

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ยางผสมเอซี เกรด 60-70 และยางแผ่นรมควัน  
โดยวิธีมาร์แชลล์

**MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALTIC CONCRETE MIX USING AC 60-70 AND  
RIBBED SMOKED SHEET BY MARSHALL METHOD**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALTIC CONCRETE MIX USING AC 60-70 AND  
RIBBED SMOKED SHEET BY MARSHALL METHOD**



**BY**

**MR. KITTIWAT**

**JARUANRUP**

**MR. SUWISAN**

**TUETHONG**

**MR. AKACHAI**

**ROJANACHEEWA**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

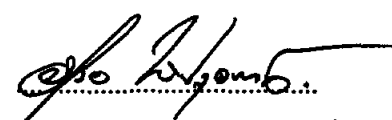
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ยางผสมเอซี  
เกรดเอซี 60-70 และยางแผ่นรมควัน โดยวิธีมาร์แชลล์  
MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALTIC CONCRETE MIX  
USING AC 60-70 AND RIBBED SMOKED SHEET BY MARSHALL  
METHOD

นักศึกษา	นายกิตติวัฒน์ เจริญรูป	รหัสประจำตัว	48015456
	นายสุวิศาล ถิ่นทอง	รหัสประจำตัว	48015500
	นายเอกชัย โรจนชีวะ	รหัสประจำตัว	48015509
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์		

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.อำนาจ	พานิชกุลพงศ์	
อ.ศิลป์ชัย	จามสุวรรณ	
ผศ.ดร.คมสัน	มาลีสี	
ผศ.ศักดิ์ชัย	สกลานพงษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

  
(รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ. ....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ยางผสมเอซีเกรดเอซี 60-70 และยางแผ่นรมควัน โดยวิธีมาร์แชลล์  
 MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALTIC CONCRETE MIX USING AC 60-70 AND RIBBED SMOKED SHEET BY MARSHALL METHOD

นักศึกษา นายกิตติวัฒน์ เจริญรูป  
 นายสุวิศาล ถือทอง  
 นายเอกชัย โรจนชีวะ  
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์  
 ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา  
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
 ปีการศึกษา 2550

**บทคัดย่อ**

ผิวทางลาดยางชนิดแอสฟัลต์ติกคอนกรีต นับว่ามีความสำคัญอย่างมากในการใช้ปูผิวจราจรในปัจจุบัน แต่ด้วยความที่ยังมีข้อด้อยในบางประการเช่น มีการเริ่มเมื่ออุณหภูมิสูง มีการแตกร้าวเมื่อมีการใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยเกินไป มีเสถียรภาพต่ำ จึงมีความพยายามที่จะนำยางพาราแผ่นรมควัน ที่มีลักษณะยืดหยุ่นตัวดี มีความเหนียว ทนความล้าได้ดี มาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60-70 เพื่อให้คุณสมบัติของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตดีขึ้น โดยงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทดลองนำยางแผ่นรมควันหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ด้วยเปอร์เซ็นต์ และ อุณหภูมิต่างๆกัน ซึ่งทำการปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ผงยางพาราที่ 2,4,6,8,10 และ ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 140,160,180 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังแปรเปลี่ยนเวลาในการผสมใช้ที่ 2,4,6 ชม. อีกด้วย ผลจากการทดลองพบว่า ปริมาณผงยางที่เหมาะสมแก่การใช้งานมากที่สุดคือ 6 % ใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาผสม 6 ชม. ซึ่งหลังจากได้ปริมาณยางแผ่นรมควันตามปริมาณที่เหมาะสมแล้วได้นำไปทดสอบค่าเสถียรภาพเปรียบเทียบระหว่างการใช้ผงยางพาราแผ่นรมควัน 6 % และใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ไม่มียางแผ่นรมควันพบว่า ค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้น 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title THE PROPERTIES OF ASPHALTIC CONCRETE MIX USING AC  
60-70 AND RIBBED SMOKED SHEET BY MARSHALL METHOD

Name MR. KITTIWAT JARUANRUB  
MR. SUWISAN TUETHONG  
MR. AKACHAI ROJANACHEEWA

Field CIVIL ENGINEERING

Department CIVIL ENGINEERING

Faculty ENGINEERING

Advisor ASST. AMNOUY PANITKULPONG

### ABSTRACT

Asphaltic concrete has a high level demand in paving the asphalt road surface. However there are still some problems associated with asphaltic concrete such as bleeding at high temperatures, cracking when not enough asphalt cement was used, and generally low stability. This study looked at the efficiency of mixing para – rubber smoked sheets that have high elasticity, good stickiness and the ability to withstand fatigue with grade 60/70 asphaltic concrete to improve its quality and correct these problems. Our project study by chopping up the para – rubber smoked sheets into small pieces and mixing with the Asphaltic concrete at various percents (2,4,6,8,10%) temperatures (140,160,180 °C), and times (4,6 hours). Our results indicated the most appropriate combination with the best results was a 6 % mixture at 180 °C at a mixing time of 6 hours . When compared to regular asphaltic concrete, mixing in para – rubber smoked sheets at these variable increased stability up to 10 %

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการพิเศษนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รศ.อานวย พานิชกุลพงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาอันดี ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนทำการตรวจสอบและแก้ไขโครงการพิเศษจนแล้วเสร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณรัฐการ ศิริวรรณ บ.กำแพงเพชรวิวัฒน์ก่อสร้าง จก. KP Joint Venture อย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำด้านการทำงาน อนุเคราะห์สนับสนุนยางแอสฟัลต์ และ วัสดุมวลรวมที่ใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณหน่วยงานต้นสังกัดของข้าพเจ้า ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท TIPCO ASPHALT PUBLIC COMPANY LIMITED ที่ได้ให้การสนับสนุนวัสดุยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอบคุณเพื่อนๆและเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ทุกคน ที่ช่วยแนะนำในการนำเสนอโครงการพิเศษชิ้นนี้จนสามารถทำงานได้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและผู้มีพระคุณที่สามารถกล่าวนามได้หมดที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอดจนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ผู้จัดทำโครงการพิเศษ

นาย กิตติวัฒน์ เจริญรูป  
นาย สุวิศาล ถือทอง  
นาย เอกชัย โรจนชีวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	ก
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
หน้าอำนวยการ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ฎ
สารบัญตาราง	ฏ
<b>1. บทนำ</b>	
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตโครงการวิจัย	3
1.5 วิธีการศึกษา	4
1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
<b>2. วรรณกรรมปริทัศน์</b>	
2.1 นิยามและความหมาย	7
2.2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	8
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.3.1 สัดส่วนในการผสมแอสฟัลต์กับมวลรวม	8
2.3.2 การทำให้แอสฟัลต์เหลว	8
2.3.3 แอสฟัลต์คอนกรีตแบบผสมร้อน	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
2.3.4 คุณสมบัติที่ต้องการในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต	9
2.3.5 คุณลักษณะของส่วนผสมและข้อกำหนดแอสฟัลต์คอนกรีต	12
2.3.6 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยางพาราแผ่นรมควัน	13
2.3.6.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง	13
2.3.6.2 การรักษาสภาพน้ำยาง	14
2.3.6.3 อุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยางสด	15
2.3.6.4 การผลิตยางแผ่นรมควัน	15
2.3.6.5 มาตรฐานยางแผ่นรมควัน	16
2.3.7 วิธีการออกแบบแอสฟัลต์	20
2.3.7.1 วิธี มาร์แชลล์	20
2.3.7.2 การออกแบบส่วนผสม	20
2.3.7.3 การเตรียมก้อนตัวอย่างและการทดสอบ	22
<b>3. แผนงานและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	
3.1 แผนงานการดำเนินการ	26
3.1.1 การศึกษาข้อมูลจำเป็นในการทำโครงการ	26
3.1.2 จัดเตรียมวัสดุในการทดลอง	26
3.1.3 ทำการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์ เกรด 60/70	26
3.1.4 ทำการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมด้วย ยางพาราแผ่นรมควัน	27
3.1.5 ทำการวิเคราะห์ผล ( ในช่วงแรก )	27
3.1.6 ทำการทดสอบมวลรวมที่จะใช้ผสม	27
3.1.7 ทำการทดสอบตัวอย่างที่มีการออกแบบส่วนผสมโดยเปรียบเทียบ ระหว่าง แอสฟัลต์ซีเมนต์ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมยางแผ่น รมควันด้วย วิธีมาร์แชลล์ (Marshall method)	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
3.1.8	28
3.1.9	28
3.2	
3.2.1	30
3.2.2	33
3.2.3	39
3.2.4	42
3.2.5	47
3.2.6	50
3.2.7	54
3.2.8	56
3.2.9	58
3.2.10	60
3.2.11	62
3.2.12	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
<b>4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์</b>	75
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	75
4.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	117
4.2.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรดAC 60/70	117
4.2.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรดAC 60/70 ที่ผสมยางแผ่นรมควัน	117
4.2.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบวัสดุผสมรวม	118
4.3 ผลการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตด้วยวิธี มาร์แชลล์ (Marshall method)	119
4.4 สรุปผลการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall method)	127
4.4.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยใช้ AC 60/70	127
4.4.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยใช้ PRMA	127
<b>5. การออกแบบและการประมาณราคา</b>	129
<b>6. สรุปผลการทดสอบ</b>	141
<b>บรรณานุกรม</b>	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	สภาพของผิวทางถนนที่เสียหายเนื่องจากการรับน้ำหนักที่เกินกำหนด	3
1.2	สภาพการแตกร้าวของผิวทางถนนประเภทแอสฟัลต์ติกคอนกรีต	3
2.1	การผลิตยางแผ่นรมควัน	16
3.1	แสดงขนาดของขวด Pycnometer	31
3.2	การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของแอสฟัลต์ซีเมนต์	32
3.3	แสดงขนาดของเข็มหาค่าการทะลวง	34
3.4	เครื่องทดสอบเพนิเตรชัน ( Penetration Apparatus )	35
3.5	การทดสอบหาค่าเพนิเตรชัน (Penetration)	37
3.6	แสดงรายละเอียดของแบบมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่าการยืดตัว ( Ductility )	39
3.7	การทดสอบหาค่าการยืดตัว ( Ductility )	41
3.8	อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาจุดอ่อนตัว ( Softening Point)	43
3.9	การทดสอบหาจุดอ่อนตัว ( Softening Point )	45
3.10	การทดลองจุดวาบไฟโดยใช้ถ้วยคลิฟแลนด์โอเพน ( Cleveland Open-Cup )	49
3.11	วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของ วัสดุมวลรวมหยาบ	51 - 52
3.12	หม้อผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลต์	65
3.13	แบบสำหรับบดทับ ( Compaction mold )	66
3.14	ค้อน ( Compaction hammer ) ที่ใช้ในการบดทับ	67
3.15	เครื่องดันตัวอย่าง ( Sample extruder )	67
3.16	แบบทดสอบ Stability ( Stability mold )	68
3.17	เครื่องทดสอบMarshall ( Marshall Testing Machine )	68
3.18	ขั้นตอนการทดสอบการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์	71 - 72
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน	105
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Penetration กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน	105
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ductility กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน	106
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Softening Point กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flash Point กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน	107
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Sieve Opening กับ Percent Finer	109
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flask + Water (g) กับ Temperature (C)	112
4.8	แสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ AC 60/70	122
4.9	แสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ PRMA	125



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ส่วนประกอบของน้ำยาง	13
2.2	มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 1	17
2.3	มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 2	17
2.4	มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 3	18
2.5	มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 4	19
2.6	มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 5	19
2.7	ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้	21
2.8	ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตของกรมทางหลวง	22
2.9	ค่าต่ำสุดของเปอร์เซ็นต์โพรงระหว่างมวลรวม	24
2.10	เกณฑ์กำหนดการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์	25
3.1	ค่าเฉลี่ยของค่าเพนิเตอร์ชัน	38
3.2	จำนวนลูกเหล็กทรงกลมที่ใช้ในการทดลองแต่ละเกรด	63
3.3	ขนาดเกรดและจำนวนรอบ	64
4.1	ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น ( Asphalt Cement Grade 60/70 )	75
4.2	ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง ( Asphalt Cement Grade 60/70 )	76
4.3	ผลการทดสอบหาค่าการขีดตัว ( Asphalt Cement Grade 60/70 )	77
4.4	ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว ( Asphalt Cement Grade 60/70 )	78
4.5	ผลการทดสอบหาค่าจุดวบน้ำและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยคลีฟแลนด์ไอเพน ( Asphalt Cement Grade 60/70 )	79
4.6	ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น ( PRMA 2 % )	80
4.7	ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง ( PRMA 2 % )	81
4.8	ผลการทดสอบหาค่าการขีดตัว ( PRMA 2 % )	82
4.9	ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว ( PRMA 2 % )	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.10	ผลการทดสอบหาจุดความไวและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยคลีฟแลนด์โอเพน (PRMA 2 %)	84
4.11	ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น (PRMA 4 %)	85
4.12	ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 4 %)	86
4.13	ผลการทดสอบหาค่าการบีบตัว (PRMA 4 %)	87
4.14	ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 4 %)	88
4.15	ผลการทดสอบหาจุดความไวและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยคลีฟแลนด์โอเพน (PRMA 4 %)	89
4.16	ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น (PRMA 6 %)	90
4.17	ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 6 %)	91
4.18	ผลการทดสอบหาค่าการบีบตัว (PRMA 6 %)	92
4.19	ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 6 %)	93
4.20	ผลการทดสอบหาจุดความไวและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยคลีฟแลนด์โอเพน (PRMA 6 %)	94
4.21	ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น (PRMA 8 %)	95
4.22	ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 8 %)	96
4.23	ผลการทดสอบหาค่าการบีบตัว (PRMA 8 %)	97
4.24	ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 8 %)	98
4.25	ผลการทดสอบหาจุดความไวและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยคลีฟแลนด์โอเพน (PRMA 8 %)	99
4.26	ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น (PRMA 10 %)	100
4.27	ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 10 %)	101
4.28	ผลการทดสอบหาค่าการบีบตัว (PRMA 10 %)	102
4.29	ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 10 %)	103
4.30	ผลการทดสอบหาจุดความไวและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยคลีฟแลนด์โอเพน (PRMA 10 %)	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.31	ผลการทดสอบการหาขนาดของเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง	108
4.32	ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ	110
4.33	ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด (ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200)	111
4.34	ผลการทดสอบค่าดัชนีความแบนของมวลรวมหยาบ	113
4.35	ผลการทดสอบค่าดัชนีความยาวของมวลรวมหยาบ	114
4.36	ผลการทดสอบความสึกหรอของมวลรวมหยาบแบบ Los Angeles Abrasion	115
4.37	ผลการทดสอบหาคูณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 60 – 70 ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน	116
4.38	(ก) ผลการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ AC 60/70	120
	(ข) ผลการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ AC 60/70	121
4.39	(ก) ผลการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ PRMA	123
	(ข) ผลการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ PRMA	124
4.40	ผลการทดสอบเปรียบเทียบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ AC 60/70 กับ PRMA. โดยวิธี มาร์แชลล์ (Marshall method)	126
4.41	ประมาณราคาโครงการก่อสร้างถนนสนับสนุนสนามบินสุวรรณภูมิ สายแยกทางหลวง 34 – ซอยอ่อนนุช	137
4.42	เปรียบเทียบราคาถนนที่ใช้ยาง AC 60/70 , PMA และ PRMA โดยเปรียบเทียบที่ ถนนสายแยกทางหลวง 34 – ซอยอ่อนนุช ระยะทาง 3400 เมตร	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 คำว่านำ

ทางหลวงมีบทบาทที่สำคัญยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ การมีระบบทางหลวงที่ดีและเพียงพอจะกระตุ้นให้เศรษฐกิจก้าวหน้าในอัตราที่สูงขึ้น นอกจากนี้ทางหลวงยังมีบทบาทสำคัญในด้านการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของชาติ “ทางหลวง” และ “งานทาง” ตามพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2535 ลงวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2535 มีความหมายดังนี้

ทางหลวง หมายความว่า ทาง หรือ ถนนซึ่งจัดไว้เพื่อประโยชน์ในการจราจรสาธารณะทางบกไม่ว่าในระดับพื้นดิน ใต้หรือเหนือพื้นดิน หรือใต้หรือเหนืออสังหาริมทรัพย์อย่างอื่น นอกจาก ทางรถไฟและให้ความหมายถึงที่ดิน พืชพันธุ์ไม้ทุกชนิด สะพาน ท่อหรือรางระบายน้ำ อุโมงค์ ร่องน้ำ กำแพงกันดิน เขื่อน รั้ว หลักสำรวจ หลักเขต หลักระยะ ป้ายจราจร เครื่องหมายจราจร เครื่องหมายสัญญาณ ที่จอด ที่พักคนโดยสาร เรือสำหรับขนส่งข้ามฟาก ท่าเรือสำหรับขึ้นหรือลงรถ และอาคารหรือสิ่งอื่นอันเป็นอุปกรณ์งานทาง เพื่อประโยชน์แก่งานทางนั้นด้วย

ประเทศไทยได้มีการสร้างทางหลวงตามลักษณะทางเกวียน หรือล้อเลื่อน มาตั้งแต่สมัยกรุงสุโขทัยเป็นราชธานี พระยาสิทธิเทพทรงสร้างถนนนอกเมืองขึ้นครั้งแรกชื่อ ถนนพระร่วง ลักษณะเป็นคันทางกว้าง 3 เมตร จาก จังหวัดกำแพงเพชร ถึง อำเภอสุวรรณคโลก ต่อมาในสมัยกรุงศรีอยุธยาเป็นราชธานีมีการใช้แม่น้ำลำคลองเป็นเส้นทางคมนาคม จึงไม่ปรากฏการสร้างทางหลวงในสมัยกรุงศรีอยุธยาและสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น

งานสร้างทางตามแบบชาวตะวันตกของประเทศไทย เริ่มขึ้นใน พ.ศ. 2414 เป็นการสร้างทางตามแบบมาตรฐานการใช้รถม้า โดยมอบให้เจ้าเมืองและสมุหเทศาภิบาลเป็นผู้ควบคุม ทางหลวงสายแรกของประเทศไทย คือ ทางหลวงสาย สงขลา – ไทรบุรี ยาวประมาณ 90 กิโลเมตร สร้างขึ้นในสมัยสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เพื่อรับเสด็จกลับจากประเทศอินเดียโดยประทับราชพาหนะจากไทรบุรี ถึงสงขลา ทางหลวงสายนี้เรียกว่า “ถนนราชดำเนิน หรือ ถนนรับเสด็จ”

