = เป็นจำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

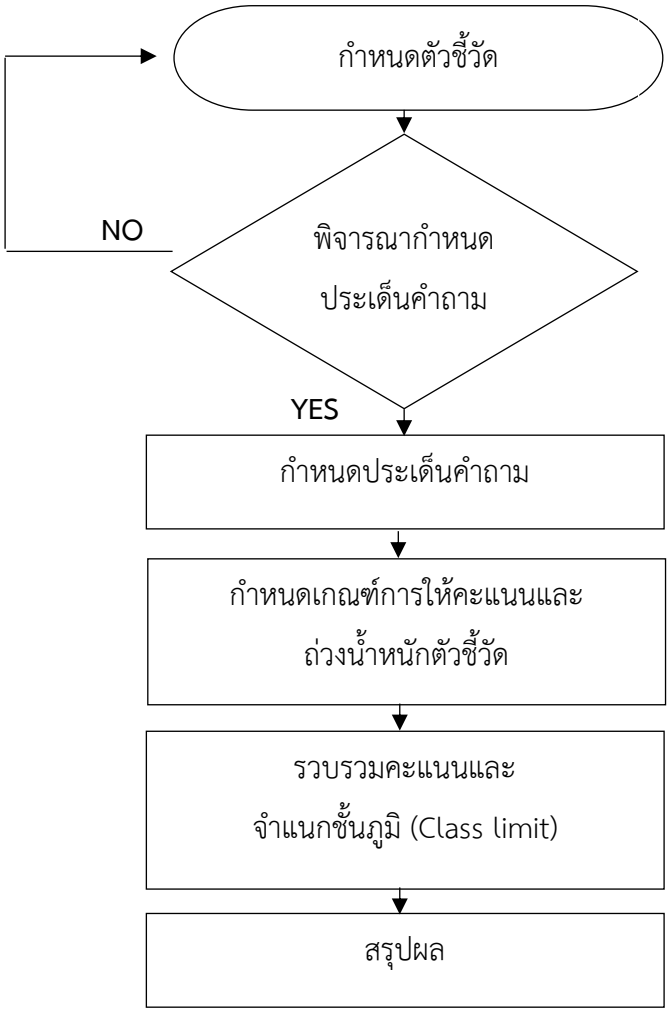
n = เป็นจำนวนผู้ตอบทั้งหมดในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ (มีจำนวนเท่ากัน)

การสร้างแบบสอบถามและตัวชี้วัด

การสร้างแบบสอบถามหรือการออกแบบ แบบสอบถามโดยการนำตัวชี้วัดแต่ละตัวมาพิจารณาเพื่อกำหนดเป็นประเด็นคำถาม กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนแก่คำถามในแต่ละข้อและถ่วงน้ำหนักตัวชี้วัด โดยตัวชี้วัดที่มีความสำคัญมากกว่าก็จะให้คะแนนสูงกว่าตัวชี้วัดที่มีความสำคัญน้อยกว่า โดยความสำคัญทราบได้จากการทบทวนวรรณกรรม การสอบถามผู้เชี่ยวชาญผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต และการเก็บข้อมูลเบื้องต้น จากนั้นนำคะแนนแต่ละข้อมารวมกัน จำแนกเป็นชั้นภูมิและขีดจำกัด (Class Limit) เพื่อสร้างเป็นมาตรวัด แสดงขั้นตอนในแผนภาพที่ 3-3 ดังนี้

1. กำหนดตัวชี้วัด ในการวิจัยนี้ได้กำหนดตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการตัดสินในเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม กำหนดตัวแปรได้ ดังนี้
    1.1 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม
    1.2 คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน
    1.3 คุณสมบัติด้านการตอบสนองภาครัฐ
    1.4 คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์
2. นำตัวชี้วัดแต่ละตัวมาพิจารณาเพื่อกำหนดเป็นประเด็นคำถาม
3. กำหนดประเภทของคำถามที่ใช้พร้อมระบุคำตอบให้เลือก เช่น คำถามแบบประมาณค่า (rating scale) และแสดงความคิดเห็น
4. กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนแก่คำถามในแต่ละข้อ
5. ถ่วงน้ำหนักตัวชี้วัดโดยตัวชี้วัดที่มีความสำคัญมากกว่าก็จะให้คะแนนสูงกว่าตัวชี้วัดที่มีความสำคัญน้อยกว่า ความสำคัญทราบได้จากการทบทวนวรรณกรรม การสอบถามผู้เชี่ยวชาญ การเก็บข้อมูลเบื้องต้น หรือจากประสบการณ์
6. รวบรวมคะแนนที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ
7. นำคะแนนรวมทั้งหมดมาจำแนกเป็นชั้นภูมิ และขีดจำกัดชั้น (class limit) เพื่อสร้างเป็นมาตรวัด

แผนภาพที่ 3-3 แสดงขั้นตอนการสร้างตัวชี้วัดและแบบสอบถาม



- คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม
- คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน
- คุณสมบัติด้านการตอบสนองภาครัฐ
- คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 3-2 แสดงค่าตัวชี้วัดและการถ่วงน้ำหนักต่อประเด็นคำถาม

ตัวชี้วัด	ถ่วงน้ำหนัก (คะแนน)	ประเด็นคำถาม
1. คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม	10	1.1 คุณสมบัติด้านการต้านทานการเกิดร่องล้อ 1.2 คุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้า 1.3 คุณสมบัติด้านการต้านทานการยุบตัวแบบถาวรจากน้ำหนักจราจร 1.4 คุณสมบัติด้านโมดูลัสยืดหยุ่น 1.5 เสถียรภาพและการไหล
2. คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน	10	2.1 ความยาก-ง่ายในการก่อสร้าง 2.2 ประโยชน์ใช้สอย 2.3 ประโยชน์ต่อสังคม 2.4 ความต้องการของชุมชน 2.5 เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
3. คุณสมบัติด้านการตอบสนองภาครัฐ	10	3.1 สามารถตอบสนองต่อนโยบายภาครัฐ
4. คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์	10	4.1 ราคาต่อหน่วย 4.2 ค่าขนส่ง 4.3 กรรมวิธีการผลิต/พลังงาน 4.4 เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง 4.5 งบประมาณการบำรุงรักษา

1. การสร้างแบบสอบถาม

จากหัวข้อที่แล้วเรื่องการสร้างตัวแปรและตัวชี้วัด นำไปสู่การตั้งประเด็นคำถามและการถ่วงน้ำหนัก การให้คะแนนของแต่ละคำตอบ ทำการสร้างแบบสอบถาม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 กำหนดวัตถุประสงค์และคำชี้แจงรายละเอียด ในแบบสอบถาม

1.2 กำหนดแบบสอบถามออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1.2.1 ส่วนที่ 1 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1.2.2 ส่วนที่ 2 แสดงคำถามที่เกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมคุณสมบัติด้านการนำไปใช้งานและคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

1.2.3 ส่วนที่ 3 สอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจ และข้อเสนอแนะต่างๆ

2. การสร้างมาตรวัดโดยการหาขีดจำกัดชั้น (Class Limit)

เมื่อได้คะแนนในแต่ละคำตอบแล้ว นำคะแนนของคำตอบคูณด้วยน้ำหนักของคำถามในข้อนั้นๆ จากนั้นนำคะแนนที่ได้ทั้งหมดมาสร้างมาตรวัดโดยการหาขีดจำกัดชั้น (Class Limit) ดังนี้

2.1 หาคะแนนสูงสุด (X_{max})

2.2 หาคะแนนต่ำสุด (X_{min})

2.3 คำนวณหาพิสัย (Range : R)

$R = X_{max} - X_{min}$

2.4 คำนวณหาอันตรภาคชั้น (Class interval หรือ I)

$I = R/K$

2.5 หาขีดจำกัดชั้น (Class limit)

2.5.1 ขีดจำกัดล่าง (lower class limit) = X_{min}- (I x K – R)/2

2.5.2 ขีดจำกัดบน (upper class limit) ของชั้นต่ำสุด

= ขีดจำกัดล่าง + I - 1

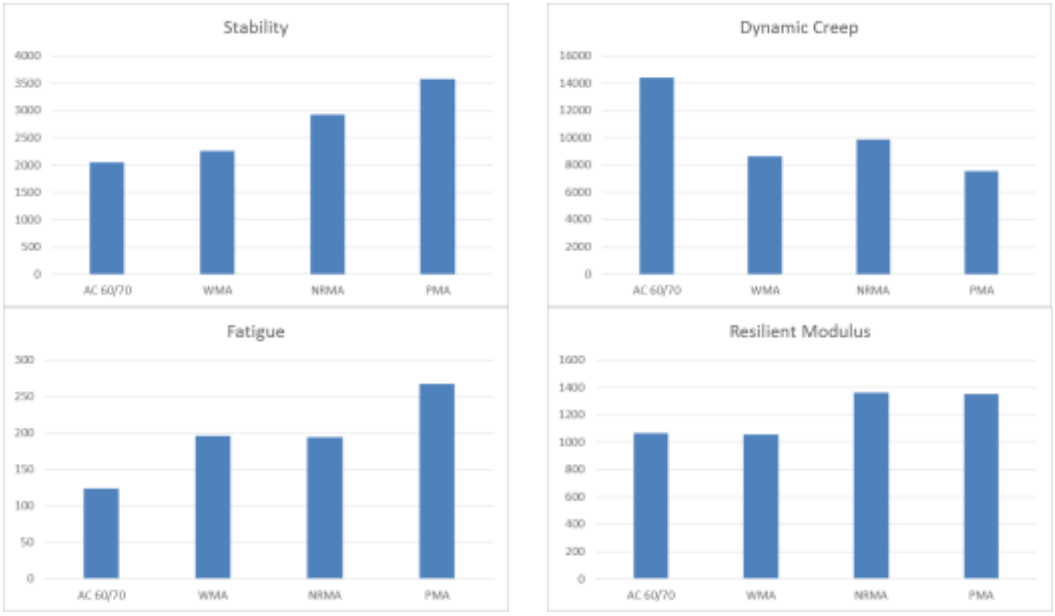
บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์รูปแบบการปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

1. ผลทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70 ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) พบว่า ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) หรือ PMA จะมีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดีที่สุด เช่น Stability, Dynamic Creep, Fatigue และค่า Resilient Modulus รายละเอียด ดังแผนภาพที่ 4-1

แผนภาพที่ 4-1 แสดงผลทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ในห้องปฏิบัติการ



จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการในแผนภาพที่ 4-1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะและคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่แตกต่างกันของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-1 ถึง 4-4

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC60/70

คุณสมบัติ	**แอสฟัลต์คอนกรีต (AC 60/70)**	
ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ	ทล.-ม.408	ผลการทดสอบ
<u>คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต</u>		
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	5.0 (±0.3)	5.0
Marshall density (gm./ml.)	2.375 - 2.393	2.385
Marshall Air Voids (%)	3.4 - 4.9	4.1
Voids in Mineral Aggregate (%)	Min. 14	14.6
Voids Filled with Bitumen (%)	67 – 77	71.9
Marshall Stability (lbs.)	Min 1900	2050
Marshall Flow (0.01")	11 - 13	12
Marshall Stability/Marshall Flow (lbs./0.01")	min. 160	171
Strength Index (%)	Min 75 %	89.9
<u>ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ</u>		
ผลการทดสอบร่องล้อที่ 10000 รอบ	5.90 % เมื่อทดสอบที่ ≈ 8 วัน	
(ร่องล้อเทียบกับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่าง), %	หลังเตรียมตัวอย่าง	
Dynamic Creep (μ strain)	14384.8	
Indirect Tensile Fatigue Test (Pulse)	124	
Indirect Tensile Strength (MPa)	0.255	
Resilient Modulus		
- Total RM (MPa)	1065.6	
- Instantaneous RM (MPa)	1295.2	

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด Warm Mix Asphalt : WMA

คุณสมบัติ	**WARM MIX ASPHALT (WMA)**	
ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ	ข้อกำหนดพิเศษ ที่ สว.พิเศษ 3/2556	ผลการทดสอบ
<u>คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต</u>		
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	5.0 (±0.3)	5.0
Marshall density (gm./ml.)	2.379 - 2.393	2.387
Marshall Air Voids (%)	3.4 - 4.7	4.0
Voids in Mineral Aggregate (%)	Min. 14	14.6
Voids Filled with Bitumen (%)	67 – 77	72.6
Marshall Stability (lbs.)	Min 2000	2260
Marshall Flow (0.01")	11 - 13	12.0
Marshall Stability/Marshall Flow (lbs./0.01")	min 160	188
Strength Index (%)	Min 75 %	88.7
<u>ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ</u>		
ผลการทดสอบร่องล้อที่ 10000 รอบ	4.60 % เมื่อทดสอบที่ ≈ 8 วัน	
(ร่องล้อเทียบกับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่าง), %	หลังเตรียมตัวอย่าง	
Dynamic Creep (μ strain)	8630.1	
Indirect Tensile Fatigue Test (Pulse)	196	
Indirect Tensile Strength (MPa)	0.446	
Resilient Modulus		
- Total RM (MPa)	1056	
- Instantaneous RM (MPa)	1170	

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) : NRMA

คุณสมบัติ	**แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพารา 5 %**	
ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ	ข้อกำหนดพิเศษ/ทล.-ก./ทล.ม.	ผลการทดสอบ
<u>คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต</u>		
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	5.0 (±0.3)	5.0
Marshall density (gm./ml.)	2.408 – 2.422	2.416
Marshall Air Voids (%)	3 - 5	4.0
Voids in Mineral Aggregate (%)	Min. 14	14.5
Voids Filled with Bitumen (%)	67 – 77	72.4
Marshall Stability (lbs.)	Min 2200	2920
Marshall Flow (0.01")	9 - 17	11.0
Marshall Stability/Marshall Flow (lbs./0.01")	170 (ร่าง ทล.-ม.)	265
Strength Index (%)	Min 75 %	88.5
<u>ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ</u>		
ผลการทดสอบร่องล้อที่ 10000 รอบ	5.60 % เมื่อทดสอบที่ ≈ 8 วัน	
(ร่องล้อเทียบกับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่าง), %	หลังเตรียมตัวอย่าง	
Dynamic Creep (μ strain)	9887.6	
Indirect Tensile Fatigue Test (Pulse)	194	
Indirect Tensile Strength (MPa)	0.333	
Resilient Modulus		
- Total RM (MPa)	1359.9	
- Instantaneous RM (MPa)	1795.5	

ตารางที่ 4-4 แสดงผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของ ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) : PMA

คุณสมบัติ	**โพลิเมอร์มอดิฟายด์ แอสฟัลต์คอนกรีต**	
ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ	ทล.-ม.409	ผลการทดสอบ
<u>คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต</u>		
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	4.9 (±0.3)	4.9
Marshall density (gm./ml.)	2.395 - 2.413	2.398
Marshall Air Voids (%)	3.3 - 4.9	4.0
Voids in Mineral Aggregate (%)	Min. 14	14.5
Voids Filled with Bitumen (%)	67 - 77	72
Marshall Stability (lbs.)	Min 3200	3580
Marshall Flow (0.01")	10 - 18	11.8
Marshall Stability/Marshall Flow (lbs./0.01")	210	303
Strength Index (%)	Min 75 %	88.9
<u>ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ</u>		
ผลการทดสอบร่องล้อที่ 10000 รอบ	3.54 % เมื่อทดสอบที่ ≈ 8 วัน	
(ร่องล้อเทียบกับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่าง), %	หลังเตรียมตัวอย่าง	
Dynamic Creep (μ strain)	7538	
Indirect Tensile Fatigue Test (Pulse)	267	
Indirect Tensile Strength (MPa)	0.784	
Resilient Modulus		
- Total RM (MPa)	1352	
- Instantaneous RM (MPa)	2127	

2. ผลสรุปการนำไปใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

จากผลที่ได้จากห้องปฏิบัติแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด ดังนั้น การเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดใดนอกจากผลจากห้องปฏิบัติการแล้วยังต้องคำนึงถึงลักษณะโดยทั่วไปและการนำไปใช้งาน รวมถึงประโยชน์และข้อจำกัดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดด้วย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 สรุปผลการนำไปใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	ลักษณะโดยทั่วไปและการนำไปใช้งาน	ประโยชน์	ข้อจำกัด
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC60/70	1. เป็นการผสมกันระหว่าง วัสดุมวลรวม และแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC60-70) ซึ่งทำหน้าที่ยึดประสานมวลรวมให้ยึดเหนี่ยวกัน 2. เป็นการผสมกันอย่างร้อนด้วยอุณหภูมิสูงในเครื่องผสม จากนั้นจึงนำไปปูลาดถนนขณะที่ส่วนผสมยังร้อนอยู่แล้วบดอัดให้แน่นและเรียบ 3. เมื่ออากาศร้อนผิวทางจะเกิดการขยายตัวทำให้อ่อนตัว และหากอากาศเย็นลงผิวทางจะหดตัวทำให้ผิวทางแข็งตัว 4. เป็นผิวทางที่ใช้ใน ทางหลวงพิเศษ และทางหลวงแผ่นดิน ฯลฯ ในปัจจุบัน	1.ราคาถูกกว่าผิวทางชนิดอื่น เช่น ผิวทางคอนกรีต, PMA, NRMA เป็นต้น 2.วัสดุมวลรวมที่ใช้สามารถใช้หินได้หลายชนิด 3.สามารถเปิดการจราจรได้ทันทีหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ 4.เมื่อเกิดความเสียหายสามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย 5.ไม่เกิดเสียงดังรบกวนเมื่อรถวิ่งผ่านเมื่อเทียบกับผิวทางคอนกรีต	1. หากควบคุมคุณภาพในขณะก่อสร้างได้ไม่ดีพอ อาจทำให้เกิดความเสียหายได้เมื่อเปิดการจราจร 2.การเลือกวัสดุมวลรวมมาใช้งาน หากไม่ตรงตามข้อกำหนด เช่น ต้องเพิ่มวัสดุอัดแทรก ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม และยากต่อการควบคุมการผลิต 3.พบการลื่นไถลได้ง่ายกว่าผิวทางประเภทอื่นๆ

ตารางที่ 4-5 สรุปผลการนำไปใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด (ต่อ)

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	ลักษณะโดยทั่วไปและการนำไปใช้งาน	ประโยชน์	ข้อจำกัด
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด Warm Mix Asphalt : WMA	Warm Mix Asphalt เป็นเทคโนโลยีหนึ่งซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 เทคโนโลยี WMA ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมามีจุดประสงค์เพื่อลดความหนืดของยางมะตอยเพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลือบหินของยางมะตอยที่อุณหภูมิที่ต่ำลง โดย warm mix asphalt จะสามารถผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อนทั่วไปถึง 20-50 °C จากผลที่ได้ดังกล่าวทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและลดปริมาณควัน ความร้อนและมลพิษทางอากาศ ทั้งยังแสดงคุณสมบัติความต้านทานการลื่นไถล และความต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดีกว่า HMA	1.ช่วยลดพลังงานในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจากการผสมและบดอัดส่วนผสมที่ลดต่ำลงประมาณ 20-30 °C 2.เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการผสมและบดอัดที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO_2 ได้ 3.ประโยชน์ต่อผู้ควบคุมการก่อสร้างและเจ้าหน้าที่ขณะปฏิบัติงานก่อสร้าง	1.ขั้นตอนในการผลิตซับซ้อนกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ (AC60/70) 2.ต้องการเครื่องมือพิเศษช่วยในกระบวนการผสมแอส-ฟัลต์ซีเมนต์ที่โรงงานผสมแอสฟัลต์คอน-กรีต 3.ราคาสูงกว่าเมื่อเทียบกับผิวทางแอส-ฟัลต์คอนกรีตปกติ (AC60/70)

ตารางที่ 4-5 สรุปผลการนำไปใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด (ต่อ)