## 1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Problem Identification)

การก่อสร้างถนนในประเทศไทยที่มีลักษณะผิวทางประเภทยึดหยุ่นนั้น ล้วนแล้วจะก่อสร้างผิวทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีตแบบวัสดุผสมร้อน โดยใช้วัสดุเชื่อมประสานชนิดแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ และสืบเนื่องจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วของการคมนาคมขนส่ง ทำให้ถนนประเภทแอสฟัลต์คอนกรีตในปัจจุบันเผชิญกับสภาพการใช้งานที่หนักมากขึ้น ทั้งในด้านของสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิจากอากาศและการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของปริมาณการจราจร รวมไปถึงน้ำหนักบรรทุกที่สูงมากขึ้นเกินกว่าข้อกำหนด ส่งผลให้เกิดปัญหาความเสียหายอย่างรวดเร็ว ในการแก้ไขและป้องกันความเสียหายดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกำหนดน้ำหนักบรรทุกของรถยนต์ เพื่อเป็นการลดแรงที่จะเกิดขึ้นกับถนน การรีดผิวทางเก่าและออกแบบก่อสร้างใหม่ให้รับน้ำหนักและปริมาณการจราจรที่เหมาะสมกับการออกแบบเสริมผิวทาง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างให้หนาพอที่จะรับน้ำหนักบรรทุกของการจราจร ได้เพื่อเป็นการลดปัญหาความเสียหายของผิวทางที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุง ความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างถนน ทั้งที่อาจจะไม่ใช่ต้นเหตุของปัญหาข้างต้นโดยตรง

การเสริมผิวทางเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างถนนหรือปรับผิวทางให้ผิวทางเรียบขึ้นเป็นแนวการแก้ไขปัญหาข้างต้นที่น่าสนใจและยอมรับได้ในระดับหนึ่ง เพราะการทำงานง่ายและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการที่จะทำการก่อสร้างใหม่ ในปัจจุบันการเสริมผิวทางเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างถนนโดยแอสฟัลต์คอนกรีตแบบผสมร้อน สามารถใช้ได้กับถนนที่มีความยึดหยุ่นอย่างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตและถนนคอนกรีตได้เป็นอย่างดี การออกแบบความหนาในการปูเสริมใช้เท่ากับความหนาของผิวทางจริงหรือไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตรหรืออาจจะมากกว่าแล้วแต่สภาพถนนนั้นๆ ถ้าผิวทางที่เสริมมีความแข็งแรงไม่พออีก เมื่อเวลาผ่านไปผิวทางที่รองรับการจราจรที่เพิ่มมากขึ้นก็ชำรุดเสียหายก่อนเวลาอันควรเหมือนเดิม อาจต้องมีการเสริมผิวทางทับลงไปใหม่อีก ซึ่งถนนหลายๆเส้นมีการปูเสริมผิวทางทับลงไปหลายครั้งไม่จบสิ้น

เพื่อเป็นการลดปัญหาความเสียหายของผิวทางที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุงความแข็งแรงของวัสดุสร้างทาง โดยมีการปรับปรุงสภาพของยางแอสฟัลต์ ด้วยสารที่มีคุณสมบัติที่จะเสริมข้อบกพร่องของยางแอสฟัลต์ เช่น สาร โพลีเมอร์ชนิดต่างๆ จำนวนมาก ผลจากการศึกษาการ โมดิฟายด์ ยางแอสฟัลต์ด้วยสาร โพลีเมอร์ชนิดต่าง ๆ นั้นส่วนมากสารโพลีเมอร์ สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์ให้มีความแข็งแรงสูงขึ้นและสามารถที่จะต้านทานความเสียหายที่จะเกิดปัญหาต่าง ๆ ได้ ดังนั้นยางพารา ก็เป็นโพลีเมอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งผลผลิตมีราคาที่ถูกต่ำ และนอกจากนี้ก็มีแนวคิดที่จะพยายามนำยางพารามาใช้ประโยชน์ในลักษณะอื่น ๆ ให้กว้างขวางมากขึ้น

จึงมีแนวคิดที่จะนำแผ่นยางพาราแผ่นรมควัน มาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เพื่อที่จะศึกษาคุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลต์ว่ามีคุณสมบัติที่แข็งแรงสูงขึ้น และสามารถต้านทานความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดขึ้นได้หรือไม่ รวมไปถึงผลที่ได้จากการวิจัยในโครงการนี้ วิศวกรที่มีความสนใจการแก้ไขปัญหาถนนที่ลาดด้วยแอสฟัลต์สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตต่อไป



รูปที่ 1.1 สภาพของผิวทางถนนที่เสียหายเนื่องจากการรับน้ำหนักที่เกินกำหนด



รูปที่ 1.2 สภาพการแตกร้าวของผิวทางถนนประเภทแอสฟัลต์ดิกคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) ศึกษาคุณสมบัติของยางพาราแผ่นรมควัน (ชั้น 3)
- 2) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของยางพาราแผ่นรมควัน ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์
- 3) เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ผสมกับยางพาราแผ่นรมควัน
- 4) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราแผ่นรมควัน
- 5) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ยางผสมเอชซี เกรด 60-70 และยางพาราแผ่นรมควัน ที่มีวัสดุมวลรวมผสมโดยใช้หินปูน (Lime stone) เป็นมวลรวมหยาบ
- 6) เพื่อเป็นแนวทางในการทดลอง และใช้เป็นข้อมูลในการทำงานจริงต่อไป

### 1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน
- 1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านคุณภาพของผิวทาง โดยใช้การทดสอบด้วยวิธีของมาร์แชลล์ (Marshall Method)
  - 1) ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะรวม ( Specific Gravity )
  - 2) เสถียรภาพและการไหล ( Stability and Flow )
  - 3) ความหนาแน่นและโพรง ( Unit Weight and Void )
  - 4) ดัชนีความแข็งทั้งนี้ยึดถือวัสดุมวลรวมชนิด (Open Grade)
- 1.4.3 ศึกษาคุณสมบัติทางคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 วิธีการศึกษา

1.5.1 ทำการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์เกรด 60/70 โดยวิธีทดสอบดังนี้

- 1) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ( Specific Gravity Test)
- 2) การทดสอบหาค่าการยืดตัว ( Ductility Test)
- 3) การทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)
- 4) การทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration Test)
- 5) การทดสอบหาค่าจุดวาบไฟ (Flash Point Test)

1.5.2 ทำการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน โดยการทดสอบดังนี้

- 1) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ( Specific Gravity Test)
- 2) การทดสอบหาค่าการยืดตัว ( Ductility Test )
- 3) การทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)
- 4) การทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration Test)
- 5) การทดสอบหาค่าจุดวาบไฟ (Flash Point Test)

1.5.3 ทำการทดสอบมวลรวมที่จะใช้ผสม ซึ่งมีการทดสอบดังนี้

- 1) ขนาดคละของมวลรวม ( Gradation Test)
- 2) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Test)
- 3) การทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index Test)
- 4) การทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index Test)
- 5) การทดสอบหาค่าความสึกหรอ (Los Angeles Abrasion Test)

1.5.4 ทำการทดสอบตัวอย่างที่มีการออกแบบส่วนผสมโดยเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตกับแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน ด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall method) โดยมีการทดสอบดังนี้

- 1) ค่าความถ่วงจำเพาะรวม ( Specific Gravity)
- 2) ค่าเสถียรภาพ ( Stability )
- 3) ค่าการไหล ( Flow )
- 4) เปอร์เซ็นต์โพรงระหว่างมวลรวม ( Percent voids in mineral aggregate)
- 5) เปอร์เซ็นต์โพรงที่ถูกแทนด้วยแอสฟัลต์ ( Percent voids filled with asphalt)

1.5.5 ทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อทราบถึงคุณภาพของยางแอสฟัลต์ เกรด 60-70 ที่ใช้ในการทำผิวทางแอสฟัลต์ซีเมนต์ในประเทศไทย
- 2) ได้ทราบถึงการปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน
- 3) ได้ทราบถึงเปอร์เซ็นต์ของยางพาราแผ่นรมควันที่เหมาะสมในการนำมาใช้ปรับปรุง คุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์
- 4) เพื่อทราบถึงค่าการรับกำลังของผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต เกรด60-70 เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ติกคอนกรีต เกรด60-70 ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน โดยวิธีมาร์แชลล์
- 5) เพื่อปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ติกคอนกรีตให้มีการรับปริมาณการจราจรที่เหมาะสม และเพิ่มอายุการใช้งานให้นานขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1 นิยามและความหมาย

#### “แอสฟัลต์”

แอสฟัลต์เป็นส่วนประกอบของปิโตรเลียมส่วนมากปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้กลั่น (Crude - Petroleum) จะมีแอสฟัลต์บรรจุอยู่และบางครั้งน้ำมันดิบ (Crude oil) อาจจะเป็นแอสฟัลต์เกือบทั้งหมดและน้ำมันดิบบางชนิด ไม่มีแอสฟัลต์อยู่ขบวนการกลั่นน้ำมันจะกลั่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่เหลือเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมัน คือ แอสฟัลต์

แอสฟัลต์เป็นวัสดุประสาน ( Binder ) สีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีสภาพกึ่งแข็งถึงแข็งที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติสามารถยึดเกาะมวลรวมได้ดีจึงนำมาใช้ในงานก่อสร้างผิวทางหลายชนิด แอสฟัลต์มีสารประกอบส่วนใหญ่ คือ บิทูเมน ( Bitumen ) ชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วัสดุบิทูมินัส ( Bituminous Material ) บิทูเมนมีคุณสมบัติที่สามารถละลายได้หมดใน คาร์บอนไดซัลไฟด์ (  $CS_2$  ) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (  $CCl_4$  ) และ ไตรคลอโรเอทิลีน (  $C_2HCl_3$  )

#### “แอสฟัลต์ซีเมนต์”

แอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นแอสฟัลต์ที่มีสภาพแข็งหรือกึ่งแข็งในอุณหภูมิบรรยากาศจะค่อยๆ เหลวเมื่อได้รับความร้อนมีส่วนประกอบใหญ่เป็นสารบิทูเมน ( Bitumen or Asphaltenes ) เรซิน ( Resins ) และน้ำมัน ( Oils ) ซึ่งส่วนประกอบทั้งสามชนิดเป็นสารไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด แต่มีส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนต่างกัน คือ มากกว่า 0.8 ระหว่าง 0.6 ถึง 0.8 และน้อยกว่า 0.4 ตามลำดับ

ในโครงสร้างของแอสฟัลต์บิทูเมนจะอยู่ในลักษณะของสารแขวนลอย ( Colloid ) อยู่ในน้ำมันซึ่งเป็นตัวกลาง ( Media ) โดยมีเรซินเป็นตัวช่วยไม่ให้บิทูเมนจับตัวกันเป็นก้อน คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ทางการยึดเกาะ ( Adhesion ) และการยืดตัว ( Ductility ) จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเรซิน ส่วนความหนืด ( Viscosity ) และการไหล ( Flow ) จะขึ้นอยู่กับน้ำมัน

แอสฟัลต์ซีเมนต์แบ่งเกรดตามช่วงมาตรฐานของความข้นเหลว โดยใช้การทดสอบการทะลวง ( Penetration Test ) เป็นมาตรฐานของการวัด แบ่งออกเป็นเกรดมาตรฐาน 5 เกรดดังนี้ 40-50, 60-70, 80-100, 120-150 และ 200-300 ตัวเลขของเกรดบ่งบอกถึงช่วงของอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกรดความหนืด (Viscosity Grades) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์มีอยู่ 2 ชุด ชุดที่หนึ่งประกอบด้วย AC-2.5 AC-10 AC-20 และ AC-40 ค่าตัวเลขบอกถึงความหนืดเป็นร้อยของพอยส์ (Dynes/cm<sup>2</sup>) ที่อุณหภูมิ 60°C อีกชุดหนึ่งประกอบด้วยเกรด AR-1000 AR-2000 AR-8000 และ AR-16000 ตัวเลขบอกถึงค่าความหนืดในหน่วยพอยส์แต่เป็นความหนืดที่วัดหลังจากผ่านการทดสอบโรลลิงรีนฟิล์มโอเวน

## 2.2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1) นาย นิคม ขันทะพงษ์, นาย พัฒนบุษย์ คณะเทศ และ นาย สราวุธ บุญญวงษ์ การศึกษาคุณสมบัติส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ โมดิฟายด์แอสฟัลต์ โดยวิธิมาร์แชลล์ ปีการศึกษา 2549

2) คิเรก ลาวัณย์ศิริ, นราชัย ตันติวรวิทย์ และ ชยธันว์ พรหมศร ลักษณะสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา กับที่ใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางธรรมชาติเป็นสารผสมเพิ่ม

3) สุนนรินทร์ เพชรรัตน์, ศักดิ์ กองสุวรรณ, พชร ชูครวงค์, จตุรงค์ อมรัตน์, นีรัตน์ พุ่มศรี และ พงษ์ศักดิ์ ศิริยศ การศึกษาความเหมาะสมในการใช้ยางพาราแผ่นรมควันปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

## 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.3.1 อัตราส่วนในการผสมแอสฟัลต์กับมวลรวม

จุดประสงค์ในการออกแบบวัสดุผสมของแอสฟัลต์กับมวลรวม ก็เพื่อหาอัตราส่วนที่แน่นอนระหว่างแอสฟัลต์ต่อมวลรวมให้ได้วัสดุผสมที่มีเสถียรภาพเพียงพอ และความคงทนสูงสุด การใช้สัดส่วนอย่างถูกต้องของแอสฟัลต์กับมวลรวม และการควบคุมส่วนคละ ( Gradation ) ของมวลรวมเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการก่อสร้างเพื่อให้ได้โครงสร้างถนนที่ดีถ้าใช้ปริมาณของแอสฟัลต์มากเกินไป จะมีผลให้โครงสร้างถนนขาดเสถียรภาพ ถ้าใช้แอสฟัลต์ปริมาณน้อยเกินไป โครงสร้างถนนจะมีแนวโน้มที่จะหลุดร่อนได้ง่าย ทั้งยังขาดคุณสมบัติในการกันน้ำ และขาดความคงทน

### 2.3.2 การทำให้แอสฟัลต์เหลว

การที่จะนำแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพแข็งหรือกึ่งแข็งมาใช้งานจะต้องทำให้อยู่ในสภาพเหลวชั่วคราวเสียก่อน ทำได้ 3 วิธี คือ

1) หลอมด้วยความร้อน (Melting) ทำได้โดยการต้มแอสฟัลต์ซีเมนต์ในอุณหภูมิที่กำหนดเมื่อเสร็จงานแล้วอุณหภูมิจะลดลงแอสฟัลต์ที่เหลวอยู่จะกลับคืนสู่สภาพปกติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ละลายในปิโตรเลียม การจะทำให้แอสฟัลต์เหลวโดยกรรมวิธีนี้เรียกว่า คัททิงแบก เรียกแอสฟัลต์ชนิดนี้ว่า คัทแบกแอสฟัลต์ ( cutback asphalt ) หรือเรียกทั่วไปว่า คัทแบก เมื่อนำแอสฟัลต์ชนิดนี้ไปลาดเสร็จเรียบร้อยแล้วตัวทำละลายจะระเหยออกไปเหลือแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์

3) ผสมกับน้ำ ปกติแอสฟัลต์ซึ่งเป็นสารที่ได้จากปิโตรเลียม จะไม่ผสมหรือรวมตัวกันกับน้ำ แต่ถ้าทำการปั่นและเติมสารซึ่งทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ ( Emulsifying-Agent ) ซึ่งสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ เรียกแอสฟัลต์ชนิดนี้ว่า อิมัลซิไฟด์แอสฟัลต์ ( Emulsified-Asphalt ) หรือเรียกทั่วไปว่า อิมัลชัน หรือ ยางน้ำ

### 2.3.3 แอสฟัลต์คอนกรีตแบบผสมร้อน

วัสดุลาดยางผสมร้อน ประกอบด้วยการรวมของมวลรวมอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งผสมและเคลือบด้วยยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทั้งมวลรวมและแอสฟัลต์ต้องได้รับความร้อนก่อนการผสมเพื่อให้มวลรวมแห้งและแอสฟัลต์เหลวเพียงพอสำหรับการผสม และการทำงานได้อย่างเหมาะสมที่อุณหภูมิสูง  $325^{\circ} \text{F} + 15^{\circ} \text{F}$  จึงเรียกว่า การผสมร้อน

การผสมมวลรวมกับแอสฟัลต์กระทำในเครื่องผสม ซึ่งองค์ประกอบของวัสดุจะได้รับความร้อน การจัดสัดส่วนและการผสม เพื่อผลิตวัสดุผสมของผิวทางลาดยางที่ต้องการ หลังจากเสร็จสิ้นการผสมก็ขนส่งวัสดุผสมร้อนไปยังที่ก่อสร้าง และปูลาดด้วยเครื่องจักร จากนั้นก็บดอัดให้แน่นตามมาตรฐานที่กำหนด ผิวทางประเภทนี้เรียกว่า ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

### 2.3.4 คุณสมบัติที่ต้องการในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

1) เสถียรภาพ( Stability ) เสถียรภาพของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อ เป็นคลื่น หรือการเปลี่ยนรูปร่าง( Deformation ) จากน้ำหนักบรรทุกที่มากกระทำ เสถียรภาพของผิวทางขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน ( Internal Friction ) และแรงยึดเกาะ ( Cohesion ) ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์ ความเสียดทานภายในขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ซึ่งได้แก่รูปร่างของเม็ดวัสดุ ลักษณะความเรียบ หยาบหรือขรุขระของผิว ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ แอสฟัลต์ช่วยให้อนุภาคของมวลรวมสัมผัสกันอย่างแน่น ผลของความเสียดทานและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อถูกน้ำหนักรถยนต์กระทำ