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	ลักษณะโดยทั่วไปและการนำไปใช้งาน	ประโยชน์	ข้อจำกัด
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) : NRMA	แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) ตามมาตรฐานงานทางของกรมทางหลวง หมายถึง วัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่าง มวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Cement) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะก่อสร้าง และงานบำรุงทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับบนชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมหรือชั้นรองผิวทางหรือชั้นพื้นทาง	1.ยืดระยะเวลาการซ่อมบำรุงถนนออกไป 2-3 ปี ทำให้ประหยัดงบประมาณ 2.เพิ่มอุปสงค์ของยางพาราในประเทศให้สูงขึ้น 3.รักษาเสถียรภาพของราคายางพาราในประเทศ 4.ช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยาง ซึ่งมีอยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศอีกทางหนึ่ง 5.ยางพาราที่ใช้ จะทดแทนเนื้อแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศได้ส่วนหนึ่ง จึงช่วยประหยัดเงินตราในการนำเข้าจากต่างประเทศ	1.ปัจจุบันการนำยางพารามาผสมกับแอส-ฟัลต์ในงานของกรมทางหลวงนั้น จะใช้น้ำยางพาราข้น (Latex) เท่านั้น ส่วนการนำยางพาราแห้งหรือยางผงมาผสมยังอยู่ระหว่างการศึกษา 2.การใช้ยาง Latex มาผสมกับยาง AC 60/70 ที่อุณหภูมิ 150-160 °C ซึ่งเกินจุดเดือดของน้ำ จะเกิดการระเบิดของไอน้ำอย่างรุนแรง จึงต้องเติม Latex เข้าไปผสมทีละน้อย ทำให้ต้องใช้เวลานาน และในระหว่างการผสม จะเกิดฟอง (Foam) เป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้สาร Anti-foam ช่วยลด 3.การเก็บรักษามีกระบวนการที่ซับซ้อนทำให้ต้นทุนสูง

ตารางที่ 4-5 สรุปผลการนำไปใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด (ต่อ)

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	ลักษณะโดยทั่วไปและการนำไปใช้งาน	ประโยชน์	ข้อจำกัด
ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) : PMA	เป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Polymer Modified Asphalt Cement) ที่โรงงานผสม (Mixing Plant) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะ และงานบำรุงทาง ที่มีปริมาณการจราจรสูง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด ขนาดรูปตัด ที่ได้แสดงไว้ในแบบ บนชั้นทางใดๆที่ได้เตรียมไว้และผ่านการตรวจสอบแล้ว	การใช้งานผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอส-ฟัลต์คอนกรีตใช้สำหรับสายทางที่มีปริมาณการจราจรสูงในงานทาง ดังนี้ งานบำรุงทาง งานเสริมผิว (Overlay) เพื่อเสริมความแข็งแรงของผิวทางเดิมหรือเพิ่มความฝืดให้กับผิวทางเดิม ตลอดจนงาน กอสราง และงานบูรณะทาง งานชั้นรองผิวทาง (Binder Course)	1.มีราคาต้นทุนต่อหน่วยค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับผิวทางแอส-ฟัลต์คอนกรีตชนิดอื่น 2.ใช้อุณหภูมิในการผสมและบดอัดส่วนผสมแอสฟัลต์คอน-กรีตสูงกว่าผิวทางชนิดอื่นๆ 3.ใช้พลังงานและเครื่องจักรในการบดอัดสูงกว่าผิวทางชนิดอื่นๆ

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมงานทาง

1. ผลการประเมินราคาค่างานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

การคำนวณต้นทุนราคาต่อหน่วยผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับค่าขนส่งอุปกรณ์ ค่าติดตั้งเครื่องผสม ค่ายาง AC ค่าหิน ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ค่าขนส่ง ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมปูลาดและบดทับ สามารถสรุปผลการประเมินราคาต้นทุนต่อหน่วยได้ดังนี้

1.1 การคำนวณราคาต้นทุนต่อหน่วยงานแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา (Para-Asphalt Concrete)

1.1.1 Para-Asphalt Concrete5 cm. Thick

ปริมาณงาน Para Asphalt Concrete + Asphalt Concrete ทั้งโครงการ = 10,000.00 ตัน

ค่าขนส่งอุปกรณ์ 80 ตัน เฉลี่ย 150.00 กม. 211.48 บาท/ตัน = 2.33 บาท/ตัน

ค่าติดตั้งเครื่องผสม = 250,000/10,000.00 = 25.00 บาท/ตัน

ค่ายาง Para AC 0.052 ตัน @ 40,920.00 = 2,127.84 บาท/ตัน

ค่าหิน 0.740 ลบ.ม. @ 377.72 = 279.51 บาท/ตัน

ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต 382.79 x 1.10 = 421.06 บาท/ตัน

ค่าขนส่ง 1.00 กม. = 6.38 บาท/ตัน

ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมปูลาดและบดทับ หนา 5 cm.=11.18 x 1.10 x 8.33 = 102.44 บาท/ตัน

ค่าใช้จ่ายรวม = 2,964.56 บาท/ตัน

ค่างานต้นทุน = 2,964.56 / 8.33 = **355.88** บาท/ตร.ม

ดังนั้น **ค่างานต้นทุนต่อหน่วยรวม = 355.88** บาท/ตร.ม

หมายเหตุ : คำนวณที่ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงโซล่าที่อำเภอเมือง 30.00 – 30.99 บาท/ลิตร กรณีฝนปกติ

จากผลการคำนวณข้างต้น ซึ่งอ้างอิงตามวิธีการคิดราคาค่างานผิวทาง ของกรมทางหลวง นำไปสู่การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดอื่นๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-6

2. ผลสรุปราคาต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

จากหลักการและวิธีการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปผลการคำนวณราคาต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อตารางเมตร) ดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 สรุปผลการคำนวณราคาต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	ราคาต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ตร.ม.)
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC60/70	295.71
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด Warm Mix Asphalt : WMA	325.63
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) : NRMA	355.88
ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) : PMA	385.91

ข้อมูล ณ วันที่ 1 มิถุนายน 2558

ผลการสร้างมาตรวัดโดยการหาขีดจำกัดชั้น (Class Limit)

1. ผลการคำนวณหาอันตรภาคชั้น (Class interval)

1.1 ผลการคำนวณหาอันตรภาคชั้น (Class interval)

1.1.1 หาคะแนนสูงสุด (X_{max}) = 138

1.1.2 หาคะแนนต่ำสุด (X_{min}) = 46

1.1.3 คำนวณหาพิสัย (Range : R) = $X_{max} - X_{min}$

= 138 – 46

R = 93

1.1.4 คำนวณหาอันตรภาคชั้น (Class interval : I)

I = R/K

= 93/4

= 23.45 **(24)**

2. ผลการคำนวณหาขีดจำกัดชั้น (Class Limit)

ผลการคำนวณหาขีดจำกัดชั้น (Class Limit)

2.1 ขีดจำกัดล่าง (Lower class limit) = $X_{min} - (I \times K - R)/2$

= 46 – (24 x 4 – 93)/2

= 46 – 1.5

= 44.5 **(45)**

2.2 ขีดจำกัดบน (Upper class limit) ของชั้นต่ำสุด

= ขีดจำกัดล่าง + I – 1

= 45 + 24 – 1

= 68

สรุปผล

จากข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญทางด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยการรวบรวมและวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อให้ได้ผลสัมฤทธิ์ตรงตามวัตถุประสงค์การวิจัย นำมาสู่การรวบรวมผลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4-7

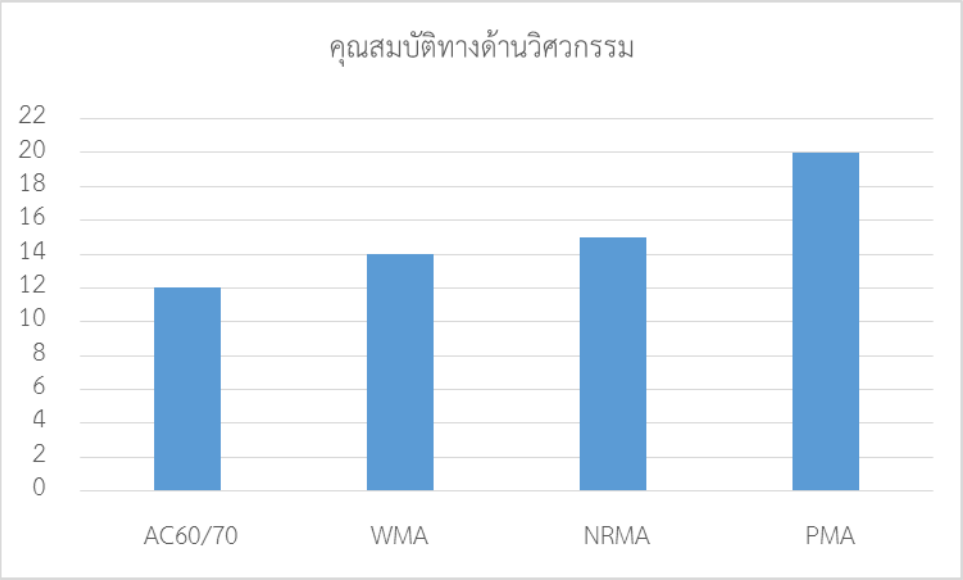
1. สรุปผลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแต่ละชนิด

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่แตกต่างกัน เนื่องจากการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เป็นส่วนผสมหลักไม่เหมือนกัน ดังนั้น จึงเป็นผลทำให้คุณสมบัติที่ได้มีความแตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-7 และแผนภาพที่ 4-2

ตารางที่ 4-7 แสดงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแต่ละชนิด

ชนิดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม					รวม
	ต้านทานการเกิดร่องล้อ	ต้านทานการแตกร้าว	ต้านทานการยุบตัว	โมดูลัสยืดหยุ่น	ค่าเสถียรภาพ	
AC60/70	3	2	2	2	3	12
WMA	3	3	2	3	3	14
NRMA	3	2	3	3	4	15
PMA	4	4	4	4	4	20

แผนภาพที่ 4-2 แสดงสรุปผลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม



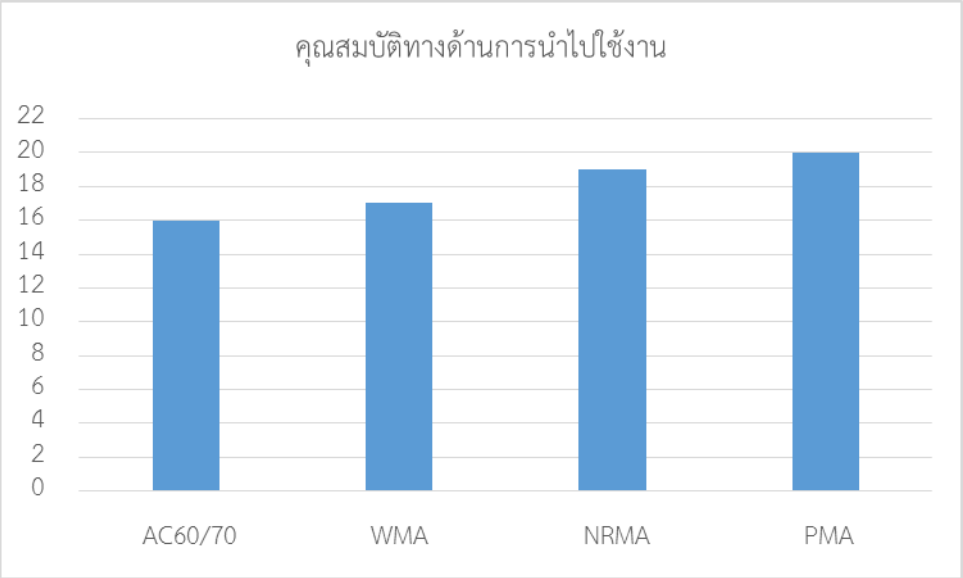
2. คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน

จากหัวข้อที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการนำผิวทางแต่ละประเภทไปใช้งานจึงมีความแตกต่างกันไป การเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทใดนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่างๆของผู้เลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในแต่ละประเภท สามารถสรุปรายละเอียดการนำไปใช้งานได้ ดังตารางที่ 4-8 และในแผนภาพที่ 4-3

ตารางที่ 4-8 แสดงคุณสมบัติทางด้านการนำไปใช้งานของผิวทางแต่ละชนิด

ชนิดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	คุณสมบัติทางด้านการนำไปใช้งาน						รวม
	ความสะดวกในการก่อสร้าง	ประโยชน์ใช้สอย	ประโยชน์ต่อสังคม	ความต้องการของชุมชน	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	ตอบสนองนโยบายภาครัฐ	
AC60/70	3	3	3	3	1	3	16
WMA	2	3	4	3	1	4	17
NRMA	3	3	3	3	3	4	19
PMA	3	4	4	4	1	4	20

แผนภาพที่ 4-3 แสดงสรุปผลคุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน



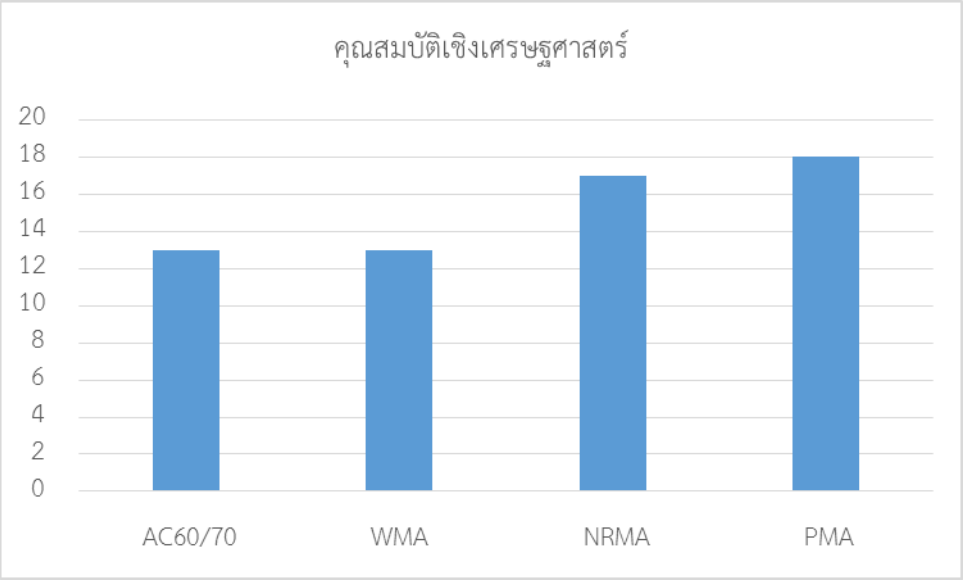
3. คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

คุณสมบัติทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นปัจจัยและเหตุผลหนึ่งในการเลือกหรือตัดสินใจนำผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตไปใช้ในงานก่อสร้าง นอกจากคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมแล้ว ยังต้องคำนึงถึง ราคาต้นทุนต่อหน่วย กระบวนการผลิต ความคุ้มค่าด้านพลังงาน เครื่องมือที่ใช้ และงบประมาณในการดูแลรักษา จากการรวบรวมข้อมูล การศึกษาและวิจัยผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-9 และแผนภาพที่ 4-4

ตารางที่ 4-9 แสดงคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์ของผิวทางแต่ละชนิด

ชนิดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์					รวม
	ราคาต้นทุนต่อหน่วย	กระบวนการผลิต (ยาก-ง่าย)	ความคุ้มค่าด้านพลังงาน	เครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้าง	งบประมาณการบำรุงรักษา	
AC60/70	3	2	2	3	3	**13**
WMA	3	2	2	3	3	**13**
NRMA	4	3	3	3	4	**17**
PMA	4	3	4	3	4	**18**

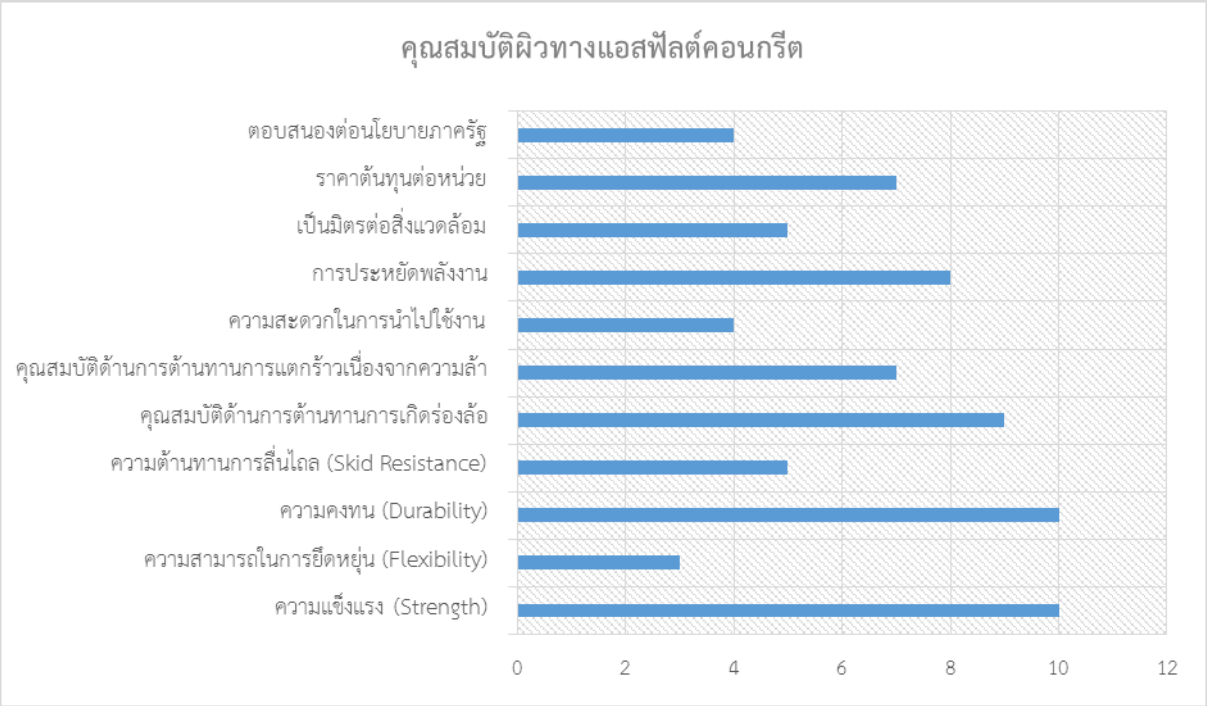
แผนภาพที่ 4-4 แสดงสรุปผลคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์



4. คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

การเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทใดนั้น นอกจากเหตุผลทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น การตอบสนองต่อนโยบายภาครัฐ ความต้องการของชุมชน การประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น จากผลการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถรวบรวมข้อมูล สรุปได้ดังแผนภาพที่ 4-5

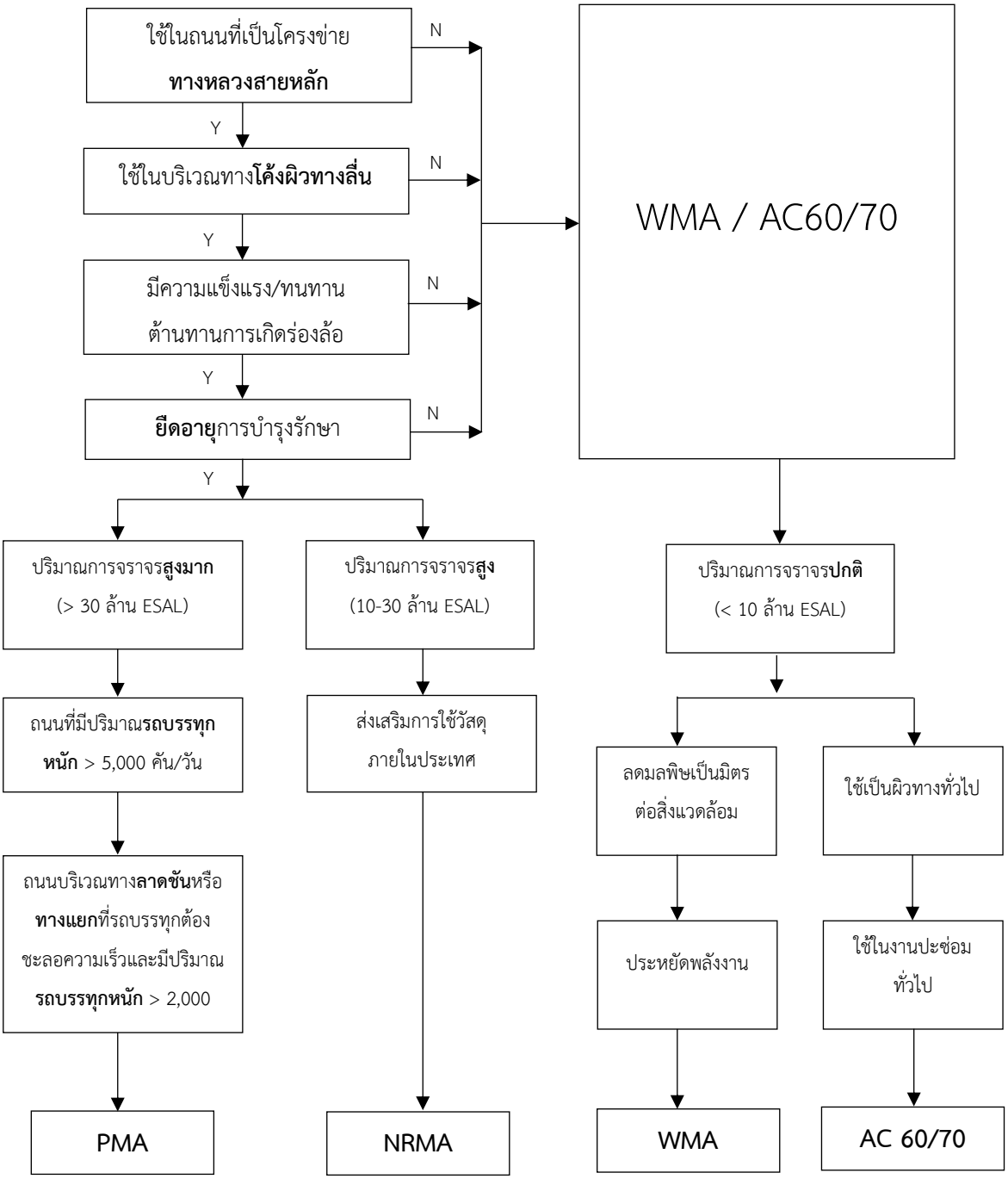
แผนภาพที่ 4-5 แสดงสรุปผลคุณสมบัติผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต



5. สรุปแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ บทความ ผลงานวิชาการ วารสาร เอกสารประกอบ บันทึกข้อความ คำสั่งและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลปฐมภูมิ ที่รวบรวมได้จากการสร้างแบบสอบถามและดำเนินการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งจากหน่วยงานภายนอกและภายในกรมทางหลวง สามารถสรุปเป็นแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแต่ละชนิด ได้ตามแผนผังที่แสดงในแผนภาพที่ 4-6 รายละเอียดดังนี้

แผนภาพที่ 4-6 แสดงสรุปแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต



5.1 แนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70

5.1.1 ใช้ในงานก่อสร้างเป็นวัสดุชั้นผิวทาง Wearing Course หรือวัสดุชั้นรองผิวทาง Binder Course หรือชั้นพื้นทาง Base Course

5.1.2 ใช้ในงานบำรุงทาง ในงาน ซ่อมผิวทาง (Patching) ขุดซ่อม (Deep Patching)

5.1.3 ใช้ในงานเสริมผิว (Overlay)

5.1.4 ใช้ในงานปรับระดับ (Leveling)

5.1.5 ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป

5.1.6 ใช้ในถนนที่มีปริมาณการจราจรปกติ

5.2 แนวทางการเลือกใช้ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA)

5.2.1 ใช้ในงานก่อสร้างเป็นวัสดุชั้นผิวทาง Wearing Course หรือวัสดุชั้นรองผิวทาง Binder Course หรือชั้นพื้นทาง Base Course

5.2.2 ใช้ในงานบำรุงทาง ในงาน ซ่อมผิวทาง (Patching) ขุดซ่อม (Deep Patching)

5.2.3 ใช้ในงานเสริมผิว (Overlay)

5.2.4 ใช้ในงานปรับระดับ (Leveling)

5.2.5 ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป

5.2.6 ใช้ในถนนที่มีปริมาณการจราจรปกติ

5.2.7 ใช้ในงานที่ต้องการลดอุณหภูมิการผสมและการบดทับแอสฟัลต์คอนกรีต หรือเพื่อใช้ในกรณีต้องการขนส่งส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจากโรงงานผสมไปยังพื้นที่ต้องการปูผิวทางที่มีระยะทางไกลเกินกว่าที่มาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดไว้

5.2.8 ใช้ในงานที่ต้องการลดควันไอเสียจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดต่อผู้ปฏิบัติงาน เช่น การปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในอุโมงค์ เป็นต้น

5.3 แนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) : NRMA

5.3.1 ใช้ในงานก่อสร้างและบำรุงทางเป็นวัสดุชั้นผิวทาง Wearing Course

5.3.2 ใช้ในถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง

5.3.3 ถนนบริเวณที่เป็นทางโค้งผิวทางลื่น หรือ บริเวณที่ผิวทางมีค่าความฝืด (Skid Resistance) ต่ำกว่า 45 (เมื่อทดสอบด้วยวิธี British Pendulum) หรือ บริเวณที่ผิวทางมีค่าความหยาบ (Texture Depth) ต่ำกว่า 0.25 มิลลิเมตร (เมื่อทดสอบด้วยวิธี Sand Patching)

อาจเสริมผิวถนนหรือขูดไสผิวทางเดิมออกแล้วปูทับใหม่ด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราเพื่อเพิ่มความฝืดหรือความหยาบของผิวทาง

5.3.4 ถนนที่เกิดความเสียหายเป็นร่องล้อ โดยที่ความเสียหายเกิดในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเท่านั้นและไม่มีการแตกร้าว อาจขูดไสผิวทางเดิมบริเวณที่เสียหายออกแล้วปูทับใหม่ด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราได้

5.3.5 ใช้ในงานเสริมผิวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง โดยที่โครงสร้างของชั้นพื้นทางและรองพื้นต้องอยู่ในสภาพที่แข็งแรงเพียงพอ ซึ่งอาจพิจารณาจากผลการตรวจสอบความแข็งแรงทางวิศวกรรม

5.4 แนวทางการเลือกใช้ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) : PMA

5.4.1 ใช้ในงานก่อสร้างและบำรุงทางเป็นวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นผิวทาง Wearing Course โดยให้มีความหนาอยู่ระหว่าง 4 – 5 ซม.

5.4.2 ถนนที่เป็นโครงข่ายทางหลวงสายหลักที่มีปริมาณการจราจรสูงมาก

5.4.3 ถนนที่มีปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่า 5000 คัน/วัน หรือ

5.4.4 ถนนบริเวณทางลาดชันหรือทางแยกที่รถบรรทุกต้องชะลอความเร็วมีความเร็วต่ำกว่า 20 กม./ชม. หรือหยุดนิ่ง และมีปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่า 2000 คัน/วัน หรือ

5.4.5 ถนนบริเวณที่เสียหายเป็นร่องล้อลึก โดยที่ความเสียหายเกิดในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเท่านั้นและไม่มีการแตกร้าว อาจขูดไสผิวทางเดิมที่เสียหายออกแล้วปูผิวทางใหม่ด้วยผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต

5.4.6 อาจพิจารณาใช้โพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตได้ตามข้อแนะนำอื่นที่เหมาะสมนอกเหนือจากข้อแนะนำข้างต้นได้ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และลักษณะการบรรทุกแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

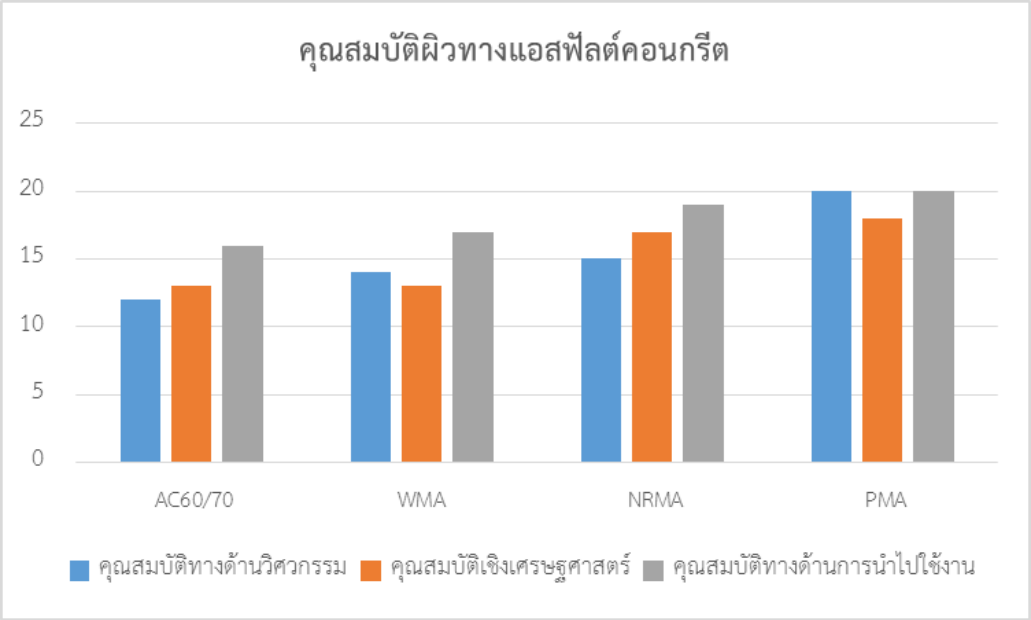
สรุป

ผลการวิเคราะห์รูปแบบการปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70 ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) พบว่า ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) หรือ PMA จะมีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดีที่สุด เช่น Stability, Dynamic Creep, Fatigue และค่า Resilient Modulus ดังแสดงในแผนภาพที่ 5-1

จากข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญทางด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยการรวบรวมและวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อให้ได้ผลสัมฤทธิ์ตรงตามวัตถุประสงค์การวิจัย นำมาสู่การรวบรวมผลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด พบว่า ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) หรือ PMA เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านประโยชน์การใช้งานและในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากถึงแม้ว่าราคาต่อหน่วยค่อนข้างสูงกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดอื่นๆ แต่เมื่อเทียบกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมและประโยชน์การใช้งานถือว่ามีความคุ้มค่ามากที่สุด

การเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทใดนั้น นอกจากเหตุผลทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น การตอบสนองต่อนโยบายภาครัฐ ความต้องการของชุมชน การประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

แผนภาพที่ 5-1 แสดงผลสรุปคุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด



อภิปรายผล

คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ดีนั้น จะต้องมีความคุ้มค่าด้านการลงทุนทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม ในภาพรวมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีความเรียบเมื่อทำการปูผิวทางเสร็จเรียบร้อย และต้องมีความต้านทานการลื่นไถลด้วย มีความแข็งแรงพอที่จะรองรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยไม่เกิดเป็นร่องล้อ ผิวทางจะต้องรักษาคุณสมบัตินี้ได้เพียงพอสำหรับอายุการออกแบบ เนื่องจากผิวทางจะกระจายน้ำหนักโดยการแอ่นตัวเล็กน้อยกับแต่ละน้ำหนัก ดังนั้นจะต้องมีความยืดหยุ่นดีพอ ซึ่งข้อกำหนดนี้จะต้องใช้คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ดังนี้