มวลรวมที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูง ส่วนแรงยึดเกาะจะมีมากถ้าแอสฟัลต์มีความหนืดสูง หรือในขณะที่แอสฟัลต์มีอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น แต่พอถึงจุดหนึ่งจะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมหนาเกินไป ซึ่งจะมีผลทำให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมลดลง ทำให้เสถียรภาพลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความคงทน ( Durability ) คือ ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพของแอสฟัลต์อันเป็นสาเหตุของการแตกร้าวของผิวทางภายใต้น้ำหนักจากการจราจร ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพอาจเป็นผลมาจากสภาพภูมิอากาศ สภาพการจราจร ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้แอสฟัลต์ที่ใช้เสื่อมสภาพ เนื่องจากขบวนการกลายเป็นออกไซด์ ( Oxidation ) การระเหยกลายเป็นไอ ( Volatilization ) วัสดุมวลรวมเสื่อมสภาพจนเกิดการแตกกระจาย ( Disintegration ) และฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมหลุดออก ( Stripping ) การกระทำของน้ำก็มีผลต่อความคงทนของถนน ถ้าในช่องว่างของชั้นโครงสร้างแอสฟัลต์คอนกรีต มีปริมาณน้ำมากจะทำให้สามารถเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของแอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดของวัสดุมวลรวมอยู่ จะมีผลทำให้เกิดการหลุดออกของแอสฟัลต์ เมื่อน้ำหนักอันเนื่องมาจากการจราจรกระทำ นอกจากนี้เมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ไปบนถนนด้วยความเร็วสูงจะทำให้เกิดแรงเค้นแตกต่างกันในแต่ละเม็ดวัสดุมวลรวม และถ้าแอสฟัลต์แข็งเกินไปก็จะทำให้เกิดรอยแตกและเม็ดวัสดุมวลรวมก็จะหลุดล่อนออกได้ ในอีกกรณีหนึ่งน้ำหนักเนื่องจากแรงกดทับของล้อรถลงบนผิวถนน จะทำให้เกิดการโค้งงอและเกิดแรงเค้นดึงในส่วนของชั้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดรอยแตกขึ้นได้ แต่ถ้าแอสฟัลต์อ่อนเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีเสถียรภาพค่อนข้างต่ำไม่สามารถรับน้ำหนักได้ดี ทำให้เกิดรอยร่องล้อและผิวทางลื่น เนื่องจากเม็ดหินจมลงไปใ้เนื้อยางได้เร็วเกินไป

3) ความสามารถในการหยุ่นตัวได้ ( Flexibility ) หมายถึง ความสามารถทรุดตัวและแอ่นตัวของโครงสร้างถนนชั้นผิวทาง โดยปราศจากการแตกร้าว การหยุ่นตัวในแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักการจราจรที่เคลื่อนไปตามถนน ผิวทางที่ถูกกดชั่วขณะหนึ่งภายใต้น้ำหนักแต่ละล้อชั้นผิวทางจะเกิดแรงอัดและแรงดึงซ้ำๆ สลับกันไปทั้งด้านบนและด้านล่างของชั้นนี้ ความเค้นดึงจะเกิดที่ด้านล่างมากกว่าที่จะเกิดด้านบน ดังนั้นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ดีจะต้องมีความสามารถในการหยุ่นตัวได้สูงซึ่งเมื่อเกิดการแอ่นตัวแล้วจะไม่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสียรูปร่างอย่างถาวร เพราะฉะนั้นความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแอสฟัลต์ และอุณหภูมิภายนอกในขณะที่เกิดความเค้น

ในการออกแบบโครงสร้างชั้นต่างๆ จะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบที่สำคัญ คือ การแอ่นตัวของชั้นดินเดิมภายใต้น้ำหนักบรรทุก เมื่อแอสฟัลต์คอนกรีตมีความแข็งแรงลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้ชั้นดินเดิมแอ่นตัวได้มาก และความเค้นดึง ภายใต้น้ำหนักล้อรถความเค้นดึงจะเกิดขึ้นที่ด้านล่างของชั้นผิวทางมากที่สุด ในขณะที่ผิวทางมีสภาพแข็งที่สุด เมื่ออุณหภูมิต่ำ ถ้าชั้นโครงสร้างถนนไม่แข็งแรงพอ อาจทำให้ชั้นทางเกิดการแอ่นตัวสูง และถ้าแอสฟัลต์คอนกรีตอยู่ในสภาพแข็งเปราะขณะอุณหภูมิต่ำ จะทำให้ผิวทางเกิดการแตกร้าวภายหลังที่รับปริมาณการจราจรเพียงเล็กน้อย

โดยทั่วไปส่วนผสมที่มีเสถียรภาพสูง และปริมาณแอสฟัลต์สูงจะเป็นส่วนผสมที่มีความต้านทานต่อการเสียหายที่สูงมาก มวลรวมคละที่มีหินหยาบชนิด Open Graded จะทำให้ส่วนผสมที่มีช่องว่างสูงทำให้ต้องใช้แอสฟัลต์ในปริมาณที่สูง เพื่อลคช่องว่างภายในลงได้ และจะสามารถแอ่นตัวได้ดีกว่าชนิด Dense Graded

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความต้านทานต่อการล้า ( Fatigue Resistance ) คือความสามารถในการต้านทาน การตัดโค้งแบบซ้ำซาก ( Repeated Bending ) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักล้อกระทำ ปริมาณช่องว่างอากาศ และความหนืดของแอสฟัลต์มีผลความต้านทานต่อการล้า กล่าวคือ แอสฟัลต์ คอนกรีตที่มีปริมาณช่องว่างอากาศมากไม่ว่าจะเป็นผลจากการออกแบบ หรือจากการบดอัดไม่เพียงพอ จะ ทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ความหนาและความแข็งแรงของชั้นผิวทาง ตลอดจน ความแข็งแรงชั้น โครงสร้างที่รองรับผิวทางก็จะมีผลต่ออายุและความสามารถในการรับน้ำหนักของผิวทาง โดย ไม่เกิดรอยแตก กล่าวคือ ผิวทางที่หนารวมทั้งชั้น โครงสร้างที่รองรับผิวทางแข็งแรง จะทำให้ไม่เกิดการ แอ่นตัวมาก จึงมีอายุรับน้ำหนักล้อซึ่งกระทำซ้ำได้นานกว่า

5) ความต้านทานต่อการลื่นไถล ( Skid Resistance ) ความต้านทานต่อการลื่นไถลของผิว ถนนขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวถนน ซึ่งมีความสามารถระบายน้ำออกไปได้อย่างรวดเร็วเพียงพอที่จะให้ยาง ล้อรถสามารถสัมผัสกับส่วนของเม็ดวัสดุรวมบนผิวถนน ความสามารถในการต้านทานต่อการลื่นไถลจะ เสียไปเมื่อแอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวถนน และเมื่อเม็ดวัสดุรวมจมลงไปบนแอสฟัลต์หรือเมื่อวัสดุ รวมถูกขัดสีจนเรียบ แอสฟัลต์ที่มีความแข็งต่ำจะมีผลทำให้เกิดการทะลักหรือไหลซึมขึ้นด้านบนได้ เมื่ออุณหภูมิในผิวทางสูงอุณหภูมิจะทำให้ผิวทางลื่นไถลได้

6) ความสามารถในการทำงานได้ ( Workability ) คือความง่ายในการเทและบดทับวัสดุ ผสมจากการออกแบบที่เหมาะสม และใช้เครื่องจักรที่สมควรในการปูลาด ก็จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ ความสามารถในการทำงานได้ มวลรวมซึ่งมีคุณสมบัติช่วยส่งเสริมให้วัสดุผสมมีเสถียรภาพดี จะทำให้เท และบดอัดวัสดุผสมยากขึ้น สามารถปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นได้โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนผสม เปลี่ยนแปลง แหล่งวัสดุรวมและหรือเปลี่ยนแปลงการจัดการเรียงขนาด

ส่วนผสมที่ทำงานได้ยากคือส่วนผสมที่มีปริมาณมวลรวมหยาบมาก มีแนวโน้มที่จะเกิด การแยกตัวของเม็ดวัสดุรวมในระหว่างการขนส่งและการปูและอาจบดอัดได้ยาก รวมถึงความสะดวก ในการทดลองผสมในห้องทดลอง ถ้าการเตรียมตัวอย่างไม่ดีพอ จะทำให้ได้ตัวอย่างที่มีคุณสมบัติไม่ แน่นอน

ปริมาณฝุ่นละอองที่มีสูงมากเกินไป ก็อาจมีผลกระทบต่อความสามารถในการ ทำงานได้ ปริมาณฝุ่นละอองที่สูงมากเกินไปอาจทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นกาวยางทำให้บดอัด ได้ยาก ส่วนผสมที่ขาดฝุ่นละอองแต่มีทรายขนาดกลางที่มีลักษณะกลมและมีผิวเรียบในอัตราส่วนที่สูง มาก แม้ว่าจะสามารถทำการปูได้ง่าย แต่การบดอัดจะมีความแน่นต่ำและบดอัดให้ความแน่นยาก

ชนิดของแอสฟัลต์อาจมีปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการทำงานได้ เนื่องจากอุณหภูมิและ ความหนืดในขณะผสม การบดอัดที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความสามารถ ในการทำงาน ได้ไม่ดี แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเป็นวัสดุผสมที่มีลักษณะอ่อนเหลวเกินไป ชนิดและปริมาณของแอสฟัลต์จึงมีอิทธิพลต่อความสามารถในการทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.5 คุณลักษณะของส่วนผสมและข้อกำหนดแอสฟัลต์คอนกรีต

การออกแบบโครงสร้างของถนนชั้นผิวทางที่เป็นแอสฟัลต์คอนกรีต ตามวิธีของ มาร์แชลล์มีมาตรฐานและข้อกำหนดดังนี้

1) ความหนาแน่น ( Density ) หมายถึงปริมาณมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความแน่นมากพอจะทำให้มีอายุการใช้งานยืนยาวและมีคุณภาพดี ความแน่นเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องมีการควบคุมภายหลังการก่อสร้าง เพราะว่าผิวถนนที่บดอัดเสร็จแล้วจะต้องมีความแน่นสูงมากพอที่จะรับปริมาณการจราจร ในการทดลองออกแบบส่วนผสมและวิเคราะห์ความแน่นของตัวอย่างที่บดอัดโดยทั่วๆ ไป มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หรือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความแน่นที่ทดลองได้ในห้องปฏิบัติการทดลองจะนำมาเป็นค่ามาตรฐานสำหรับความแน่นที่บดอัดในสนาม โดยจะคิดเป็นร้อยละของความแน่นที่บดอัดได้ในห้องทดลอง

2) ช่องว่างอากาศ ( Air Voids ) แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยเม็ดวัสดุรวมซึ่งถูกเคลือบด้วยฟิล์มของแอสฟัลต์ ระหว่างเม็ดวัสดุรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์เหล่านี้จะมีช่องว่างเล็กๆ เรียกว่า ช่องว่างอากาศ ( Air Voids ) ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีความหนาแน่นของช่องว่างอากาศที่เพียงพอแต่ไม่มากเกินไป เนื่องจากเมื่อเปิดการจราจรแล้ว รถที่แล่นบนผิวทางจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแน่นขึ้นจากเดิม ทำให้ปริมาตรช่องว่างอากาศลดลง ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศขณะก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ มีไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวดิน เกิด Bleeding นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับยางที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนด้วย

ปริมาตรช่องว่างอากาศมีผลต่อความคงทน ( Durability ) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ปริมาตรช่องว่างอากาศยิ่งน้อยเท่าใด น้ำและอากาศจะซึมผ่านเข้าไปทำลายแอสฟัลต์และการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้ยากเท่านั้น จะทำให้ผิวทางมีอายุยืนยาว

ความแน่นและปริมาตรช่องว่างอากาศ มีความสัมพันธ์กันโดยตรง กล่าวคือ ความแน่นยิ่งมาก ปริมาตรช่องว่างอากาศจะยิ่งน้อยและเป็นจริงในทางกลับกัน การกำหนดค่าความแน่นต่ำสุดของผิวทาง จะต้องคำนึงถึงปริมาตรช่องว่างอากาศด้วย โดยปกติผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดเสร็จใหม่ๆ มักจะกำหนดค่าความแน่นต่ำสุดซึ่งทำให้ปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยกว่าร้อยละ 8

3) ช่องว่างระหว่างมวลรวม ( Voids in Mineral Aggregate หรือ VMA ) คือ ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดวัสดุรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ( Voids Filled with Bitumen หรือ VFB ) ด้วย

โดยที่ VMA คือ ปริมาตรช่องว่างสำหรับรับปริมาตรของแอสฟัลต์ประสิทธิผล ( Effective Asphalt ซึ่งหมายถึงปริมาณแอสฟัลต์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปผสม หักด้วยปริมาณแอสฟัลต์ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเม็ดของวัสดุรวม ) ปริมาตรช่องว่างที่เหลือจากการแทนที่ของแอสฟัลต์ประสิทธิผลคือ ปริมาตรช่องว่างอากาศ ดังนั้นถ้าหากออกแบบส่วนผสมให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาตรช่องว่างเท่ากันแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่า จะมีความคงทนต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า ซึ่งอธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงว่าการที่วัสดุรวมรวมมีค่า VMA สูง บ่งชี้หมายถึง ปริมาตรช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์มาก ทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิววัสดุรวมรวมหนา ซึ่งทำให้ แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทนอายุการใช้งานยืนยาว -

4) ค่าการไหล (Flow) มาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.ม. – 408/2532 ค่าการไหลมีหน่วย เป็น (0.01 นิ้ว) จะมีค่าระหว่าง 8-16

5) ปริมาณแอสฟัลต์ ( Asphalt Content ) เนื่องจากปริมาณแอสฟัลต์ที่ใส่ลงไปผสมใน แอสฟัลต์คอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องทดลองหรือที่โรงงานผสม ( Mixing Plant ) ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ วัสดุรวมรวม ได้แก่ขนาดคละ และคุณสมบัติในการดูดซึมแอสฟัลต์ วัสดุรวมรวมซึ่งมีขนาดคละที่ ประกอบด้วยเม็ดขนาดใหญ่มากกว่า เหตุผลก็คือวัสดุรวมรวมเม็ดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่าวัสดุรวมรวมเม็ด ใหญ่ (ถ้าปริมาตรเท่ากัน ) จึงต้องใช้แอสฟัลต์มากกว่าเพื่อเคลือบผิวเม็ดวัสดุรวมรวม

### 2.3.6 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยางพาราแผ่นรมควัน

#### 2.3.6.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม โดยมีอนุภาคยาง แขนงลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าเซรัม (Serum) อนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05 - 5 ไมครอน ความหนาแน่น 0.975 - 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรด - ด่างประมาณ 6.5 - 7.0 มีส่วนประกอบดังนี้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content , DRC)	33
สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	1 - 1.5
สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1
เถ้า	0 - 1
น้ำ	~ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีนโดยแต่ละอนุภาคมีอนุโมลตบของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลให้น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาคหรือมีการสะเทินอนุโมลตบ จะทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลาง เกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน

### 2.3.6.2 การรักษาสภาพน้ำยาง

เมื่อได้น้ำยางสดจากต้นหากไม่มีการรักษาสภาพน้ำยางจุลินทรีย์ในอากาศจะลงปะปนในน้ำยางและใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหาร ทำให้เกิดความเป็นกรด นั่นคือมีอนุโมลตบวกเกิดขึ้นและเกิดปฏิกิริยาสะเทินกับอนุโมลตบรอบ ๆ ผิวอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางเสียสภาพก่อนจะนำไปแปรรูป ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางโดยการเติมสารเคมี

สารเคมีรักษาสภาพของน้ำยางแต่ละชนิด จะมีประสิทธิภาพการใช้งาน แตกต่างกันไป การเลือกชนิดของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการรักษา น้ำยางสดเพื่อจะนำไปแปรรูปเป็นยางดิบชนิดใด หรือต้องการรักษา น้ำยางขึ้นเพื่อให้มีอายุและการใช้งานอย่างไร ซึ่งสามารถจัดแบ่งสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 3 พวกคือ

สารเคมีรักษา น้ำยางสดเพื่อทำเป็นยางแห้ง ซึ่งยังแบ่งได้เป็น 2 พวกคือ

1) เพื่อทำยางแผ่น ยางเครพขาว โดยปกติในการทำยางแผ่นนั้น ถ้าเป็นสวนยางขนาดเล็กไม่มีความจำเป็นต้องเก็บรักษา น้ำยางก่อนทำแผ่น เพราะจะนำยางสดไปเข้าขบวนการทำแผ่นยาง ได้ทันทีหลังจากกรีด แต่สำหรับสวนยางขนาดใหญ่ ต้องใช้เวลารวบรวมน้ำยาง เพื่อเข้าขบวนการพร้อม ๆ กัน จึงต้องใช้สารเคมีเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง ซึ่งสารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางสดก่อนที่จะทำแผ่น ได้แก่ แอมโมเนีย (ammonia) โซเดียมซัลไฟต์ (sodiumsulphite) ฟอรัมาลดีไฮด์ (formaldehyde) โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ (sodium metabisulphite) โดยใช้

แอมโมเนียปริมาณ 0.01 - 0.05 % ต่อน้ำหนักน้ำยาง เพื่อรักษา น้ำยางสดไว้ 3 - 10 ชั่วโมง 0.15% ต่อน้ำหนักน้ำยาง เพื่อรักษา น้ำยางสดไว้ 1-2 วัน

ฟอรัมาลดีไฮด์เจือจาง (1% ปริมาตร/ปริมาตร) ปริมาณ 0.05% ต่อน้ำหนักยางเพื่อรักษา น้ำยางสดไว้ 2-4 วัน

โซเดียมซัลไฟต์ ปริมาณ 0.05-0.08% ต่อน้ำหนักยาง เพื่อรักษา น้ำยางสดไว้ 12-14 ชั่วโมง ปริมาณ 0.1% ต่อน้ำหนักยาง เพื่อรักษา น้ำยางสดไว้ 24 ชั่วโมง

โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ (1%) ปริมาณ 0.1-0.5% ต่อน้ำหนักยาง เพื่อรักษา น้ำยางสดไว้ 24 ชั่วโมง

2) เพื่อทำยางแห้ง STR 5L โดยการใช้แอมโมเนีย หรือ โซเดียมซัลไฟต์ 0.05 % ต่อน้ำหนักยาง ซึ่งจะรักษา น้ำยาง ได้นาน 4 ชั่วโมง หรืออาจใช้ฟอรัมาลดีไฮด์ 0.05 % ต่อน้ำหนักน้ำยาง แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอร์มาลดีไฮด์จะให้สียางค่อนข้างเข้มกว่าสารเคมี 2 ชนิดแรก และอาจใช้แอมโมเนียร่วมกับกรดบอริก โดยใช้แอมโมเนีย 0.03 % และกรดบอริก 0.05% ค่อน้ำหนักน้ำยาง ซึ่งจะเก็บรักษาน้ำยางสดได้ 33-44 ชั่วโมง

### 2.3.6.3 อุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยางสด

อุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยางสดเพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ยาง สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) การผลิตน้ำยางข้น และการผลิตยางแห้ง

2) การผลิตยางดิบในรูปของน้ำยางข้น

น้ำยางข้นธรรมชาติ (Concentrated Latex) ซึ่งส่วนมากจะรักษาน้ำยางข้นที่ผลิตได้ด้วยแอมโมเนีย มีทั้งชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) และชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia, LA)