1. ความแข็งแรง (Strength)
2. ความสามารถในการยืดหยุ่น (Flexibility)
3. ความคงทน (Durability)
4. ความต้านทานการลื่นไถล (Skid resistance)

ข้อเสนอแนะ

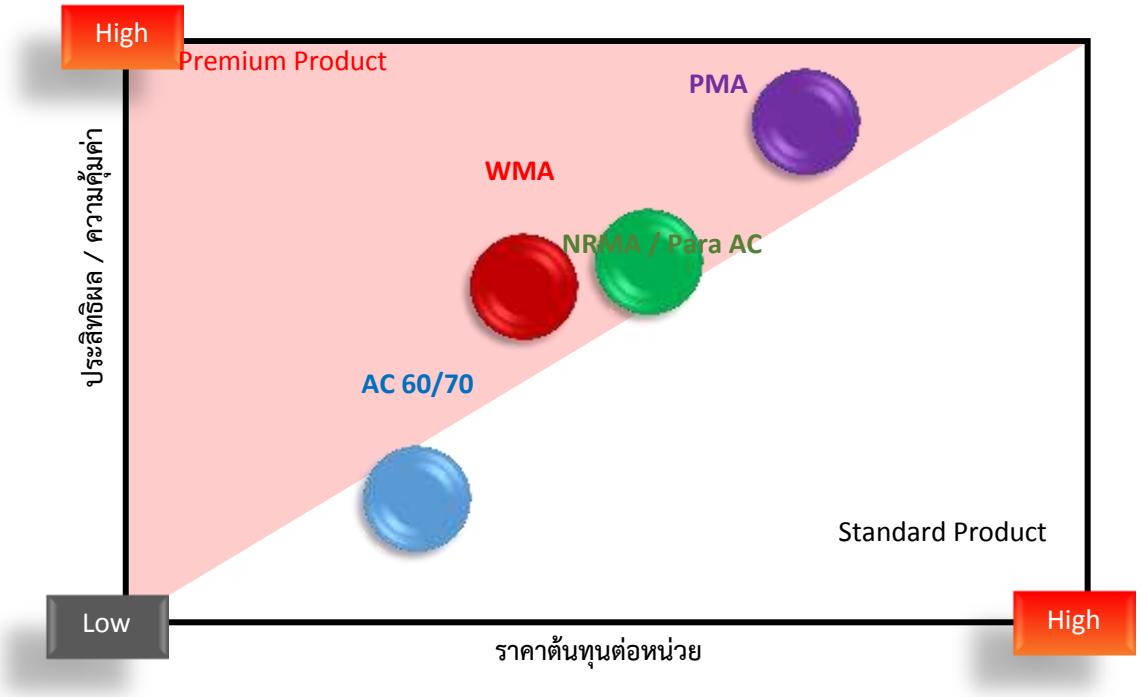
จากการศึกษาถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่างๆ ที่ได้ทำการวิจัย ทั้งทางด้านวิศวกรรมและราคาต้นทุนต่อหน่วย รวมถึงการรวบรวมข้อมูลจากการ

สัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งภายในหน่วยงานกรมทางหลวงและหน่วยงานเอกชน รวมทั้งอาจารย์มหาวิทยาลัยต่างๆ นำมาสู่การเปรียบเทียบผลทางด้านวิศวกรรมกับความคุ้มค่าทางด้านประโยชน์การใช้งานและการลงทุน เพื่อเสนอแนะเป็นแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับการก่อสร้างผิวทางมากที่สุด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. สรุปผลการเปรียบเทียบด้านความคุ้มค่าต่อการลงทุน

ความคุ้มค่าด้านการลงทุนเป็นการรวบรวมข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิผลที่ได้กับราคาต้นทุนต่อหน่วย ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 4 ชนิด แผนภาพที่ 5-2 แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของประสิทธิภาพและราคาต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำการวิจัย (AC60/70, WMA, NRMA และ PMA) ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบและแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานทางหลวง

แผนภาพที่ 5-2 แสดงสรุปผลการเปรียบเทียบด้านความคุ้มค่าต่อการลงทุน



2. สรุปแนวทางในการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

จากข้อมูลที่ได้จากการวิจัยข้างต้น นำมาสู่การสรุปเกณฑ์และคุณลักษณะต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุด โดยมองในแง่ของผลทางด้านวิศวกรรมที่สอดคล้องกับผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน ความปลอดภัย การบริการและประโยชน์ใช้สอย รวมถึงความสัมพันธ์ด้าน

อื่นหรือปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเป็นประโยชน์ต่อสังคม และนโยบายของรัฐ เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงเกณฑ์และคุณลักษณะต่างๆ ที่ใช้เป็นแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

คุณลักษณะ / Criteria	PMA	NRMA	WMA	AC-60/70
ใช้เป็นวัสดุผิวทางชั้นผิวทาง Wearing Course	A	A	A	A
ใช้เป็นวัสดุผิวทางชั้นรองผิวทาง Binder Course	A	A	A	A
ใช้เป็นวัสดุผิวทางชั้นพื้นทาง Base Course	D	C	C	A
ใช้ในงานบำรุงทาง ซ่อมผิวทาง (Patching) ชุดซ่อม (Deep Patching)	F	F	C	A
งานเสริมผิว (Overlay)	A	A	A	A
งานปรับระดับ (Leveling)	F	F	C	A
ถนนที่มีปริมาณการจราจรปกติ	D	C	B	A
ถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง	A	A	F	F
ถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงมาก	A	F	F	F
ถนนบริเวณทางโค้งผิวทางลื่น ค่า Skid resistance < 45 หรือ Texture Depth < 0.25 mm.	A	A	F	F
ถนนที่เกิดความเสียหายเป็นร่องล้อ (ไม่มีการแตกร้าว)	B	A	F	F
ถนนที่เกิดความเสียหายเป็นร่องล้อ**ลึก** (ไม่มีการแตกร้าว)	A	F	F	F

ตารางที่ 5-1 แสดงเกณฑ์และคุณลักษณะต่างๆ ที่ใช้เป็นแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (ต่อ)

คุณลักษณะ / Criteria	PMA	NRMA	WMA	AC-60/70
ถนนที่เป็นโครงข่าย**ทางหลวงสายหลัก**ที่มีปริมาณการจราจรสูง	A	B	F	F
ถนนที่มีปริมาณ**รถบรรทุกหนัก**มากกว่า 5,000 คัน/วัน	A	F	F	F
ถนนบริเวณ**ทางลาดชัน**หรือ**ทางแยก**ที่รถบรรทุกต้องชะลอความเร็ว มีความเร็วต่ำกว่า 20 กม/ชม. หรือหยุดนิ่ง และมีปริมาณ**รถบรรทุกหนัก**มากกว่า 2,000 คัน/วัน	A	F	F	F
ลดมลพิษเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	F	F	A	F
ประหยัดพลังงาน	F	F	A	C
การตอบสนองนโยบายภาครัฐ				
- ด้านลดมลพิษและสิ่งแวดล้อม	F	F	A	F
- ด้านส่งเสริมการใช้วัสดุภายในประเทศ	F	A	F	F
- ด้านความแข็งแรงและความคงทน	A	C	F	F
- ด้านประหยัดงบประมาณ	F	F	F	A

หมายเหตุ : ความหมายของตัวย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้

PMA = ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete)

NRMA = ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete)

WMA = ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA)

AC-60/70 = ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70

A = เหมาะสมมากที่สุด **D** = เหมาะสมน้อย

B = เหมาะสมมาก **F** = ไม่เหมาะสม

C = เหมาะสมปานกลาง

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

ณพรัตน์ และจรัสศรี. “การผสมยางธรรมชาติกับยางมะตอยราดถนน”. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2544.

ณพรัตน์ วิชิตชลชัย. “สรุปข้อมูลการใช้ยางธรรมชาติผสมยางมะตอยราดถนนของกรมวิชาการเกษตร”. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2552.

ณพรัตน์ วิชิตชลชัย. “การใช้ยางแห้งผสมยางมะตอยใช้ในงานทาง”. ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง, 2548.

วารสาร

วิจัยวิชาการ 2. วารสารทางหลวง. ฉบับที่ 5, 2555.

เอกสารวิจัย รายงาน

พรหมมา เทพศรีหา. “การศึกษาพฤติกรรมของสโตนมาสติกแอสฟัลต์เมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณของวัสดุผสมแทรกระหว่างฝุ่นหินกับปูนซีเมนต์”. รายงานวิจัย, 2556.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ. “การศึกษาแนวทางการแก้ไขการเกิดร่องล้อของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการใช้ปูนซีเมนต์ และ เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมแทรก”. รายงานวิจัย, 2556.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ. “การใช้วัสดุใยสังเคราะห์ (Geosynthetics) เสริมกำลังโครงสร้างทางลาดยางเพื่อต้านทานการเกิดร่องล้อ”. รายงานวิจัย, 2556.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ. “โครงการวิจัยก่อสร้างแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา”. รายงานวิจัย, 2556.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ. “โครงการศึกษา Warm Mix Asphalt จากการทำแปลงทดสอบ”. รายงานวิจัย, 2556.

เอกสารไม่ตีพิมพ์

ณพรัตน์ และคณะ. “เปรียบเทียบสมบัติของแอสฟัลต์ธรรมดากับแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติในการสร้างถนน Comparison the Specification of Asphalt and Mixed Natural Rubber for Road Construction”. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง, สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร 2544.

ทางหลวง, กรม. “ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Specification for Natural Rubber Modified Asphalt Cement)”. 2556.

ทางหลวง, กรม. “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete)”. 2556.

ทางหลวง, กรม. “รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร โครงการวิจัยการก่อสร้างแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราธรรมชาติ (ยางพารา)”. 2555.

ทางหลวง, กรม. “วิธีการฉาบผิวทางแบบพาราสเลอรี่ซีล (Para Slurry Seal)”. 2546.

มนตรี เดชาสกุลสม และคณะ. “การนำยางพารามาใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต”. 2555.

ศูนย์วิเคราะห์เศรษฐกิจยางพารา. “การเปรียบเทียบราคายางโลก ความต้องการใช้ยาง ปริมาณการผลิตและสต๊อกยางโลก”. 2557.

สถาบันวิจัยยาง. “ข้อมูลวิชาการยางพารา”. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2553.

อเนก และคณะ. “ศึกษาสภาวการณ์ตลาดและเศรษฐกิจการยาง A Study Market Situation and Natural Rubber Economics”. ส่วนเศรษฐกิจการยาง สถาบันวิจัยยาง 2550.