น้ำยางข้นคกรูปหรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanised Latex) การผลิตยางดิบในรูปของยางแห้ง การผลิตยางแบบธรรมดา (Conventional rubber process) ซึ่งได้แก่

- ยางแผ่นดิบ (Unsmoked Sheet, USS)
- ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet, RSS)
- ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air Dried Sheet, ADS)
- ยางเครพ (Crepe)

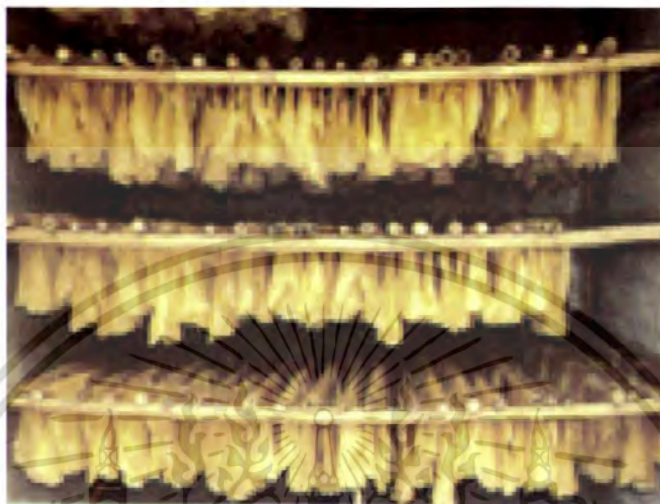
การผลิตยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน (Technically Specified Rubber Process, TSR) ได้แก่ ยางแท่ง (Block rubber)

### 2.3.6.4 การผลิตยางแผ่นรมควัน

กรรมวิธีของการทำยางแผ่น เริ่มจากการรวบรวมน้ำยาง แล้วกรองแยกสารอื่นๆ หรือสิ่งสกปรกออกจากน้ำยาง ด้วยแรงขนาด 40, 60 และ 80 เมตร (แรงสแตนด์เลส ใช้กับน้ำยางที่มีแอมโมเนีย แรงเหวี่ยงธรรมดาใช้กับน้ำยางสด ที่ไม่ใส่แอมโมเนีย) หลังจากนั้นจับตัว น้ำยางเป็นก้อนด้วยกรดฟอร์มิก หรือกรดอะซิติก แล้วผ่านจักรรีดยาง หรือเครื่องรีดยาง ได้ยางแผ่นหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เป็นยางแผ่นดิบผึ่งแผ่นยางในที่ร่มจนสะเด็ดน้ำก่อน ( ประมาณ 2 ชั่วโมง )

แล้วอบยางแผ่นดิบให้แห้งด้วยควันไฟ (อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส) ใน โรงรมควัน เป็นเวลาประมาณ 4-10 วัน ได้ยางแผ่นรมควัน (RSS, Ribbed Smoked Sheet) ที่แห้ง จะถูกนำมาพิจารณาจัดแยกชั้นโดยใช้สายตา (Visual Grading) ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญมาก เมื่อจัดแยกชั้นยาง แล้วจึงนำยางไปอัดเป็นก้อน ก้อนละประมาณ 100 กิโลกรัมหรือ 114 กิโลกรัม ห่อก้อนยางด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางแผ่นคุณภาพเช่นเดียวกับภายในก้อน และฉาบผิวยางด้วย สารละลายยางผสมแป้งเพื่อกัน ก้อนยางเหนียวติดกัน



รูปที่ 2.1 การผลิตยางแผ่นรมควัน

#### 2.3.6.5 มาตรฐานยางแผ่นรมควัน

##### ลักษณะมาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 1

1) ไม่มีราหรือมีราแห้งบนแผ่นห่อหรือผิวก้อนได้เล็กน้อย

##### คุณสมบัติแผ่นยาง

1) ไม่มีตำหนิใดๆ ในยางแผ่นทุกแผ่น

2) ใส

3) แห้ง

4) เนื้อยางแห้ง

5) เนื้อยางสม่ำเสมอ

6) เนื้อแข็ง

7) ไม่มีกรวดทราย

8) ไม่มีสิ่งปนเปื้อน

9) ไม่มีจุดพอง

10) สะอาด

11) ไม่มีราสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## **สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

### ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 1

ตำหนิที่ยอมรับได้	ตำหนิที่ยอมรับไม่ได้
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีฟองอากาศขนาดหัวเข็มหมุดกระจายอยู่ทั่วแผ่น</li> <li>- มีจุดดำๆของเปลือกไม้เล็กน้อย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ยางเหนียวเยิ้ม</li> <li>- ยางเนื้ออ่อน</li> <li>- ยางแก่ไฟ</li> <li>- ยางไหม้</li> <li>- ยางอ่อนรมควัน</li> <li>- ยางแก่รมควัน</li> <li>- ยางทึบ</li> </ul>

### ลักษณะมาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 2

1) มีราสนิมได้เล็กน้อย

#### คุณสมบัติแผ่นยาง

- 1) แห้ง
- 2) เนื้อแข็ง
- 3) ไม่มีจุดพอง
- 4) ไม่มีกรวดทราย
- 5) ไม่มีสิ่งปนเปื้อน
- 6) ไม่มีสิ่งตำหนิใดๆ

### ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 2

ตำหนิที่ยอมรับได้	ตำหนิที่ยอมรับไม่ได้
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีฟองอากาศได้เล็กน้อย</li> <li>- มีสิ่งสกปรกได้เล็กน้อย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ยางเหนียวเยิ้ม</li> <li>- ยางแก่ไฟ</li> <li>- ยางแก่รม</li> <li>- ยางทึบ</li> <li>- ยางไหม้</li> <li>- ยางเนื้ออ่อน- ยางทึบ</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 82920  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ลักษณะมาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 3

1) มีราสนิมหรือราแห้งได้เล็กน้อยเหมือนชั้น 2 แต่ไม่เกิน 10% ของตัวอย่าง

ที่ตรวจ

#### คุณสมบัติแผ่นยาง

- 1) แห้ง
- 2) เนื้อแข็ง
- 3) ไม่มีจุดพอง
- 4) ไม่มีกรวดทราย
- 5) ไม่มีสิ่งปนเปื้อน

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 3

ตำหนิที่ยอมรับได้	ตำหนิที่ยอมรับไม่ได้
- มีฟองอากาศปานกลางเล็กน้อย - มีสิ่งสกปรกปานกลางเล็กน้อย - มีสีต่างดำเล็กน้อย	- ยางเหนียวเยิ้ม - ยางเนื้ออ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางแก่รม - ยางทึบ - ยางไหม้

### ลักษณะมาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 4

1) มีราสนิมและราแห้งได้เล็กน้อยเหมือนชั้น 2-3 แต่ไม่เกิน 20% ของ

ตัวอย่างที่ตรวจ

#### คุณสมบัติแผ่นยาง

- 1) ยางแก่ไฟ
- 2) ยางไหม้
- 3) มีฟองอากาศได้ปานกลาง
- 4) มีสิ่งสกปรกได้ปานกลาง
- 5) สีต่างดำปานกลาง
- 6) แก่รมได้เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) แห่งดี ไม่มีสิ่งปกเปื้อน

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 4

ตำหนิที่ยอมรับได้	ตำหนิที่ยอมรับไม่ได้
-	- ยางเข้ม - ยางอ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางอ่อนรม - ยางไหม้

**ลักษณะมาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 5**

1) ราคินิมและราแห่งได้เล็กน้อยเหมือนชั้น 2 , 3 , 4 แต่ไม่เกิน 30% ของ  
ตัวอย่างที่ตรวจ

**คุณสมบัติแผ่นยาง**

- 1) มีฟองอากาศใหญ่
- 2) มีสิ่งสกปรกใหญ่ขึ้น
- 3) สีคล้ำและด่างปานกลาง
- 4) ยางแกร่งมากขึ้น
- 5) ยางเหนียวมากขึ้น
- 6) ยางอ่อนรมได้เล็กน้อย

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานคุณภาพยางแผ่นรมควันชั้น 5

ตำหนิที่ยอมรับได้	ตำหนิที่ยอมรับไม่ได้
-	- ยางเข้ม - ยางเนื้ออ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.7 วิธีการออกแบบแอสฟัลต์

ข้อกำหนดสำหรับส่วนผสมของผิวจราจรแบบแอสฟัลต์คอนกรีต จะระบุวิธีการออกแบบส่วนผสม และความต้องการในการออกแบบไว้ องค์กรหรือผู้มีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับถนนลาดยางเป็นผู้กำหนดวิธีการออกแบบไว้วิธีการออกแบบส่วนผสมที่นิยมใช้แพร่หลายได้แก่ วิธี มาร์แชลล์ ( Marshall Method ) และวิธี ฮเวม ( Hveem Method ) ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้จะกล่าวถึงวิธี มาร์แชลล์ เท่านั้น

#### 2.3.7.1 วิธี มาร์แชลล์

แนวคิดพื้นฐานของวิธี มาร์แชลล์ ในการออกแบบถนนลาดยางแอสฟัลต์คอนกรีต กำหนดขึ้นโดย บรูซ มาร์แชลล์ ( Bruce Marshall ) วิศวกรบิทูเมน กรมทางหลวงรัฐมิสซิสซิปปีซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของการทดสอบแบบอันคอนไพน์ ที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ต่อมา The U.S. Corps of Engineers ได้ศึกษาค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมปรับปรุงวิธีการและพัฒนาหลักเกณฑ์การออกแบบส่วนผสมจนกระทั่งการทดสอบได้มาตรฐาน และกำหนดเป็นมาตรฐานการทดสอบ ASTM. D 1559

#### 2.3.7.2 การออกแบบส่วนผสม

การออกแบบส่วนผสม แอสฟัลต์คอนกรีต จะต้องเลือกสัดส่วนขนาดกละ ของมวลรวมและปริมาณของ แอสฟัลต์ซีเมนต์ และเลือกปริมาณการจราจร ที่ใช้ จากนั้นจึงเตรียมก้อนตัวอย่าง และทำการทดสอบ นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ ทำการวิเคราะห์ ต่อไป ปริมาณจราจรที่ใช้ในการออกแบบจำแนกได้ดังนี้

1. การจราจรเบาบาง Light สภาพการจราจรที่ใช้ในการออกแบบมี EAL( Equivalent Axle Loads)  $< 10^4$
2. การจราจรปานกลาง Medium สภาพการจราจรที่ใช้ออกแบบมี EAL อยู่ระหว่าง  $10^4$  ถึง  $10^6$
3. การจราจรหนาแน่น Heavy สภาพการจราจรที่ใช้ในการออกแบบมี EAL  $> 10^6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้

ขนาดที่ใช้เรียก มม.	9.5 (3/8")	12.5 (1/2")	19.0 (3/4")	25.0 (1")
สำหรับชั้นทาง	Wearing Course	Wearing Course	Binnder Course	Base Course
ความหนา มม.	25 - 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
ขนาดตะแกรง มม.	เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง แต่ละขนาด			
37.50 (1½")				100
25.00 (1")			100	90 - 100
19.00 (¾")		100	90 - 100	-
12.50 (½")	100	80 - 100	-	56 - 80
9.50 (3/8")	90 - 100	-	56 - 80	-
4.75 (# 4)	55 - 85	44 - 74	35 - 65	29 - 59
2.36 (# 8)	32 - 67	28 - 58	23 - 49	19 - 45
1.18 (# 16)	-	-	-	-
0.60 (# 30)	-	-	-	-
0.30 (# 50)	7 - 23	5 - 21	5 - 19	5 - 17
0.15 (# 100)	-	-	-	-
0.075 (#200)	2 - 10	2 - 10	2 - 8	1 - 7
ปริมาณของแอสฟัลต์ ร้อยละของมวลรวม	10.00 - 16.00	7.5 - 13.5	6.5 - 12.0	5.5 - 7.5

**หมายเหตุ** ขนาดคละมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ อาจเปลี่ยนแปลงได้ แต่ทั้งนี้ แอสฟัลต์คอนกรีตคอนกรีตที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติและความแข็งแรงถูกต้องตามข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตของกรมทางหลวง

รายการ	ชั้นทาง				
	Wearing Course ขนาด 9.5 มม.	Wearing Course ขนาด 12.5 มม.	Binder Course	Base Course	Should Course
Blows	75	75	75	75	50
Stability	N	8006	8006	8006	7117
	(lb)	1800	1800	1800	1600
Flow $\times 0.25$ mm.(0.01 in.)	8 - 16	8 - 16	8 - 16	8 - 16	8 - 16
Persent Air Voids	3 - 5	3 - 5	3 - 6	3 - 6	3 - 5
Persent Voids in Mineral					
Aggregate (VMA)	min	15	14	13	12
Stability / Flow	min				
	N / 0.25	712	712	712	645
	(lb / 0.01 in)	160	160	160	145
Persent Strength Index	min	75	75	75	75

**2.3.7.3 การเตรียมก้อนตัวอย่างและการทดสอบ**

1) การเตรียมวัสดุผสม ชั่งน้ำหนักส่วนผสมของมวลรวมซึ่งได้ขนาดของมวลรวมที่กำหนดหนักประมาณ 1,000 – 1,200 กรัม นำส่วนผสมมวลรวมไปวางบนแผ่นร้อนหรือในเตาอบเพื่อให้ความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนด เทมวลรวมที่ได้ความร้อนตามที่กำหนดใส่ลงในชามอ่างผสมคลุกเคล้าให้ทั่ว จากนั้นเกรียงเกลี่ยมวลรวมทำเป็นแอ่งปากปล่องภูเขาไฟ เทแอสฟัลต์ ที่ได้รับความร้อนและชั่งน้ำหนักตามที่กำหนดไว้ใส่ในแอ่งของมวลรวม ใช้เกรียงผสมมวลรวมกับแอสฟัลต์ ให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด โดยประมาณ 1 นาที พยายามให้แอสฟัลต์เคลือบมวลรวมอย่างทั่วถึงใช้ความระมัดระวังในการผสมอย่าให้เกิดการสูญเสียวัสดุผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทำการบดก้อนตัวอย่าง ให้ทำความสะอาดชุดแบบหล่อตัวอย่างและผิวหน้าของก้อนบดอัด แล้วนำไปให้ความร้อนบนแผ่นร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 93 – 149 องศาเซลเซียส เมื่อทำการประกอบแบบแล้วให้นำกระดาษกรองขนาดพอดีกับแบบวางรอไว้ที่ก้นแบบ ก่อนที่จะนำส่วนผสมเทใส่ลงในแบบ เมื่อเทส่วนผสมลงในแบบแล้ว ใช้เกรียงหระบริเวณ รอบ ๆ ตัวอย่าง 15 ครั้ง และบริเวณกลาง 10 ครั้ง ใช้เกรียงแต่งผิวหน้าให้เรียบมีลักษณะมนเล็กน้อย ปล่อยให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิ อยู่ในในช่วงกำหนด ของอุณหภูมิการบดอัด วางชุดแบบที่บรรจุตัวอย่างในที่ยึดแบบแท่นรองการบดอัด แล้วทำการบดอัดด้วยค้อนมาร์แชลล์หนัก 140 ปอนด์ ระยะยกสูง 18 นิ้ว จำนวนครั้งของการกระทุ้งแน่นแต่ละด้านขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกชนิดของจรรยาจร(2 x 75 ครั้งสำหรับการจรรยาจรหนาแน่น 2 x 50 ครั้งสำหรับการจรรยาจรปานกลาง 2 x 35 ครั้ง สำหรับการจรรยาจรเบาบาง) ดังตัวอย่างที่บดอัดทั้ง 2 ด้านแล้วด้วยเครื่องดันตัวอย่าง ปล่อยให้ก้อนตัวอย่างเย็นลงตามอุณหภูมิห้องปล่อยให้ตัดลอกขึ้น แล้วทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดแล้วนำไปแช่น้ำประมาณ 5 นาทีแล้วใช้ผิวให้แห้งชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างในอากาศ แล้วจึงนำก้อนตัวอย่างไปชั่งในน้ำในแต่ละส่วนผสมควรมีก้อนตัวอย่าง อย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่าง

3) การทดสอบค่าเสถียรภาพและการไหล นำก้อนตัวอย่างไปแช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ  $60 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำก้อนตัวอย่างประกอบเข้ากับเครื่องกดตัวอย่างแบบมาร์แชลล์ กดตัวอย่างด้วยอัตราเคลื่อนที่ 2 นิ้วต่อนาที บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดที่อ่านได้ ( ความหนามาตรฐานก้อนตัวอย่าง 2.5 นิ้ว ถ้าความหนาไม่ได้มาตรฐานต้องทำการปรับแก้ค่าน้ำหนักสูงสุด ) และทำการบันทึกค่าการไหลจากเกณฑ์วัดการไหลในเวลาเดียวกันกับที่อ่านค่าน้ำหนักสูงสุด การวัดค่าการไหลจะวัดเป็น 1 ใน 100 ของนิ้ว ( 25 ใน 100 ของมิลลิเมตร)

ค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างคือค่าความต้านทานน้ำหนักบรรทุกสูงสุดในหน่วยปอนด์ซึ่งกำหนดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่าขยุบตัวคือ การเคลื่อนไหวทั้งหมดหรือการเสียรูปในหน่วยของ 0.01 นิ้ว ที่เกิดขึ้นระหว่างไม่มีน้ำหนักบรรทุกกับเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของขนาดทดสอบ

คำนวณหาค่าต่าง ๆ เพื่อนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์กับค่าต่าง ๆ ดังนี้

- ความถ่วงจำเพาะรวม ( Specific Gravity )
- เสถียรภาพ และการไหล ( Stability and Flow )
- ความหนาแน่น และโพรง ( Unit Weight and Void )
- สำหรับการทดสอบค่าเสถียรภาพ และ การไหลจะใช้เครื่องทดสอบมาร์แชลล์

( Marshall Testing Machine )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ค่าต่ำสุดของเปอร์เซ็นต์โพรงระหว่างมวลรวม

Nominal Maximum Particle Size		Minimum VMA. Percent		
		Design Air Voids Percent		
mm.	in.	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.50	22.50	23.50
2.36	No. 8	19.00	20.00	21.00
4.75	No. 4	16.00	17.00	18.00
9.50	3/8	14.00	15.00	16.00
12.50	1/2	13.00	14.00	15.00
19.00	3/4	12.00	13.00	14.00
25.00	1.00	11.00	12.00	13.00
37.50	1.50	10.00	11.00	12.00
5.00	2.00	9.50	10.50	11.50
63.00	2.50	9.00	10.00	11.00

4) การประเมินผล พิจารณาเลือกเปอร์เซ็นต์แอสฟัลต์ที่เหมาะสม ต้องเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์แอสฟัลต์ซีเมนต์ กับ ค่าที่ทดสอบได้ ประกอบด้วย หน่วยน้ำหนักเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศ เสถียรภาพการไหล เปอร์เซ็นต์โพรงระหว่างมวลรวม (VMA) และเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์สูงสุด ให้พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ที่สอดคล้องตามเงื่อนไขดังนี้

- ได้ค่าเสถียรภาพสูงสุด หรือไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
- ได้ค่าหน่วยน้ำหนักสูงสุด
- มีค่าการไหลอยู่ระหว่าง  $8 - 16 \times 10^{-2}$  นิ้ว
- มีค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศประมาณ 3 - 5 เปอร์เซ็นต์
- มีค่าเปอร์เซ็นต์โพรงระหว่างมวลรวมเป็นไปตามข้อกำหนด
- มีค่าเปอร์เซ็นต์โพรงที่ถูกแทนที่แอสฟัลต์เป็นไปตามข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 เกณฑ์กำหนดการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์

Marshall Method Mix Criteria	Light Traffic		Medium Traffic		Heavy Traffic	
	Surface & Base		Surface & Base		Surface & Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compaction number of blows						
each end specimen	35		50		78	
Stability N	3336		5338		8006	
(lb)	750		1200		1800	
Flow 0-25 mm. (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Percent Air Voids	3	5	3	5	3	5
Percent Voids in Mineral						
Aggregate (VMA.)	See Table 2.3					
Percent Voids filled with						
Asphalt (VMA.)	70	80	65	78	65	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### แผนงานและขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 แผนงานการดำเนินงาน

ในการทำการศึกษาคูณสมบัติของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ยางแผ่นรมควัน โมดิฟายด์ แอสฟัลต์สำหรับงานเสริมผิวทางชนิดบาง PRMA. เป็นวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวมหินปูน เทียบกับ วัสดุเชื่อมประสานชนิดแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 ( AC 60/70 ) กับมวลรวมชนิดเดียวกัน จะ ดำเนินการตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2550 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ใช้เวลาทั้งหมด 36 สัปดาห์ โดยแบ่งการทำงานเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

##### 3.1.1 การศึกษาข้อมูลจำเป็นในการทำโครงการ

ในการหาข้อมูลของการศึกษาในโครงการอื่นๆ ศึกษาวิธีการทดลองและมาตรฐานของ กรมทางหลวง ใช้เวลา 2 สัปดาห์

##### 3.1.2 จัดเตรียมวัสดุในการทดลอง

ในการจัดเตรียมวัสดุในการทดลองนั้นต้องทำการตรวจดูอุปกรณ์และ จัดหาวัสดุ ตัวอย่างทดสอบ ทั้งยาง AC. 60/70 กับยางแผ่นรมควันและมวลรวม ใช้เวลา 3 สัปดาห์

##### 3.1.3 ทำการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์ เกรด 60/70 โดยการทดสอบ ดังนี้

- 1) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ( Specific Gravity Test)
- 2) การทดสอบหาค่าการยืดตัว ( Ductility Test)
- 3) การทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)
- 4) การทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration Test)
- 5) การทดสอบหาค่าจุดวาบไฟ (Flash Point Test)

ใช้เวลา 2 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### **3.1.4 ทำการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควันโดย การทดสอบดังนี้**

- 1) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ( Specific Gravity Test)
- 2) การทดสอบหาค่าการยืดตัว ( Ductility Test)
- 3) การทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)
- 4) การทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration Test)
- 5) การทดสอบหาค่าจุดวาบไฟ (Flash Point Test)

ใช้เวลา 2 สัปดาห์

### **3.1.5 ทำการวิเคราะห์ผล (ในช่วงแรก )**

วิเคราะห์ผลการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์เกรด 60/70 เปรียบเทียบกับการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน โดยการวิเคราะห์ผล ใช้เวลา 2 สัปดาห์

### **3.1.6 ทำการทดสอบมวลรวมที่จะใช้ผสม ซึ่งมีการทดสอบ ดังนี้**

- 1) ขนาดละเอียดของมวลรวม ( Gradation Test)
- 2) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Test)
- 3) การทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index Test)
- 4) การทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index Test)
- 5) การทดสอบหาค่าความสึกหรอ (Los Angeles Abrasion Test)

ใช้เวลา 2 สัปดาห์

### **3.1.7 ทำการทดสอบตัวอย่างที่มีการออกแบบส่วนผสมโดยเปรียบเทียบระหว่าง แอสฟัลต์ติกคอนกรีต กับแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควันด้วยวิธีมาร์แชลล์ ( Marshall method ) โดยมีการทดสอบดังนี้**

- 1) ค่าความถ่วงจำเพาะรวม ( Specific Gravity)
- 2) ค่าเสถียรภาพ ( Stability )
- 3) ค่าการไหล ( Flow )
- 4) เปอร์เซ็นต์โพรงระหว่างมวลรวม ( Percent voids in mineral aggregate)
- 5) เปอร์เซ็นต์โพรงที่ถูกแทนด้วยแอสฟัลต์ ( Percent voids filled with asphalt)

ใช้เวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.8 ทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมโดยเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ผสมยางแผ่นรมควันด้วยวิธีมาร์แชลล์ ( Marshall method ) ใช้เวลา 3 สัปดาห์

### 3.1.9 ทำการจัดทำรูปเล่มรายงาน

วิเคราะห์ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมโดยเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ผสมยางแผ่นรมควันด้วยวิธีมาร์แชลล์ ( Marshall method ) ใช้เวลา 3 สัปดาห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ทำการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์ เกรด 60/70 โดยวิธีทดสอบดังนี้
  - 1.1) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ( Specific Gravity Test)
  - 1.2) การทดสอบหาค่าการยืดตัว ( Ductility Test)
  - 1.3) การทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)
  - 1.4) การทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration Test)
  - 1.5) การทดสอบหาค่าจุดวาบไฟ (Flash Point Test)
- 2) ทำการทดสอบคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน โดย การทดสอบดังนี้
  - 2.1) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ ( Specific Gravity Test)
  - 2.2) การทดสอบหาค่าการยืดตัว ( Ductility Test)
  - 2.3) การทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point Test)
  - 2.4) การทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration Test)
  - 2.5) การทดสอบหาค่าจุดวาบไฟ (Flash Point Test)
- 3) ทำการทดสอบมวลรวมที่จะใช้ผสม ซึ่งมีการทดสอบดังนี้
  - 3.1) ขนาดคละของมวลรวม ( Gradation Test)
  - 3.2) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Test)
  - 3.3) การทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index Test)
  - 3.4) การทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index Test)
  - 3.5) การทดสอบหาค่าความสึกหรอ (Los Angeles Abrasion Test)
- 4) ทำการทดสอบตัวอย่างที่มีการออกแบบส่วนผสม โดยเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีต กับแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน ด้วยวิธีมาร์แชลล์ ( Marshall method ) โดยมีการทดสอบ ดังนี้
  - 4.1) ค่าความถ่วงจำเพาะรวม ( Specific Gravity)
  - 4.2) ค่าเสถียรภาพ ( Stability )
  - 4.3) ค่าการไหล ( Flow )
  - 4.4) เปอร์เซ็นต์โพรงระหว่างมวลรวม ( Percent voids in mineral aggregate)
  - 4.5) เปอร์เซ็นต์โพรงที่ถูกแทนด้วยแอสฟัลต์ ( Percent voids filled with asphalt)
- 5) ทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.2.1 วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ( Specific Gravity and Density of Asphalt Cement Test ) ( ASTM D70-97 )

#### ขอบข่าย

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของวัสดุบิฐูเมนที่มีสภาพกึ่งของแข็ง, แอสฟัลต์ซีเมนต์ และทาร์พิทช์อ่อน ( soft tar pitch ) โดยการใช้ Pycnometer

ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์ คือ อัตราส่วนของมวลแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีปริมาตรหนึ่งที่อุณหภูมิ 25° C ( 77° F ) ต่อมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันและที่อุณหภูมิเดียวกัน

ในการทดลองแอสฟัลต์ซีเมนต์ตัวอย่างจะถูกเทลงในขวด Pycnometer ซึ่งทำด้วยแก้ว และมีฝาถูกไว้สำหรับปิดขวด Pycnometer โดยที่ความจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์ สามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักตามขั้นตอนแล้วเข้าสู่สูตรคำนวณ คือ น้ำหนักของขวด Pycnometer และฝาถูก ( ขวดเปล่า ), น้ำหนักของขวด Pycnometer ที่บรรจุน้ำกลั่น พร้อมฝาถูก, น้ำหนักของขวด Pycnometer ที่มีแอสฟัลต์ซีเมนต์บรรจุอยู่ประมาณ 3 ใน 4 ของความจุ พร้อมฝาถูกและน้ำหนักของขวด Pycnometer ที่มีแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำบรรจุอยู่ พร้อมฝาถูก

#### อุปกรณ์

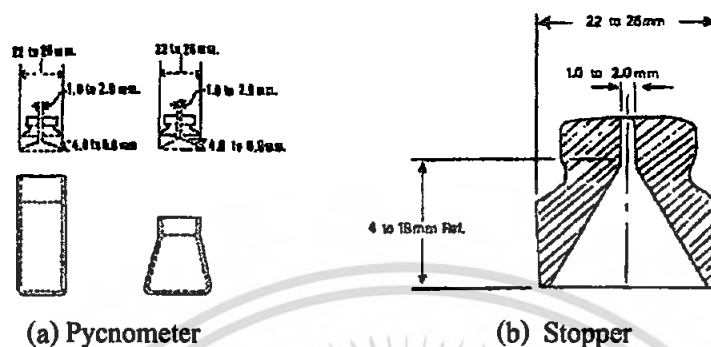
1) Pycnometer ทำด้วยแก้วรูปทรงกระบอกหรือรูปกรวยพร้อมฝาถูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22-26 มิลลิเมตร โดยที่กึ่งกลางฝาถูกมีรูตามแนวตั้ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 ถึง 2.0 มิลลิเมตร ผิวด้านบนของฝาถูกราบเรียบ ผิวด้านใต้โค้งเข้าเพื่อให้อากาศลอยออกไปได้ Pycnometer มีความจุ 24-30 มิลลิเมตร และน้ำหนักของ Pycnometer พร้อมฝาถูกไม่ควรเกิน 40 กรัม

2) อ่างน้ำปรับอุณหภูมิ ( Water Bath ) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน 0.1° C ( 0.2° F ) จากอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

3) เทอร์โมมิเตอร์ ( Thermometers ) อ่านละเอียด 0.1° C ( 0.2° F ) ความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.1° C ( 0.2° F )

4) เครื่องชั่งน้ำหนัก อ่านละเอียด 0.001 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของขวด Pycnometer

### วิธีการทดสอบ

- 1) ปรับอุณหภูมิของอ่างปรับอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิที่ต้องการทดลองคือ ที่  $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$
- 2) ทำความสะอาด Pycnometer พร้อมฝาจุกให้แห้ง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็นค่า A

ผลเป็นค่า A

3) เติมน้ำกลั่นลงใน Pycnometer ปิดฝาจุก จากนั้นนำ Pycnometer วางไว้ในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิโดยทำการแช่ในอ่างปรับอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วจึงนำขึ้นมาเช็ดผิวนอกของ Pycnometer และฝาจุกให้แห้ง ทำการชั่งน้ำหนักทันที บันทึกผลเป็นค่า B

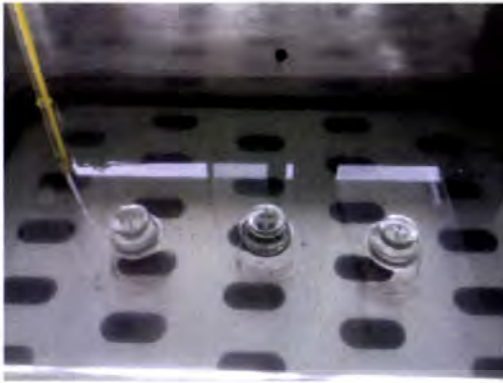
4) ทำความสะอาด Pycnometer ให้แห้ง จากนั้นให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจนตัวอย่างเหลวพอที่จะเทคนตัวอย่างให้สม่ำเสมอเพื่อไม่ให้เกิดความร้อนที่จุดหนึ่งจุดใดมากเกินไป ไม่ควรให้อุณหภูมิของตัวอย่างสูงมากกว่า  $111^\circ \text{C}$  ( $200^\circ \text{F}$ ) เหนือจุดอ่อนตัว (softening point) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์และความร้อนที่ให้ไม่ควรเกิน 30 นาที หากมีฟองอากาศภายในตัวอย่าง ควรไล่ฟองอากาศออกให้หมดโดยใช้เปลวไฟจากตะเกียงผ่านผิวน้ำของตัวอย่าง จากนั้นเทตัวอย่างลงใน Pycnometer ประมาณ 3 ใน 4 ของความจุ ระวังอย่า

ให้เลอะเทอะด้านนอกของ Pycnometer ( หากเลอะด้านนอก ต้องทำความสะอาดให้เรียบร้อย )

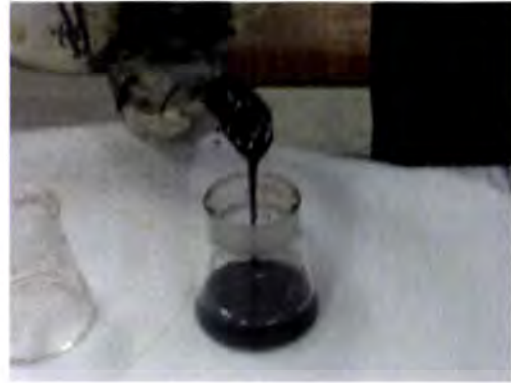
5) ปล่อยให้ Pycnometer และวัสดุเย็นลงจนถึงอุณหภูมิที่ทดลองไม่น้อยกว่า 40 นาที ปิดฝาจุกจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็นค่า C

6) เติมน้ำกลั่นลงใน Pycnometer ปิดฝาจุกและนำไปแช่ในอ่างปรับอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 30 นาที นำขึ้นจากอ่างปรับอุณหภูมิ เช็ดผิวนอกของ Pycnometer ให้แห้งและชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็น

ค่า D  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การปรับเทียบขวดแก้ว



(ข) เติมตัวอย่างลงขวดแก้ว

รูปที่ 3.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของแอสฟัลต์ซีเมนต์

**การคำนวณ**

- 1) คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ ( $G_A$ ) =  $(D-A) / [(B-A) - (D-C)]$   
 โดยที่  
 A = น้ำหนักของ Pycnometer (รวมฝาจุก)  
 B = น้ำหนักของ Pycnometer เติมน้ำเต็ม  
 C = น้ำหนักของ Pycnometer ที่บรรจุแอสฟัลต์ซีเมนต์บางส่วน  
 D = น้ำหนักของ Pycnometer ที่บรรจุแอสฟัลต์ซีเมนต์และเติมน้ำเต็ม

- 2) คำนวณค่าความหนาแน่น ให้มีความละเอียด 0.001

ค่าความหนาแน่น = ค่าความถ่วงจำเพาะ ( $G_A$ ) x  $W_T$   
 โดยที่  $W_T$  = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง ( จาก CRC Handbook of Chemistry Physics กำหนดความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 25° C มีค่าเท่ากับ 997.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร )

**การรายงาน**

รายงานค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นพร้อมระบุอุณหภูมิที่ทดลองคือที่ 25° C ค่าความหนาแน่นจากการทดลอง 2 ครั้ง โดยที่ผู้ทดลองคนเดียว ค่าที่ได้ควรแตกต่างกันไม่มากกว่า 0.002 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสำหรับผู้ทดลอง 2 คน ในห้องทดลองต่างกันค่าที่ได้ควรแตกต่างกันไม่มากกว่า 0.005 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration) (ASTM D5-83)

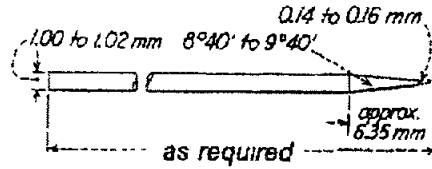
#### บทนิยาม

ค่าเพนิเตรชัน ( Penetration ) หมายถึง ระยะทางที่เข็มมาตรฐานแทงจมลงในเนื้อวัสดุแอสฟัลต์ตามแนวตั้ง ภายใต้ภาวะของน้ำหนักบรรทุก เวลา และอุณหภูมิที่กำหนด โดยระยะทางที่เข็มจมในหน่วยของ 0.1 มิลลิเมตร ค่าเพนิเตรชันจะเป็นค่าบอกความชันหนืด ( consistency ) ของวัสดุแอสฟัลต์ ถ้ามีค่ามากแสดงว่ามีความชันหนืดน้อย ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความชันหนืดมาก

#### อุปกรณ์

1) เครื่องทดลองเพนิเตรชัน ( Penetration Apparatus ) ประกอบด้วยแกนซึ่งเคลื่อนขึ้นลงตามแนวตั้งมีความเสียดทานน้อยที่สุด และสามารถวัดความลึกของการทะลวงได้ละเอียดถึง 0.1 มม. น้ำหนักของแกนมีค่า  $47.5 \pm 0.05$  กรัม ที่แกนจะมีปากจับเข็มมาตรฐาน น้ำหนักรวมเมื่อประกอบเข็มมาตรฐานเข้ากับแกนมีค่า  $50.0 \pm 0.05$  กรัม เครื่องทดลองจะต้องมีน้ำหนักถ่วงขนาด  $50 \pm 0.05$  กรัม และ  $100 \pm 0.05$  กรัม เพื่อให้ได้น้ำหนักกด 100 กรัม และ 200 กรัม ตามกำหนดของสภาพการทดลอง ผิวสำหรับวางภาชนะบรรจุตัวอย่างจะต้องราบ และแกนกดจะต้องตั้งฉากกับผิวนี้ แกนที่ใช้สามารถออกตรวจสอบน้ำหนักได้

2) เข็มทะลวง ( Penetration Needle ) เข็มที่ใช้ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมชุบแข็งเกรด 440-C หรือเทียบเท่า HRC 54 ถึง 60 ยาวประมาณ 50 มม. ( 2 นิ้ว ) เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.00 ถึง 1.02 มม. ( 0.0394 ถึง 0.0402 นิ้ว ) ปลายข้างหนึ่งเสียมแหลมเป็นรูปกรวยมีมุมแหลมอยู่ระหว่าง  $8.7^{\circ}$  ถึง  $9.7^{\circ}$  ปลายกรวยตัดในแนวตั้งฉากกับแกนของเข็มกลาดเคลื่อนไม่เกิน  $2^{\circ}$  ปลายกรวยที่ตัดนี้มีขนาดศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.14 ถึง 0.16 มม. ( 0.0055 ถึง 0.0063 นิ้ว ) ตลอดขอบของปลายตัดจะต้องคมปราศจากเสี้ยน ปลายอีกข้างเข็มจะสวมอยู่ในปลอกโลหะทองเหลือง หรือเหล็กกล้าไร้สนิม ส่วนของเข็มที่ยาวโผล่จากปลอกอยู่ในช่วง 40 ถึง 45 มม. ( 1.57 ถึง 1.77 นิ้ว ) ปลอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $3.2 \pm 0.05$  มม. (  $0.12 \pm 0.003$  นิ้ว ) และยาว  $38 \pm 1$  มม. (  $1.50 \pm 0.05$  นิ้ว ) น้ำหนักรวมของปลอกกับเข็มเท่ากับ  $2.50 \pm 0.05$  กรัม ( อาจเจาะรูปลายของปลอกเพื่อควบคุมน้ำหนักให้ได้ตามระบุ )



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของเข็มหาค่าการทะลวง

3) ภาชนะบรรจุตัวอย่าง ( Sample Container ) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกก้นแบน ทำด้วยโลหะ หรือแก้ว มีขนาดดังนี้

สำหรับค่าทะลวงต่ำกว่า 200

เส้นผ่าศูนย์กลาง	55	มม.
ความลึกภายใน	35	มม.