ภาษาต่างประเทศ

Likert Scale. 1890 – 1947 ที่มา : http://www.web-books.com/eLibrary/NC/B0/B58/047MB58.html

Nopparat V. Modification of Asphalt Cement by Natural Rubber for Pavement Construction. Rubber Products Industry Group. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok. 2012.

Narachai T. The Modification of Asphalt with Natural Rubber LATEX. Department of Civil Engineering Chulalongkorn University Phaya Thai Rd., Prathumwan Phaya. 2005.

Specification No. DH-SP.405/2538. Specification for Elastomeric Modified Asphalt Emulsion. Department of Highway.

ภาคผนวก

แบบสอบถาม

เลขที่แบบสอบถาม .....

เรื่อง การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง

วัตถุประสงค์ : แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการดำเนินการวิจัย สำหรับการศึกษาค้นคว้าอิสระของนักศึกษาวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร หลักสูตรการป้องกันราชอาณาจักร โดยแบบสอบถามจะนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่งที่กรุณาสละเวลาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามมา ณ โอกาสนี้

คำชี้แจง

1. กรุณาทำเครื่องหมาย √ หน้าคำตอบที่ท่านต้องการให้คะแนน และเติมข้อความหรือตัวเลขในช่องว่างที่มีให้
2. แบบสอบถามมีทั้งหมด 3 ส่วน ดังนี้

   ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

   ส่วนที่ 2 ข้อคำถามที่เกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งานและคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

   ส่วนที่ 3 สอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจ และข้อเสนอแนะ

3. ข้อมูลที่ได้รับจากท่านจะถูกเก็บไว้เป็นความลับ

หมายเหตุ

1. ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC60/70 คือ ผิวทางแบบดั้งเดิมที่มีใช้ในกรมทางหลวง
2. ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด PMA คือ ผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต
3. ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด NRMA คือ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพารา
4. ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด WMA คือ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ ..... ปี

3. ตำแหน่ง

   .....

4. ระดับการศึกษา

   ☐ ปริญญาตรี

   ☐ ปริญญาโท

   ☐ ปริญญาเอก

   ☐ อื่น ๆ

5. สถานที่ทำงาน

   .....

   .....

   .....

   .....

<u>ส่วนที่ 2</u> คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้านวิศวกรรม ด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC60/70 .....

ความหมายของการให้คะแนน

4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = ไม่แน่ใจ

ลำดับ	รายละเอียด คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้านวิศวกรรม ด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์	คะแนน			
		4	3	2	1
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม					
1	คุณสมบัติด้านการต้านทานการเกิดร่องล้อ				
2	คุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้า				
3	คุณสมบัติด้านการต้านทานการยุบตัวแบบถาวรเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร				
4	คุณสมบัติด้านโมดูลัสยืดหยุ่น				
5	ค่าเสถียรภาพและการไหล				
คุณสมบัติทางด้านการนำไปใช้งาน					
1	ความสะดวกในการก่อสร้าง				
2	ประโยชน์ใช้สอย				
3	ประโยชน์ต่อสังคม				
4	ความต้องการของชุมชน				
5	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม				
6	สามารถตอบสนองนโยบายภาครัฐ				
คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์					
1	ราคาต้นทุนต่อหน่วย				
2	กระบวนการผลิต (ยาก-ง่าย)				
3	ความคุ้มค่าด้านการประหยัดพลังงาน				
4	เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง				
5	งบประมาณการบำรุงรักษา				

<u>ส่วนที่ 2</u> คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้านวิศวกรรม ด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด PMA .....

ความหมายของการให้คะแนน

4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = ไม่แน่ใจ

ลำดับ	รายละเอียด คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้านวิศวกรรม ด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์	คะแนน			
		4	3	2	1
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม					
1	คุณสมบัติด้านการต้านทานการเกิดร่องล้อ				
2	คุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้า				
3	คุณสมบัติด้านการต้านทานการยุบตัวแบบถาวรเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร				
4	คุณสมบัติด้านโมดูลัสยืดหยุ่น				
5	ค่าเสถียรภาพและการไหล				
คุณสมบัติทางด้านการนำไปใช้งาน					
1	ความสะดวกในการก่อสร้าง				
2	ประโยชน์ใช้สอย				
3	ประโยชน์ต่อสังคม				
4	ความต้องการของชุมชน				
5	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม				
6	สามารถตอบสนองนโยบายภาครัฐ				
คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์					
1	ราคาต้นทุนต่อหน่วย				
2	กระบวนการผลิต (ยาก-ง่าย)				
3	ความคุ้มค่าด้านการประหยัดพลังงาน				
4	เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง				
5	งบประมาณการบำรุงรักษา				

<u>ส่วนที่ 2</u> คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้านวิศวกรรม ด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด NRMA

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต .....

ความหมายของการให้คะแนน

4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = ไม่แน่ใจ

ลำดับ	รายละเอียด คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้านวิศวกรรม ด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์	คะแนน			
		4	3	2	1
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม					
1	คุณสมบัติด้านการต้านทานการเกิดร่องล้อ				
2	คุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้า				
3	คุณสมบัติด้านการต้านทานการยุบตัวแบบถาวรเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร				
4	คุณสมบัติด้านโมดูลัสยืดหยุ่น				
5	ค่าเสถียรภาพและการไหล				
คุณสมบัติทางด้านการนำไปใช้งาน					
1	ความสะดวกในการก่อสร้าง				
2	ประโยชน์ใช้สอย				
3	ประโยชน์ต่อสังคม				
4	ความต้องการของชุมชน				
5	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม				
6	สามารถตอบสนองนโยบายภาครัฐ				
คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์					
1	ราคาต้นทุนต่อหน่วย				
2	กระบวนการผลิต (ยาก-ง่าย)				
3	ความคุ้มค่าด้านการประหยัดพลังงาน				
4	เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง				
5	งบประมาณการบำรุงรักษา				

<u>ส่วนที่ 2</u> คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้านวิศวกรรม ด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์

ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ..... ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด WMA

ความหมายของการให้คะแนน

4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย 1 = ไม่แน่ใจ

ลำดับ	รายละเอียด คุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้านวิศวกรรม ด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์	คะแนน			
		4	3	2	1
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม					
1	คุณสมบัติด้านการต้านทานการเกิดร่องล้อ				
2	คุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้า				
3	คุณสมบัติด้านการต้านทานการยุบตัวแบบถาวรเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร				
4	คุณสมบัติด้านโมดูลัสยืดหยุ่น				
5	ค่าเสถียรภาพและการไหล				
คุณสมบัติทางด้านการนำไปใช้งาน					
1	ความสะดวกในการก่อสร้าง				
2	ประโยชน์ใช้สอย				
3	ประโยชน์ต่อสังคม				
4	ความต้องการของชุมชน				
5	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม				
6	สามารถตอบสนองนโยบายภาครัฐ				
คุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์					
1	ราคาต้นทุนต่อหน่วย				
2	กระบวนการผลิต (ยาก-ง่าย)				
3	ความคุ้มค่าด้านการประหยัดพลังงาน				
4	เครื่องมือ/เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง				
5	งบประมาณการบำรุงรักษา				

<u>ส่วนที่ 3</u> สอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจ และข้อเสนอแนะ

1. หากโครงการก่อสร้างผิวทางให้เลือกชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ท่านจะเลือกผิวทางชนิดใดในการนำไปก่อสร้าง โปรดเรียงลำดับตามความต้องการ (ให้คะแนน 1-4 : โดยคะแนน 1 = ต้องการมากที่สุด และ 4 = ต้องการน้อยที่สุด)
   - ..... ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC60/70
   - ..... ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด PMA
   - ..... ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด NRMA
   - ..... ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด WMA

2. ในการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดใดๆนั้น ท่านเห็นว่าควรให้ความสำคัญด้านใดมากที่สุด 5 อันดับแรก (โปรดเลือกให้คะแนน 1-5 : โดยคะแนน 1 = มีความสำคัญมากที่สุด)
   - ..... ความแข็งแรง (Strength)
   - ..... ความสามารถในการยืดหยุ่น (Flexibility)
   - ..... ความคงทน (Durability)
   - ..... ความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance)
   - ..... คุณสมบัติด้านการต้านทานการเกิดร่องล้อ
   - ..... คุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้า
   - ..... ความสะดวกในการนำไปใช้งาน
   - ..... การประหยัดพลังงาน
   - ..... เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
   - ..... ราคาต้นทุนต่อหน่วย
   - ..... ตอบสนองต่อนโยบายภาครัฐ
3. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไร หรือมีเหตุผลอย่างไร ในการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด

   .....

   .....

   .....
4. ข้อเสนอแนะอื่นๆ (ถ้ามี)

   .....

   .....

   .....

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายสราวุธ ทรงศิวิไล
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 15 กันยายน 2507
การศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วศบ.โยธา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2524
	ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (วศ.ม. โยธา สาขา Transportation) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2532
ประวัติการทำงาน	ผู้อำนวยการสำนักงานบำรุงทางธนบุรี
โดยย่อ	ผู้อำนวยการแขวงการทางกรุงเทพฯ
	ผู้อำนวยการกลุ่มวางแผนกลยุทธ์และแผนงานบำรุงรักษาทาง
	ผู้อำนวยการสำนักทางหลวงที่ 8 (นครราชสีมา)
	รองอธิบดีกรมทางหลวง
	อกพ. กรมทางหลวง
ตำแหน่งปัจจุบัน	รองอธิบดีฝ่ายบำรุงทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

สรุปย่อ

ลักษณะวิชา การเศรษฐกิจ

เรื่อง การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง

ผู้วิจัย นายสราวุธ ทรงศิวิไล **หลักสูตร** วปอ. **รุ่นที่** 57

ตำแหน่ง รองอธิบดีฝ่ายบำรุงทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาประเทศในด้านการส่งเสริมการลงทุนทางด้านการคมนาคมขนส่ง เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาโครงข่ายเศรษฐกิจและการลงทุน การคมนาคมบนทางหลวงมีบทบาทในการเชื่อมโยงสินค้า อุตสาหกรรม และการท่องเที่ยว ส่งผลโดยตรงต่อเศรษฐกิจในภาพรวม กรมทางหลวงในฐานะผู้รับผิดชอบโดยตรงต่อการพัฒนาทางหลวงในประเทศไทย ได้มีการศึกษาและพัฒนาการออกแบบและรูปแบบการก่อสร้างรวมถึงเทคโนโลยีผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทันสมัยอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด

การใช้งานทางหลวงในปัจจุบัน มีปริมาณจราจรและน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ทางหลวงมีการรับน้ำหนักจากการจราจรมากขึ้นเกินกว่าขอบเขตที่จะสามารถรับได้ โดยส่วนประกอบของโครงสร้างถนนที่สำคัญในการทำหน้าที่รับน้ำหนักที่กระทำ ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งในปัจจุบันมีหลากหลายชนิด ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70, ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete), ผิวทางสโตนมาสติกแอสฟัลต์ (SMA), ผิวทางพอรัสแอสฟัลต์คอนกรีต (Porous Asphalt), ผิวทางเพื่อลดการใช้พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) และการปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) เป็นต้น

ดังนั้น การเลือกใช้ผิวทางประเภทใดในการก่อสร้าง จึงต้องอาศัยหลักการวิเคราะห์และประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์เชิงวิศวกรรมงานทาง เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในด้านเศรษฐศาสตร์ของแต่ละโครงการหรือแต่ละกระบวนการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละประเภท ตลอดจนเพื่อหาแนวทางที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุด โดยมองในแง่ของผลทางด้านวิศวกรรมที่สอดคล้องกับผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน ความปลอดภัย การบริการและประโยชน์ใช้สอย

รวมถึงความสัมพันธ์ด้านอื่นหรือปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความต้องการของชุมชน ความเป็นประโยชน์ต่อสังคม และนโยบายของภาครัฐ เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในกรมทางหลวง ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70, ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete), ผิวทางWarm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete)

2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดกับราคาต่อหน่วย

3. เพื่อเสนอแนะแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานทางหลวง

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการรวบรวมเอกสาร การจัดทำแบบสอบถามและจากการสัมภาษณ์เชิงลึก ผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต รวมไปถึงการวิเคราะห์และประเมินผลจากงานวิจัยของกรมทางหลวงในด้านการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทต่างๆ โดยแบ่งขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. ขอบเขตด้านข้อมูลเนื้อหา

การศึกษานี้ครอบคลุมเนื้อหาเฉพาะข้อมูลผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่างๆ ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70, ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete), ผิวทางWarm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) เท่านั้น

2. ขอบเขตด้านการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการนำข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบกับข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการรวบรวมเอกสาร งานวิจัย บทความ วารสาร และบันทึกข้อความจากกรมทางหลวงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย วิเคราะห์โดยหาความสอดคล้องของข้อมูลเชิงสถิติ

วิธีดำเนินการวิจัย

การประเมินผลความคุ้มค่าการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง ทำการศึกษาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงคุณภาพ อธิบายถึงความสำคัญทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในแต่ละชนิด รวบรวมข้อมูลการสัมภาษณ์เชิงลึกเกี่ยวกับข้องคิดเห็นด้านการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ในด้านผลดีและผลกระทบต่างๆ จากกรอบแนวความคิดของงานวิจัย การดำเนินการวิจัยครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้ 6 ขั้นตอน ได้แก่

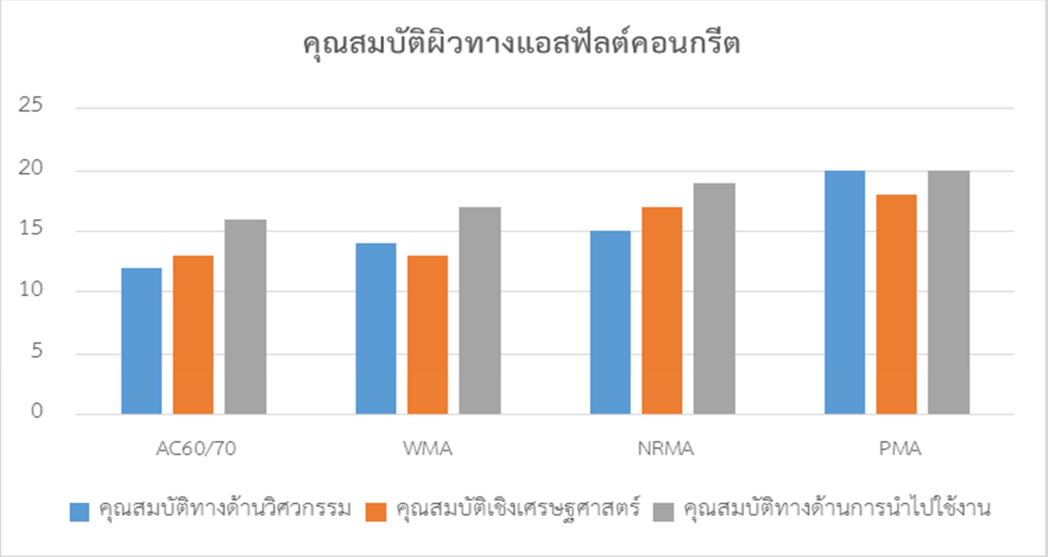
1. วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการผลิตและการก่อสร้าง ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เพื่อคำนวณราคาต้นทุนต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด
2. รวบรวมข้อมูลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ประเภทต่างๆ และการนำไปใช้ประโยชน์
3. ดำเนินการจัดทำแบบสอบถาม (รายละเอียดวิธีการจัดทำ แสดงไว้ในบทที่ 3) และสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
4. รวบรวมผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์
5. เปรียบเทียบผลทางด้านวิศวกรรมในด้านประโยชน์ใช้สอยกับราคาต้นทุนต่อหน่วย เพื่อประเมินความคุ้มค่าด้านการลงทุน
6. รวบรวมและสรุปข้อเสนอแนะแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานทางหลวง

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์รูปแบบการปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC-60/70, ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete), ผิวทาง Warm Mix Asphalt (WMA) และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete) พบว่า ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) หรือ PMA จะมีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดีที่สุด เช่น Stability, Dynamic Creep, Fatigue และค่า Resilient Modulus ดังแสดงในรูปที่ 1

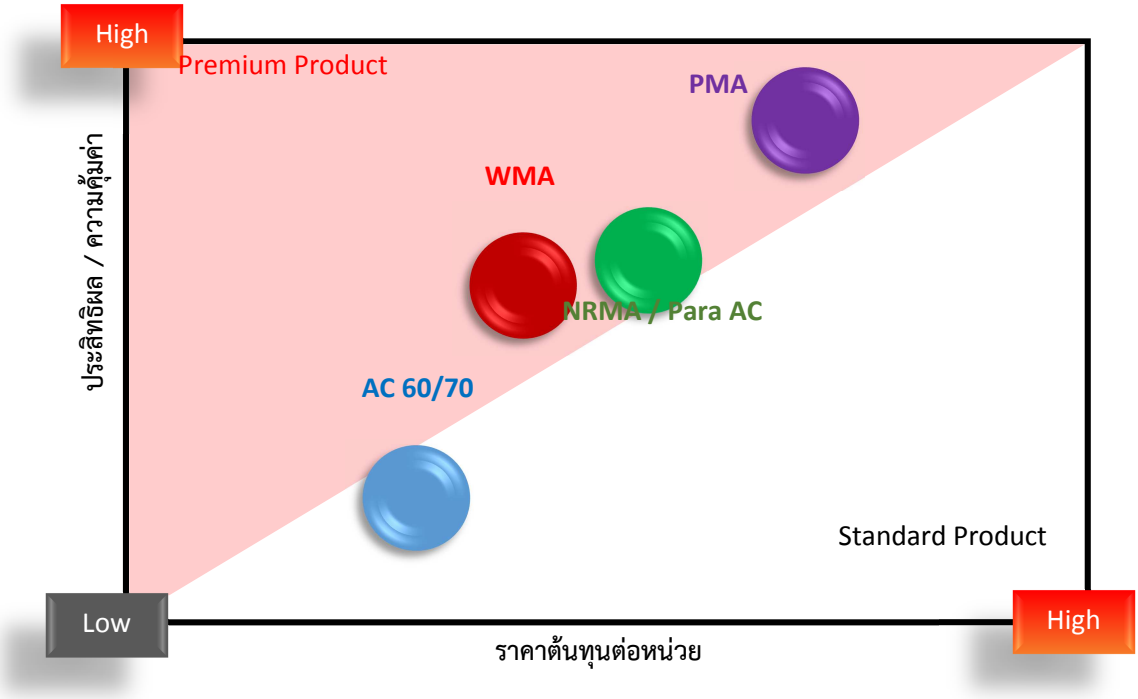
จากข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญทางด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยการรวบรวมและวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อให้ได้ผลสัมฤทธิ์ตรงตามวัตถุประสงค์การวิจัย นำมาสู่การรวบรวมผลคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด พบว่า ผิวทางโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต (Polymer Modified Asphalt Concrete) หรือ PMA เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านประโยชน์การใช้งานและในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากถึงแม้ว่าราคาต่อหน่วยค่อนข้างสูงกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดอื่นๆ แต่เมื่อเทียบกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมและประโยชน์การใช้งานถือว่ามีความคุ้มค่ามากที่สุด

การเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทใดนั้น นอกจากเหตุผลทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติด้านการนำไปใช้งาน และคุณสมบัติทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น การตอบสนองต่อนโยบายภาครัฐ ความต้องการของชุมชน การประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น



ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่างๆ ที่ได้ทำการวิจัย ทั้งทางด้านวิศวกรรมและราคาต้นทุนต่อหน่วย รวมถึงการรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญด้านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งภายในหน่วยงานกรมทางหลวงและหน่วยงานเอกชนรวมทั้งอาจารย์มหาวิทยาลัยต่างๆ นำมาสู่การเปรียบเทียบผลทางด้านวิศวกรรมกับความคุ้มค่าทางด้านประสิทธิผลและการลงทุน เพื่อเสนอแนะเป็นแนวทางการเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทางหลวง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้ชนิดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับโครงการก่อสร้างฯ มากที่สุด ผลจากการวิจัย พบว่าแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานทางหลวงจะต้องมองภาพรวมระหว่างประสิทธิผลและราคาต่อหน่วยของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อดูความสอดคล้องของข้อมูลระหว่างประสิทธิภาพกับราคาและความเหมาะสม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้กำหนดรูปแบบการนำเสนอเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดใดๆ ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานทางหลวง



รูปที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิผลกับราคาต้นทุนต่อหน่วย