สำหรับค่าทะลวง ระหว่าง 200 ถึง 350

เส้นผ่าศูนย์กลาง	70	มม.
ความลึกภายใน	45	มม.

4) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ( Water Bath ) เป็นอ่างน้ำที่มีความจุไม่น้อยกว่า 10 ลิตร สามารถปรับ และควบคุมอุณหภูมิให้ได้  $25 \pm 0.1^{\circ} \text{C}$  หรือที่อุณหภูมิใดๆ มีชั้น โปร่งวางอยู่เหนือก้นอ่าง ไม่น้อยกว่า 50 มม. และต้องอยู่ต่ำกว่าระดับของเหลวในอ่างไม่น้อยกว่า 100 มม. ถ้าการทดลองหาค่าเพนิเตรชันที่มันคงแข็งแรงพอ น้ำที่ใช้ในอ่างอาจใช้น้ำเกลือสำหรับการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ

5) ภาชนะย้ายตัวอย่าง ( Transfer Dish ) เป็นภาชนะที่มีความจุไม่ต่ำกว่า 350 มล. และมีความลึกเพียงพอให้น้ำคลุมทั่วภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาดใหญ่ และมีที่รองรับภาชนะบรรจุตัวอย่าง รูปร่างสามขาที่มีหน้าสัมผัสสามจุดกับภาชนะบรรจุตัวอย่างเพื่อป้องกันภาชนะบรรจุตัวอย่างจับเคลื่อนในเวลาทดลอง

6) เครื่องจับเวลา ( Timing Device ) ใช้สำหรับการทดลองที่ใช้เครื่องทดลองแบบคุมด้วยมือเครื่องจับเวลามักเป็นนาฬิกาจับเวลา ( Stop Water ) หรือแบบอื่นที่สามารถให้ความละเอียดถึง 0.1 วินาที หรือละเอียดกว่า และมีความถูกต้องภายใน  $\pm 0.1$  วินาที สำหรับช่อง 60 วินาที อาจใช้รีลีนับเวลาที่ให้เสียงสัญญาณทุกๆ 0.5 วินาทีก็ได้ หรืออาจใช้เครื่องจับเวลาอัตโนมัติประกอบเข้ากับเครื่องทดลอง ก็ได้แต่ต้องปรับเทียบความถูกต้องให้อยู่ภายใน  $\pm 0.1$  วินาที ตามช่วงการทดลองที่ระบุ

7) เทอร์โมมิเตอร์ ( Thermometers ) เทอร์โมมิเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้ทุกๆ ไป มีดังนี้

หมายเลข ASTM	ช่วง
17 C หรือ 17 F	19 ถึง 27° C ( 66 ถึง 80° F )
63 C หรือ 63 F	-8 ถึง +32° C ( 18 ถึง 89° F )
64 C หรือ 64 F	25 ถึง 55° C ( 77 ถึง 131° F )

เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.1° C และตัวเทอร์โมมิเตอร์ต้องจุ่มลงในน้ำ 150 ± 15 มม.

เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อค่าเพนิเตรชันอย่างมาก ดังนั้นเทอร์โมมิเตอร์จะต้องได้รับการปรับเทียบอย่างถูกต้องก่อนการนำมาใช้งาน



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบเพนิเตรชัน ( Penetration Apparatus )

**การเตรียมตัวอย่าง**

1) ให้เกิดความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยความระมัดระวัง กวนตัวอย่างเท่าที่จะทำได้เพื่อป้องกันไม่ให้จุดใดจุดหนึ่งร้อนมากเกินไป จนกระทั่งตัวอย่างเหลวพอเทได้ สำหรับ วัสดุ ทาร์พิทช์ ( tar pitch ) ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวมากกว่า 60° C ตามวิธีการทดลอง D 2398 สำหรับวัสดุ แอสฟัลต์ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวมากกว่า 90° C การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างต้องไม่นานเกิน 30 นาที หลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดฟองอากาศในตัวอย่าง

2) เทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างให้ได้ความหนาเพียงพอ ควรหนามากกว่าระยะที่คาดว่าเข็มจะจมลงในเนื้อวัสดุแอสฟัลต์เป็นระยะมากกว่าอย่างน้อยที่สุด 10 มม.

3) ปิดภาชนะบรรจุตัวอย่างเพื่อป้องกันฝุ่น ปล่อยให้เย็นลงในบรรยากาศที่อุณหภูมิระหว่าง 15 ถึง 30° C เป็นเวลา 1 ถึง 1 1/2 ชั่วโมง ส่วนตัวอย่างวางในภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาดเล็ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นเวลา 1 1/2 ถึง 2 ชั่วโมง สำหรับขนาดใหญ่ นำตัวอย่างวางในภาชนะย้ายตัวอย่าง ( ถ้าจำเป็นต้องใช้ ) แล้วเอาไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ตามข้อกำหนดของการทดลอง ตัวอย่างในภาชนะบรรจุนขนาดเล็ก ( 3 ออนซ์ ) ให้แช่เป็นเวลา 1 ถึง 1 1/2 ชั่วโมง ส่วนตัวอย่างในภาชนะบรรจุนขนาดใหญ่ ( 6 ออนซ์ ) ให้แช่เป็นเวลา 1 1/2 ถึง 2 ชั่วโมง

**เงื่อนไขการทดสอบ**

การทดลองที่ไม่ได้กำหนดเงื่อนไขใดๆ ไว้ให้ใช้อุณหภูมิการทดลองที่ 25°C ( 77°F ) น้ำหนักกด 100 กรัม และเวลา 5 วินาที เงื่อนไขที่กำหนดเป็นอย่างอื่นสำหรับการทดลองพิเศษอาจกำหนดไว้ดังนี้

อุณหภูมิ, °C (°F)	น้ำหนักกด, กรัม	เวลา, วินาที
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
46.1 (115)	50	5

ในกรณีดังกล่าวนี้ ต้องรายงานเงื่อนไขการทดลองอย่างชัดเจน

**วิธีการทดสอบ**

1) ตรวจสอบแกนปากจับเข็มให้ปราศจากน้ำและวัตถุไม่พึงประสงค์ ทำความสะอาดเข็มด้วย ( toluene ) หรือสารละลายอื่นที่เหมาะสมแล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาด สอดเข็มเข้ากับเครื่องทดลองเพนิเตรชัน ถ้าไม่ได้กำหนดเงื่อนไขการทดลองไว้ให้ใช้น้ำหนักถ่วง 50 กรัม ถ่วงบนแกนเพื่อให้ได้น้ำหนักกดรวมเท่ากับ 100 + 0.1 กรัม ถ้าการทดลองกระทำโดยตั้งเครื่องทดลองเพนิเตรชันในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ให้วางภาชนะบรรจุตัวอย่างลงบนที่ตั้งของเครื่องทดลองที่จมอยู่ในน้ำ และต้องให้น้ำในอ่างท่วมภาชนะบรรจุตัวอย่าง ถ้าการทดลองกระทำโดยตั้งเครื่องทดลองกระทำโดยตั้งเครื่องทดลองเพนิเตรชันนอกอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ให้วางภาชนะบรรจุตัวอย่างซึ่งมีน้ำที่อุณหภูมิคงที่จากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิท่วมภาชนะบรรจุตัวอย่าง แล้วจึงวางภาชนะย้ายตัวอย่างลงบนที่ตั้งของเครื่องทดลองเพนิเตรชันในแต่ละกรณีต้องปรับเครื่องมือให้เข็มมาตรฐานที่มีน้ำหนักกดตามระบุสัมพันธ์กับเงาของตัวอย่างพอดี ซึ่งทำได้โดยค่อยๆ เลื่อนเข็มลงแล้วสังเกตให้ปลายเข็มสัมผัสกับเงาของตัวเข็มที่เกิดจากการสะท้อนมาจากผิวหน้าของตัวอย่างที่มีการตั้งเครื่องมือให้ได้รับแสงสว่างที่พอเหมาะ ตั้งหน้าปิดให้อ่านค่าศูนย์เมื่อเข็มสัมผัสผิวหน้าของตัวอย่างแล้วปล่อยเข็มให้ทะลวงลงไปในตัวอย่างตามระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นวัดหาระยะทางที่เข็มจมลงไปในตัวอย่างด้วยการปรับหน้าปิด ระยะทางที่วัดได้เป็นค่าของการทะลวงที่วัดในหน่วย 0.1 มม. ถ้าภาชนะบรรจุตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ในระหว่างการปล่อยเข็มทะลวงตัวอย่างให้ถือว่าผลการทดลองนั้นใช้ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แต่ละตัวอย่างให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง ตรงจุดที่อยู่ห่างจากขอบภาชนะบรรจุตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 มม. และแต่ละจุดต้องอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 10 มม. ถ้าการทดสอบต้องใช้ภาชนะย้ายตัวอย่างจะต้องนำภาชนะย้ายตัวอย่างที่มีตัวอย่างอยู่กลับไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิทุกครั้งก่อนที่จะทดลองจุดต่อไป เพื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตามกำหนดต้องทำความสะอาดเข็มทุกครั้งก่อนการทดลองแต่ละจุด ถ้าวัสดุตัวอย่างมีค่าเพนิเตรชันมากกว่า 200 ให้ใช้เข็มอย่างน้อย 3 อัน โดยทิ้งเข็มไว้ในการทดลองแต่ละจุด แล้วเริ่มทดลองด้วยเข็มอันใหม่จนกว่าจะเสร็จการทดลองทุกจุด

3) เข็ม, ภาชนะบรรจุตัวอย่างและเงื่อนไขต่างๆ ตามวิธีนี้ใช้สำหรับการหาค่าเพนิเตรชันที่มีค่าสูงถึง 350 อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจใช้กับค่าเพนิเตรชันสูงถึง 500 โดยใช้ภาชนะบรรจุตัวอย่างแบบพิเศษและ เข็มชนิดพิเศษโดยใช้ภาชนะบรรจุตัวอย่างควรถวลีอย่างน้อยที่สุด 60 มม. ปริมาตรตัวอย่างทั้งหมดในภาชนะบรรจุตัวอย่างไม่ควรเกิน 125 มล. เพื่อให้สามารถปรับอุณหภูมิตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม

3.1) เข็มพิเศษจะต้องมีขนาด และน้ำหนักได้ตามที่ระบุในหัวข้อเข็มมาตรฐาน และจะต้องให้ส่วนของเข็มที่ยาวโผล่จากปลอกมีความยาว 50 มม.

3.2) ตัวอย่างที่มีค่าเพนิเตรชันสูงอาจทดสอบโดยใช้เข็มมาตรฐาน และภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาด 6 ออนซ์ แต่ใช้น้ำหนักกด 50 กรัม ค่าเพนิเตรชันหาได้จากการคูณผลการทดลองของน้ำหนักกด 50 กรัม ด้วยค่ารากกำลังสองของ 2 ( square root of 2 ) นั่นคือ

$$\text{ค่าเพนิเตรชันภายใต้น้ำหนักกด 100 กรัม} = \frac{\text{ค่าเพนิเตรชันภายใต้น้ำหนักกด 50 กรัม} \times 1.414}{}$$



(ก) เทตัวอย่างลงแบบ



(ข) ทำการกดตัวอย่าง

### รูปที่ 3.5 การทดสอบหาค่าเพนิเตรชัน (Penetration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การรายงาน

รายงานค่าเฉลี่ยการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง ความแตกต่างของการทดสอบจะต้องไม่เกินข้อกำหนดดังตาราง

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยของค่าเพนิเตรชัน

ค่าเพนิเตรชัน	0 – 49	50 - 149	150 - 249
ค่าแตกต่างระหว่างค่าทดลองสูงสุด และต่ำสุด	2	4	6

## หลักการพิจารณาผลการทดสอบ

- 1) ผลการทดลอง โดยผู้ทดลองคนเดียวกัน ห้องทดลอง และเครื่องทดลองอันเดียวกัน ในเวลาต่างกัน ( repeatability ) จะเชื่อถือได้ต่อเมื่อผลการทดลองนั้นแตกต่างกันไม่มากกว่ากำหนดดังนี้
- 2) ผลการทดลองที่ทำโดยผู้ทดลอง 2 คนจากห้องทดลองคนละห้อง ( reproducibility )

## ข้อควรระวัง

1. ในการเตรียมตัวอย่าง โดยการให้ความร้อนก่อนที่จะเทลงสู่ภาชนะบรรจุตัวอย่าง จะต้องให้ความร้อนสม่ำเสมอ เมื่อเทลงสู่ภาชนะบรรจุตัวอย่างแล้วต้องสังเกตดู ถ้ายังมีฟองอากาศปะปนอยู่ ควรให้ความร้อนอีกเล็กน้อยแล้วคนไล่ฟองอากาศให้หมด
2. ตรวจสอบน้ำหนักของแกน เข้ม และน้ำหนักถ่วง ต้องรวมกันให้ได้ครบตามข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การทดสอบหาค่าการยืดตัว (Ductility) (ASTM D113-85)

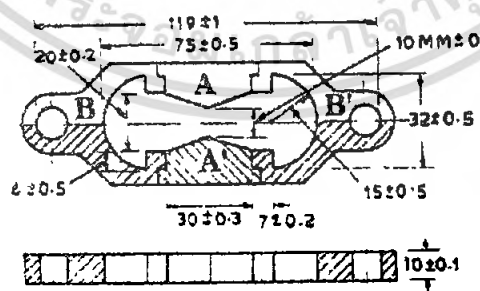
#### ขอบข่าย

การยืดตัวของวัสดุพิวแมน คือ ระยะทางที่วัสดุตัวอย่างยืดออกก่อนขาดจากกันซึ่งวัดได้จากการดึงปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างรูปรีเกท ซึ่งอยู่ในแบบมาตรฐาน ด้วยอัตราความเร็ว และ อุณหภูมิที่กำหนด ถ้าการทดสอบไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้ใช้อุณหภูมิการทดสอบที่  $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 0.9^{\circ}\text{F}$ ) และใช้อัตราความเร็ว 5 ซม. / นาที  $\pm 5.0\%$  ถ้าใช้อุณหภูมิอื่นควรกำหนดอัตราความเร็วด้วย วิธีการทดสอบนี้จะใช้วัดคุณสมบัติรับแรงดึงของวัสดุพิวแมน และใช้วัดการยืดตัวตามข้อกำหนด

#### อุปกรณ์

1) แบบ (Mold) แบบที่ใช้มีรูปร่าง และขนาดดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำด้วยทองเหลือง ส่วนปลาย b และ b' เรียกว่าตัวยึด (clips) ส่วน a และ a' เรียกว่า ส่วนข้างของแบบ ขนาดของแบบเมื่อประกอบแล้วจะต้องให้ได้ตัวอย่างรูปรีเกทซึ่งมีขนาดดังนี้

ความยาวทั้งหมด	7.45	ถึง	7.55	ซม.
ระยะทางระหว่างตัวยึด	2.97	ถึง	3.03	ซม.
ความกว้างที่ปากตัวยึด	1.98	ถึง	2.02	ซม.
ความกว้างของส่วนแคบที่สุด	0.99	ถึง	1.01	ซม.



รูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดของแบบมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่าการยืดตัว (Ductility)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ( Water Bath ) เป็นอ่างน้ำที่สามารถปรับ และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ตามกำหนด เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า  $0.1^{\circ}\text{C}$  ( $0.18^{\circ}\text{F}$ ) ปริมาตรของน้ำไม่น้อยกว่า 10 ลิตร มีชั้นโปร่งสูงจากกันอ่างไม่น้อยกว่า 5 ซม. สำหรับวางตัวอย่าง และน้ำท่วมตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 ซม.

3. เครื่องดิ่ง ( Testing Machine ) เป็นเครื่องสำหรับดิ่งตัวอย่างที่หล่อแล้วให้แยกออกจากกันอาจจะใช้เครื่องมือแบบใดก็ได้ที่สามารถดิ่งตัวบุคคลทั้งสองให้ตัวยึด ออกด้วยอัตราความเร็วสม่ำเสมอตามที่กำหนด ไม่สิ้นสะเทือน และขณะทดลองตัวอย่างจะต้องจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลาตามที่กำหนดไว้ในวิธีการทดลอง

4) แผ่นทองเหลือง ( Brass Plate ) แผ่นทองเหลืองที่ใช้จะต้องมีผิวหน้าราบเรียบเมื่อวางแบบบนแผ่นทองเหลือง ผิวด้านล่างของแบบจะสัมผัสแผ่นทองเหลืองโดยตลอด

5) เทอร์โมมิเตอร์ ( Thermometer )

ช่วงอุณหภูมิ

-8 ถึง  $32^{\circ}\text{C}$

18 ถึง  $89^{\circ}\text{C}$

หมายเลขเทอร์โมมิเตอร์

63 C

63 F

6) ตะแกรงเบอร์ 50 ( 300- $\mu\text{M}$  )

## วิธีการทดสอบ

1) ใช้วัสดุผสมของกลีเซอริน ( glycerin ) และเด็กซ์ตริน ( dextrin ), แทลค์ ( talc ), หรือ คาโอลิน ( kaolin ) อย่างบางๆ ฉาบลงบนแผ่นทองเหลือง และส่วนข้างของแบบทางด้านใน ( ส่วน a และ a' ) ถ้าไม่มีวัสดุผสมดังกล่าวอาจใช้สบู่ทาก็ได้ เพื่อไม่ให้ตัวอย่างยึดติดกับแผ่นทองเหลือง และส่วนข้างของแบบ จากนั้นประกอบแบบทั้งหมดลงบนแผ่นทองเหลือง

2) ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจนให้สม่ำเสมอด้วยความระมัดระวัง ไม่ให้เกิดความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งมากเกินไป จนกระทั่งตัวอย่างเหลวพอที่จะเทได้

3) กรองตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 50 คนตัวอย่างให้ทั่วอีกครั้ง

4) เทตัวอย่างลงในแบบที่ประกอบไว้แล้ว การเทตัวอย่างเทลงเป็นสายเล็กๆ เทไปมาจากปลายข้างหนึ่งไปถึงอีกปลายข้างหนึ่งของแบบ จนกระทั่งตัวอย่างล้นออกจากแบบเล็กน้อย ปล่อยให้ตัวอย่างที่หล่อในแบบเย็นลงตามอุณหภูมิห้องทดลองเป็นเวลา 30 ถึง 40 นาที จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่กำหนดเป็นเวลา 30 นาที นำส่วนทั้งหมดขึ้นจากน้ำ ใช้มีดบางๆ หรือใบพายสำหรับปาด ( spatula ) ซึ่งอังไฟให้ร้อนพอประมาณ ตัดปาดตัวอย่างส่วนที่เกินออกจากแบบให้ผิวหน้าของตัวอย่างในแบบมีระดับ เรียบเต็มแบบพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) นำแผ่นทองเหลือง และแบบพร้อมตัวอย่างจากข้อ 4 วางลงในอ่างนี้ควบคุมอุณหภูมิ ตามอุณหภูมิที่กำหนดเป็นเวลา 85 ถึง 95 นาที ยกขึ้นจากอ่างเอาแผ่นทองเหลืองและส่วนข้างทั้งสองของ แบบออก แล้วนำไปทดลองดึงทันที

6) การดึงตัวอย่าง ให้เอาห่วงที่ปลายของตัวยึดทั้งสองข้าง ใส่ลงในขอกึ่งของเครื่อง แล้วเดินเครื่องดึงตัวยึด ให้แยกจากกันด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอตามกำหนด ( 50 ซม. / นาที ) เปลี่ยนแปลง ได้ไม่เกิน  $\pm 5\%$  จนกระทั่งตัวอย่างที่ยึดเป็นเส้นขาดออกจากกัน วัดระยะที่ยึดออกจนขาดจากกันใน หน่วยเซนติเมตร ในขณะที่ทดลองน้ำในอ่างของเครื่องดึงจะต้องคลุมตัวอย่างทั้งด้านบน และด้านล่าง อย่างน้อย 2.5 ซม. ( 77° F ) ภายในช่วง  $\pm 0.5^{\circ} \text{C}$  ( 0.9° F )



(ก) การควบคุมอุณหภูมิที่ 25° C

(ข) การการดึงตัวอย่าง

### รูปที่ 3.7 การทดสอบหาค่าการยืดตัว (Ductility)

#### การรายงาน

- 1) การทดลองปกติ วัสดุจะต้องยึดออกจากการดึงจนเป็นเส้นเล็กมากก่อนขาดจากกัน ตรงจุดที่วัดพื้นที่หน้าตัดไม่ได้ การรายงานให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ครั้ง
- 2) ถ้าเส้นตัวอย่างของวัสดุบิดู่มนลงขึ้นมาสัมผัสผิวของน้ำ หรือจมลงตะก้นของ อ่างในระหว่างดึงถือว่าการทดลองไม่ปกติ ให้ปรับความถ่วงจำเพาะภายในอ่างโดยเติม เมทิลแอลกอฮอล์ ( methylalcohol ) หรือ โซเดียมคลอไรด์ เพื่อไม่ให้วัสดุบิดู่มนลงสัมผัสกับผิวของน้ำ หรือจมลงตะก้นอ่างในระหว่างการทดลอง
- 3) ถ้าการทดลองไม่ปกติจากการทดลองสามครั้ง ให้รายงานการยึดตัวว่าทดลองไม่ได้ พร้อมกับสภาวะทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 วิธีการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว ( Softening Point ) ( ASTM D36-84 )

#### ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เป็นวิธีหาจุดอ่อนตัวของบิพูเมนในช่วง 30° หรือ 157° C ( 86° ถึง 315° F ) โดยใช้เครื่องมือวงแหวน และลูกกลม ( ring – and – ball apparatus ) แช่จมลงในน้ำกลั่น ( 31° ถึง 80° C ) หรือ UPS กลีเซอริน ( สูงกว่า 80° C ถึง 157° C ) หรือ เอทิลีน ( 30° C ถึง 110° C )

#### วิธีการโดยย่อ

หล่อตัวอย่างลงในวงแหวนทองเหลือง แล้ววางลูกกลมบนตัวอย่างในวงแหวน ประกอบเครื่องมือแล้วนำไปแช่ลงในกระบอกแก้วซึ่งบรรจุของเหลว และได้รับความร้อนตามอัตราที่กำหนด ของเหลวที่ร้อนจะทำให้วัสดุตัวอย่างอ่อนตัวลง จนในที่สุดไม่สามารถรองรับลูกกลมได้อีกต่อไป อุณหภูมิของของเหลวเมื่อตกจากวงแหวนเป็นระยะ 25 มิลลิเมตร เป็นจุดอ่อนตัวของวัสดุตัวอย่าง วัสดุบิพูเมนจะอ่อนตัวมากขึ้นและหนืดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จุดอ่อนตัวนี้มีประโยชน์ในการจำแนก วัสดุบิพูเมนซึ่งเป็นค่าหนึ่งที่ยบบอกถึงความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุ ที่ขนส่งจากแหล่งผลิต และยังเป็นค่าที่ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มที่วัสดุจะไหลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

#### อุปกรณ์

- 1) วงแหวน ( Rings ) วงแหวนทองเหลืองสองวงมีขนาดและรูปร่างดังรูป
- 2) แผ่นรอง ( Pouring Plate ) แผ่นทองเหลืองแบนเรียบขนาดประมาณ 50 X 75 มม. ( 2X3 นิ้ว ) ใช้รองรับในขณะที่เทตัวอย่าง
- 3) ลูกกลม ( Balls ) ลูกเหล็กกลมสองลูก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 มม. ( 3/8 นิ้ว ) น้ำหนักแต่ละลูก  $3.5 \pm 0.05$  กรัม
- 4) เครื่องจัดให้ลูกกลมอยู่ตรงกลาง ( Ball – Centering Guides ) ทำด้วยทองเหลืองใช้สำหรับจัดลูกเหล็กกลมให้วางอยู่ตรงกลางวงแหวน
- 5) กระบอกแก้ว ( Bath ) ทำด้วยแก้วทนความร้อนสูง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 85 มิลลิเมตร อาจใช้บีกเกอร์ทนความร้อนสูง ขนาดจุ 800 มิลลิตร ก็ได้
- 6) แท่นยึดวงแหวนและส่วนประกอบ ( Ring Holder and Assembly ) แท่นยึดทำด้วยทองเหลืองใช้รองรับวงแหวน ให้วางตัวอย่างในแนวราบ มีลักษณะดังแสดงในรูป ส่วนประกอบของเครื่องมือมีลักษณะดังแสดงในรูป บาด้านล่างของวงแหวนเมื่อวางบนแท่นยึด จะต้องอยู่สูงกว่าผิวบนแผ่นรองอันล่างเป็นระยะ  $16 \pm 3$  มิลลิเมตร ( 5/8  $\pm$  1/8 นิ้ว )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือมีลักษณะดังแสดงในรูป บ่าด้านล่างของวงแหวนเมื่อวางบนแท่นยึด จะต้องอยู่สูงกว่าผิวบน แผ่นรองอันล่างเป็นระยะ  $16 \pm 3$  มิลลิเมตร ( $5/8 \pm 1/8$  นิ้ว )

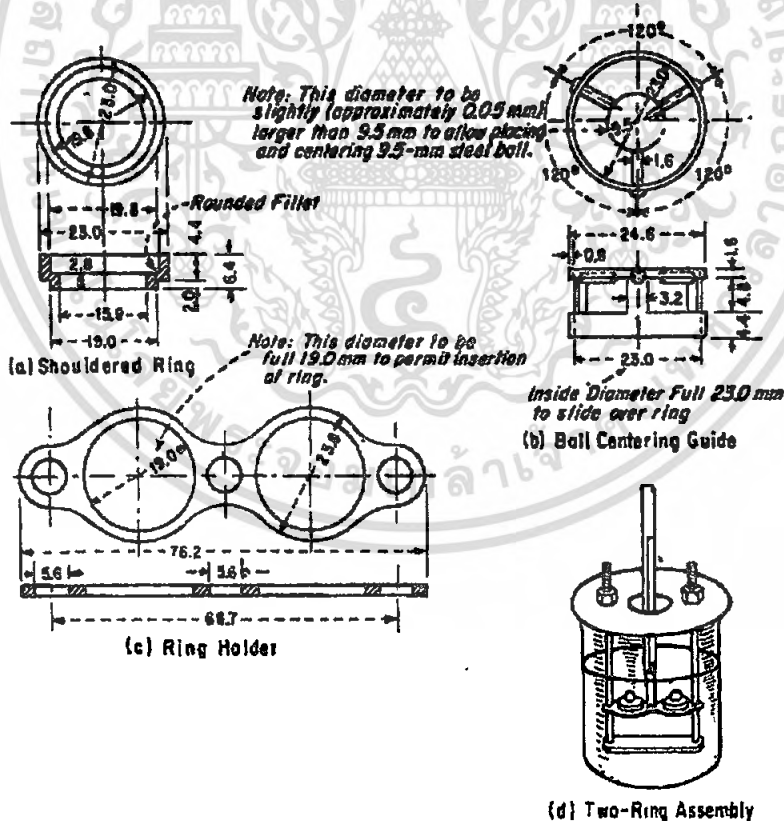
7) เทอร์โมมิเตอร์ ( Thermometer )

7.1) สำหรับจุดอ่อนตัวต่ำ ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีช่วงวัดจาก  $-2^{\circ} \text{C}$  ถึง  $\pm 80^{\circ} \text{C}$  หรือ  $30^{\circ} \text{F}$  ถึง  $180^{\circ} \text{F}$  และตรงตามข้อกำหนดของเทอร์โมมิเตอร์  $15^{\circ} \text{C}$  หรือ  $15^{\circ} \text{F}$  ดังระบุใน Specification E1 ของ ASTM

7.2) สำหรับจุดอ่อนตัวสูงใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ช่วงวัดจาก  $30^{\circ} \text{C}$  ถึง  $200^{\circ} \text{C}$  หรือ  $85^{\circ} \text{F}$  ถึง  $395^{\circ} \text{F}$  และตรงตามข้อกำหนดของเทอร์โมมิเตอร์  $16^{\circ} \text{C}$  หรือ  $16^{\circ} \text{F}$  Specification E1 ของ ASTM

7.3) เทอร์โมมิเตอร์  $113^{\circ} \text{C}$  หรือ  $113^{\circ} \text{F}$  สำหรับวัดจุดอ่อนตัวของวัสดุบิพูเมนจากช่วง  $-1^{\circ} \text{C}$  ถึง  $\pm 175^{\circ} \text{C}$  หรือ  $30^{\circ} \text{F}$  ถึง  $350^{\circ} \text{F}$

7.4) เมื่อประกอบเครื่องมือ ก้นกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ จะต้องได้รับวงแหวน อยู่ห่างจากวงแหวน 13 มิลลิเมตร ไม่สัมผัสกับวงแหวนและที่ยึดวงแหวน



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาจุดอ่อนตัว ( Softening Point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

1) การเตรียมตัวอย่างและทดลองวัสดุแอสฟัลต์จะต้องเสร็จสมบูรณ์ภายใน 6 ชั่วโมง ถ้าเป็นพวกโคลทาร์ จะต้องเสร็จสมบูรณ์ภายใน  $4\frac{1}{2}$  ชั่วโมง ให้ความร้อนแก่วัสดุบิซูเมน ด้วยความระมัดระวัง คนให้ตัวอย่างให้จุดหนึ่งจุดใดร้อนจนเกินไป จนกระทั่งเหลวพอที่จะเทได้ง่าย และต้องระมัดระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ การให้ความร้อนตัวอย่างโคลทาร์ ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง และอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวที่คาดไว้ไม่เกิน  $110^{\circ}\text{C}$  ( $200^{\circ}\text{F}$ ) สำหรับตัวอย่างโคลทาร์ให้ความร้อนไม่เกิน 30 นาที และอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวที่คาดไว้ไม่เกิน  $55^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) ถ้าการทดลองต้องปฏิบัติซ้ำห้ามให้ความร้อนซ้ำกับตัวอย่างเดิมให้ใช้วัสดุสำหรับตัวอย่างใหม่

2) ให้ความร้อนกับวงแหวนทองเหลืองทั้งสองวง ( แต่ไม่ให้ความร้อนกับแผ่นรอง ) ที่อุณหภูมิเท่าๆ กับอุณหภูมิของวัสดุขณะเท แล้วนำวงแหวนทองเหลืองไปวางบนแผ่นรอง ซึ่งฉาบด้วยวัสดุผสมของกลีเซอริน และเค็ลซ์ตริน, เทลล์ หรือคาโอลิน เพื่อกันไม่ให้ตัวอย่างเกาะติดแผ่นรอง

3) เทตัวอย่างในแหวนให้สั้นเล็กน้อย แล้วปล่อยให้เย็นลงตามอุณหภูมิแวดล้อมเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติอ่อนตัวตามอุณหภูมิห้องให้ปล่อยวัสดุเย็นลงที่อุณหภูมิซึ่งต่ำกว่าจุดอ่อนตัวที่คาดไว้อย่างน้อย  $10^{\circ}\text{C}$  ( $18^{\circ}\text{F}$ ) เป็นเวลาอย่างน้อยที่สุด 30 นาที เวลาตั้งแต่เริ่มต้นเทวัสดุตัวอย่างจนถึงเวลาเริ่มทดลองไม่ควรเกิน 240 นาที

4) เมื่อตัวอย่างเย็นลงให้ใช้มีดบางๆ สะอาดซึ่งอังไฟให้ร้อนแล้วตัดตัวอย่างส่วนเกินออกจนเรียบเสมอปากขอบวงแหวน

## วิธีการทดสอบ

1) เลือกของเหลวที่จะใส่ในกระบอกแก้ว และเทอร์โมมิเตอร์ให้เหมาะสมกับจุดอ่อนตัวที่คาดไว้ดังนี้

1.1) น้ำกลั่นสำหรับค่าจุดอ่อนตัวระหว่าง  $30^{\circ}$  กับ  $80^{\circ}\text{C}$  ( $86^{\circ}$  กับ  $176^{\circ}\text{F}$ ) ใช้เทอร์โมมิเตอร์  $15^{\circ}\text{C}$  หรือ  $15^{\circ}\text{F}$  เทอร์โมมิเตอร์ 113C หรือ 113F อุณหภูมิเริ่มต้นในกระบอกแก้ว  $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $41 \pm 2^{\circ}\text{F}$ )

1.2) UPS กลีเซอริน หรือจุดอ่อนตัวเกินกว่า  $80^{\circ}\text{C}$  ( $176^{\circ}\text{F}$ ) ถึง  $157^{\circ}\text{C}$  ( $315^{\circ}\text{F}$ ) ใช้เทอร์โมมิเตอร์  $16^{\circ}\text{C}$  หรือ  $16^{\circ}\text{F}$ , หรือเทอร์โมมิเตอร์  $113^{\circ}\text{C}$  หรือ  $113^{\circ}\text{F}$  อุณหภูมิเริ่มต้นในกระบอกแก้ว  $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $86 \pm 2^{\circ}\text{F}$ )

1.3) เอทิลีนไกลคอล สำหรับจุดอ่อนตัวระหว่าง  $30^{\circ}$  กับ  $110^{\circ}\text{C}$  ( $86$  กับ  $230^{\circ}\text{F}$ ) ใช้เทอร์โมมิเตอร์  $113^{\circ}\text{C}$  หรือ  $113^{\circ}\text{F}$  อุณหภูมิเริ่มต้นในกระบอกแก้ว  $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $41 \pm 2^{\circ}\text{F}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(  $41/8 \pm 1/8$  นิ้ว ) ถ้าใช้เทอร์มิสโตนโกลด์ต้องแน่ใจว่าพัดลมดูดอากาศของผู้ดูแลปฏิบัติงานอย่างเหมาะสมเพื่อขจัดควันพิษให้ปากคีบจับวางลูกกลมลงในกระบอแก้ว เพื่อจะให้หมีอุณหภูมิเท่ากับเครื่องทดลอง

3) วางกระบอแก้วที่ประกอบเครื่องมือแล้วลงในน้ำที่มีน้ำแข็ง หรือให้ความร้อนเล็กน้อยตามอุณหภูมิเริ่มต้นตามที่กำหนดเวลา 15 นาที แล้วยกออก

4) ใช้ปากคีบจับลูกกลมวางลงในเครื่องจัดศูนย์กลาง

5) ให้ความร้อนที่ก้นกระบอแก้ว โดยอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราสม่ำเสมอ  $5^{\circ}\text{C} / \text{นาที}$  (  $9^{\circ}\text{F} / \text{นาที}$  ) ป้องกันลมไม่ให้รบกวนอาจใช้ที่กำบังถ้าจำเป็น ในช่วง 1 นาที หลัง 3 นาทีแรก ขอมให้ อุณหภูมิมีความเปลี่ยนแปลงอัตราเพิ่มไม่เกิน  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (  $\pm 1.0^{\circ}\text{F}$  ) การทดลองใดที่ควบคุมอัตราเพิ่ม อุณหภูมิไม่อยู่ในช่วงกำหนดถือว่าใช้ไม่ได้

6) บันทึกอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ เมื่อลูกกลมตกกระทบแผ่นล่าง ( bottom - plate ) ถ้าอุณหภูมิที่ลูกกลมทั้งสองกระทบแผ่นล่างต่างกันเกิน  $1^{\circ}\text{C}$  (  $2^{\circ}\text{F}$  ) ให้ปฏิบัติการทดลองใหม่



(ก) การเตรียมตัวอย่าง

(ข) สังเกตลูกบอลตกลงพื้น

รูปที่ 3.9 การทดสอบหาจุดอ่อนตัว ( Softening Point )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณ

จุดอ่อนตัวในกระบอกแก้วที่บรรจุน้ำจะมีค่าต่ำกว่าจุดอ่อนตัวในกระบอกแก้วที่บรรจุกลีเซอรินในการแปลงค่าของจุดอ่อนตัว ซึ่งหาในน้ำ และมีค่าสูงกว่า  $80^{\circ}\text{C}$  ( $176^{\circ}\text{F}$ ) เล็กน้อย เป็นค่าจุดอ่อนตัวในกลีเซอริน ให้ใช้ค่าปรับแก้  $\pm 4.2^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 7.6^{\circ}\text{F}$ ) สำหรับแอสฟัลต์ และใช้  $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3.0^{\circ}\text{F}$ ) สำหรับวัสดุพวกโคลทาร์ (coal tar)

ผลการทดลองที่ใช้เอทธิลีนไกลโกลบรรจุในกระบอกแก้วจะมีค่าแตกต่างจากผลการใช้น้ำ หรือกลีเซอริน ซึ่งการแปลงค่าใช้สูตรดังต่อไปนี้

แอสฟัลต์ :

$$\text{จุดอ่อนตัว ( ใช้กลีเซอริน )} = 1.026583 \text{ ( ใช้เอทธิลีนไกลโกล )} - 1.334968^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จุดอ่อนตัว ( ใช้น้ำ )} = 0.974118 \text{ ( ใช้เอทธิลีนไกลโกล )} - 1.44459^{\circ}\text{C}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 วิธีการทดสอบหาจุดวาบไฟ และจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยคลิฟแลนด์โอเพน

( Flash Point Test by Cleveland Open-Cup )

( ASTM D92 )

#### ขอบข่าย

เพื่อหาอุณหภูมิวิกฤตของแอสฟัลต์ เพื่อใช้ป้องกันอันตรายในขณะที่ทำการเผาหรือหลอมละลายแอสฟัลต์ จุดวาบไฟ ( Flash Point ) เป็นจุดที่บ่งบอกอุณหภูมิค่าสุดท้ายที่แอสฟัลต์จะเริ่มระเหยกลายเป็นไอ โดยแอสฟัลต์จะเกิดวาบไฟเมื่อมีเปลวไฟกระทบถูก และอีกจุดหนึ่งที่เป็นอันตรายเช่นเดียวกันก็คือ จุดติดไฟ ( Fire Point ) ซึ่งเป็นจุดที่แอสฟัลต์เริ่มติดไฟเมื่อมีเปลวไฟมากระทบถูก โดยอุณหภูมิของจุดติดไฟจะสูงกว่าจุดวาบไฟ ดังนั้นการนำแอสฟัลต์ไปใช้งาน โดยการให้ความร้อนจึงจำเป็นจะต้องคำนึงถึงจุดวาบไฟ และจุดติดไฟทั้งสองจุดนี้

#### อุปกรณ์

1) เครื่องมือทำการทดลองจุดวาบไฟโดยใช้ถ้วยคลิฟแลนด์โอเพน ( Cleveland Open-Cup ) ประกอบด้วย

ก. ถ้วยทดลองมีที่จับ ( Test Cup )

ข. ที่รองรับถ้วยทดลอง ( Heating Plate )

ค. ที่จุดเปลวไฟทดลอง ( Test Flame Applicator ) โดยที่ปลายมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.6 มิลลิเมตร มีรูกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูในที่จุดเปลวไฟจะต้องอยู่สูงจากขอบถ้วยทดลองไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ควรมีปุ่มโลหะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2-4.8 มิลลิเมตร ติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อเปรียบเทียบขนาดของเปลวไฟ

ง. เครื่องให้ความร้อน ( Heater ) ควรใช้เตาไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ อาจใช้เตาแก๊สหรือตะเกียงแอลกอฮอล์อื่นก็ได้ แต่จะต้องไม่ถูกไหม้หรือไม่มีเปลวไฟเกิดขึ้นรอบๆ ถ้วยทดลอง

จ. ที่จับเทอร์โมมิเตอร์ ( Thermometer Support )

ฉ. ขาตั้งของที่รองรับถ้วยทดลอง ( Heating Plate Support )

2) ที่บังแสงและลม ( Shield ) เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส 460 มิลลิเมตร สูง 610 มิลลิเมตร เปิดด้านหน้าไว้

3) เทอร์โมมิเตอร์ ( Thermometer ) วัดได้ละเอียด  $1^{\circ}\text{C}$  และวัดได้สูงถึง  $400^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการทดสอบ

- 1) ตั้งเครื่องมือบนโต๊ะที่มั่นคงและไม่มีลมพัดผ่าน บังส่วนบนเครื่องมือด้วยที่บังแสงและลม เพื่อให้สามารถสังเกตแสงวาวไฟได้ชัดเจน
- 2) ล้างถ้วยทดลองให้สะอาดด้วยตัวทำลายที่เหมาะสม เช่น น้ำมันเบนซินหรือไตรคลอโรเอทิลีนเป็นต้น ใช้ฟอยโลหะขัดคาร์บอนที่ติดอยู่ และนำไปให้ความร้อนเพื่อให้ น้ำและตัวทำลายระเหยให้หมด ปล่อยให้ถ้วยทดลองเย็นตัวลงอย่างน้อย  $60^{\circ}\text{C}$  ให้ต่ำกว่าจุดวาวไฟที่คาดไว้จากนั้นนำมาติดตั้งบนที่รองรับถ้วยทดลอง
- 3) ตั้งเทอร์โมมิเตอร์ไว้ให้กระเปาะอยู่เหนือกันด้วย 6.3 มิลลิเมตร และห่างจากขอบถ้วยประมาณ 1 ใน 4 ของเส้นผ่าศูนย์กลางถ้วย
- 4) ถ้าตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลองเหนียวมาก ต้องอุ่นให้เหลวพอที่จะเทได้สะดวก อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นจะต้องต่ำกว่าจุดวาวไฟที่คาดไว้ไม่น้อยกว่า  $60^{\circ}\text{C}$
- 5) เทตัวอย่างลงในถ้วยทดลองจนถึงขีดกำหนด ถ้ามากเกินไปต้องนำออกโดยไม่ให้เลอะเทอะด้วยนอกของถ้วย ใส่ฟองอากาศที่ผิวหน้าตัวอย่างโดยใช้เปลวไฟจากตะเกียงเบนเสนผ่านผิวหน้าตัวอย่างจนหมด
- 6) ติดไฟที่จุดเปลวทดลองปรับให้เปลวไฟมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 ถึง 4.8 มิลลิเมตร
- 7) ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างโดยให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่าง  $14$  ถึง  $17^{\circ}\text{C}$  ( $25$  ถึง  $30^{\circ}\text{F}$ ) ต่อนาทีจนอุณหภูมิของตัวอย่างต่ำจากจุดวาวไฟที่คาดไว้ประมาณ  $60$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) จึงลดอัตราการเพิ่มความร้อนลงเรื่อยๆจนอัตรา  $5$  ถึง  $6^{\circ}\text{C}$  ( $9$  ถึง  $11^{\circ}\text{F}$ ) ต่อนาที
- 8) เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างต่ำกว่าจุดวาวไฟที่คาดไว้ประมาณ  $28^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{F}$ ) ให้ใช้เปลวไฟเคลื่อนที่ผ่านถ้วยทดลองทุก ๆ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $2^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{F}$ ) การผ่านเปลวไฟให้ผ่านจุดศูนย์กลางของถ้วยทดลองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ เป็นแนวเส้นตรงหรือเส้นรัศมีไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร  
ระยะเวลาที่เปลวไฟผ่านถ้วยทดลองประมาณ 1 วินาที
- 9) เมื่อเกิดการวาวไฟขึ้นบนผิวหน้าของตัวอย่าง ให้บันทึกอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์เป็นจุดวาวไฟ
- 10) หากต้องการหาจุดติดไฟก็ทำตามขั้นตอนที่ 8. ต่อแล้วสังเกตหากมีเปลววาวขึ้นที่ผิวตัวอย่างเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 วินาที ให้บันทึกอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์เป็นจุดติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การเตรียมตัวอย่าง



(ข) จุดวาบไฟและจุดติดไฟ

รูปที่ 3.10 การทดสอบจุดวาบไฟโดยใช้ถ้วยคลีฟแลนด์โอเพน (Cleveland Open-Cup)

#### การรายงาน

บันทึกอุณหภูมิที่เกิดการวาบไฟบนผิวหน้าตัวอย่าง และอุณหภูมิที่เกิดการวาบไฟบนผิวหน้าตัวอย่างไม่น้อยกว่า 5 วินาทีเป็นจุดวาบไฟ และจุดติดไฟ ตามลำดับ จุดวาบไฟและจุดติดไฟของการทดลอง 2 ครั้ง โดยผู้ทดลองคนเดียวกันต้องแตกต่างกันไม่เกิน  $8^{\circ}\text{C}$  ( $15^{\circ}\text{F}$ ) และผลการทดลองจากผู้ทดลองที่ต่างห้องทดลองกัน ต้องมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน  $17^{\circ}\text{C}$  ( $30^{\circ}\text{F}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.6 การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ (Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate)

#### ขอบข่าย

เพื่อทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบซึ่งมีขนาดเม็ดโตกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

#### นิยาม

“ การกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม (Particle Size Distribution)” หมายถึง การที่มวลรวมประกอบด้วยเม็ดวัสดุหลายขนาดต่างๆ กัน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดวัสดุ โดยการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุมวลรวมจะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงมาตรฐานในสเกลลอการิทึม (Logarithm Scale) เป็นแกนนอนกับร้อยละโดยมวลของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเป็นแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม

“ มวลรวม (Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ขึ้นไป

“ มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ถึง 4.75 มิลลิเมตร

“ มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตร ขึ้นไป

#### วัสดุและอุปกรณ์

- 1) มวลรวมหยาบประมาณ 2-5 กิโลกรัม
- 2) ตะกร้าลวดตาข่าย มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 ซม.และสูงประมาณ 60 ซม.

สามารถใส่มวลรวมได้ประมาณ 5 กก.

- 3) เตาอบ
- 4) ตาชั่งขนาดใหญ่
- 5) ถังบรรจุน้ำสะอาด
- 6) โถแก้วกันความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) มวลรวมที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 3/8



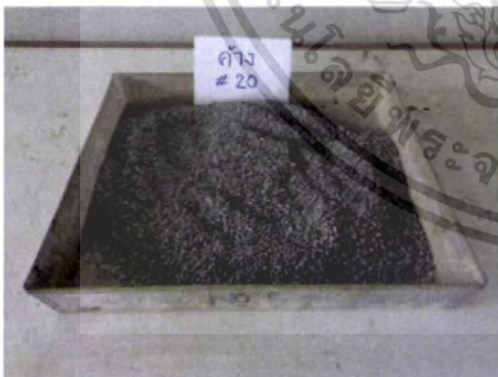
(ข) มวลรวมที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4



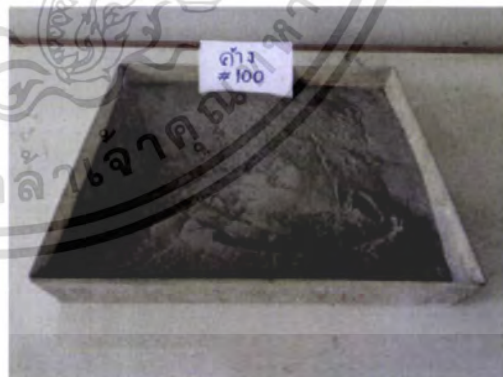
(ค) มวลรวมที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 8



(ง) มวลรวมที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 50



(จ) มวลรวมที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 20

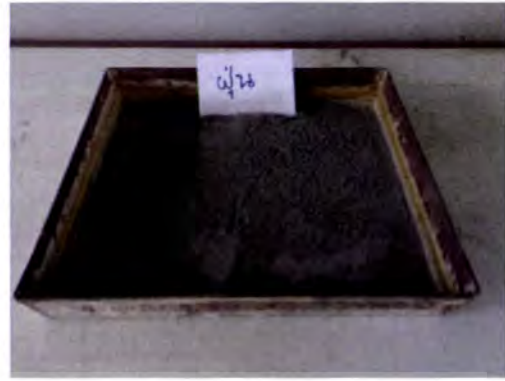


(ฉ) มวลรวมที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) มวลรวมที่ล้างตะแกรงเบอร์ 8



(ช) มวลรวมที่ล้างตะแกรงเบอร์ 8



(ฉ) ตะแกรงเบอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 3.11 วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ

#### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดสอบ ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือเศษวัสดุอื่นๆที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และนำไปทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 – 3 ชม.
- 2) จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง
- 3) นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงผ้าผืนใหญ่ๆที่สามารถซับน้ำได้
- 4) วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface - Dry) ให้ตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้ แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันทีและบันทึกค่าไว้เช่นกัน (อุณหภูมิของน้ำควรอยู่ระหว่าง  $23 \pm 1.7^\circ \text{C}$ )
- 5) หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ประมาณ 1 ชม. แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงนำมาใส่โดแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเช่นตัวลงตามปกติอีกประมาณ 1 – 3 ชม. หรือเย็นพอที่จะสัมผัสได้ จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

6) จากนั้นให้นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม} = A / (B-C)$$

(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม} = A / (A-C)$$

(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

$$\text{อัตราการดูดซึม, \%} = (B - A) / A$$

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.7 การทดสอบหาขนาดของเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง (Test for Gradation of Aggregate By Dry Sieve Analysis)

#### ขอบข่าย

เพื่อทำการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ ถึงขนาดเล็กมีขนาดตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร)

#### นิยาม

“การกระจายของขนาดวัสดุรวม (Particle Size Distribution)” หมายถึง การที่มวลรวมประกอบด้วยเม็ดวัสดุหลายขนาดต่างๆ กัน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดวัสดุ โดยการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุรวมจะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงมาตรฐานในสเกลลอการิทึม (Logarithm Scale) เป็นแกนนอนกับร้อยละโดยมวลของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเป็นแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายของขนาดวัสดุรวม

“มวลรวม (Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ขึ้นไป

“มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ถึง 4.75 มิลลิเมตร

“มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตร ขึ้นไป

#### วัสดุและอุปกรณ์

- 1) มวลรวมหยาบประมาณ 2-5 กิโลกรัม
- 2) ตะกร้าลวดตาข่าย มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 ซม. และสูงประมาณ 60 ซม. สามารถใส่มวลรวมได้ประมาณ 5 กก.

- 3) เตาอบ
- 4) ตาชั่งขนาดใหญ่
- 5) ถังบรรจุน้ำสะอาด
- 6) โถแก้วกันความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ทำการจัดเรียงลำดับตะแกรงจากขนาดใหญ่ไปหาขนาดเล็กพร้อมถาด
- 2) ใช้แปลงทำความสะอาดตะแกรง ตะแกรงขนาดหยาบควรใช้แปรงลวดของเหล็ก
- ส่วนตะแกรงขนาดละเอียดควรใช้แปรงขนอ่อน
- 3) ทำการชั่งมวลตะแกรงทุกขนาดแล้วทำการจดบันทึกค่าไว้
- 4) ประกอบชุดทดสอบและเรียงลำดับของตะแกรงขนาดละเอียดไปหาขนาดหยาบแล้วประกอบเข้ากับชุดเขย่า
- 5) เทตัวอย่างลงในตะแกรงบนสุด แล้วทำการเปิดเครื่องเขย่าเป็นเวลาประมาณ 15 นาที
- 6) เมื่อทำการเขย่าได้เวลาตามที่กำหนดก็ทำการปิดเครื่องแล้วนำตะแกรงและมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกข้อมูล
- 7) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงจากนั้นทำการ Plot Graph Log ระหว่างเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงกับขนาดตะแกรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.8 การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) (Test for Specific Gravity Fine Aggregate)

#### ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด

#### เครื่องมือ

- 1) เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม ซึ่งต้องมีความไว 0.1 กรัม เมื่อชั่งน้ำหนักในช่วงที่ใช้ในการทดลองต้องได้ความละเอียดไม่เกินร้อยละ 0.1 ของมวลรวมละเอียดที่ใช้
- 2) พิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) เป็นขวดแก้วรูปชมพู่ หรืออย่างอื่นที่เหมาะสม ซึ่งสามารถใส่มวลรวมละเอียดเข้าไปทดลองได้ง่าย และวัดปริมาตรได้ไม่แตกต่างกัน  $\pm 0.1$  มิลลิลิตร ความจุของขวดถึงขีดที่บอกปริมาตร ต้องมีอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของปริมาตรตัวอย่างตัวอย่างที่ทดลอง
- 3) แบบสำหรับใส่ตัวอย่าง เป็นแบบโลหะรูปกรวยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตอนบน 38 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว) เส้นผ่าศูนย์กลางด้านล่าง 89 มิลลิเมตร (3.5 นิ้ว) และมีความสูง 75 มิลลิเมตร (2.9 นิ้ว) ความหนาของแบบโลหะต้องหนาน้อยประมาณ 0.9 มิลลิเมตร

#### วัสดุที่ใช้ทดสอบ

มวลรวม และวัสดุอัดแทรกที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

#### วิธีการทดสอบ

- 1) นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วหนักประมาณ 500 กรัม ใส่ลงในพิกโนมิเตอร์ แล้วเติมน้ำลงไปจนได้ประมาณ 450 มิลลิลิตร ทำการไล่ฟองอากาศจนหมด โดยการนำไปตัมสลับกับการเขย่า และหมุนขวดพิกโนมิเตอร์กลับไปกลับมา
  - 2) เมื่อไล่ฟองอากาศจนหมด เติมน้ำลงไปจนถึงขีดที่บอกปริมาตร ทำการหาน้ำหนักทั้งหมดของขวดตัวอย่างซึ่งบรรจุมวลรวมและน้ำ โดยการชั่งแล้วบันทึกค่า
- ในการชั่งหาน้ำหนักทั้งหมดของขวด ตัวอย่างมวลรวมและน้ำ ให้ทำการชั่งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยทำการชั่งประมาณ 3 อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หมายเหตุ

1. น้ำหนักของตัวอย่างตามข้อ 1 อาจจะใช้ไม่ถึง 500 กรัม ก็ได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 50 กรัม
2. การหาปริมาตรของน้ำที่ใส่ลงในขวดฟิคโนมิเตอร์ อาจทำการหาปริมาตร โดยการใช้ บิวเรตที่มีความละเอียด 0.5 มิลลิลิตร และน้ำหนักของขวด + ฟิคโนมิเตอร์ + มวลรวม + น้ำ
3. นำตัวอย่างออกจากฟิคโนมิเตอร์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา  $1/2'' - 1 1/2''$  ชั่วโมงที่ทำการชั่งแล้วบันทึกค่า
4. ทำการหาน้ำหนักของฟิคโนมิเตอร์ที่มีน้ำถึงขีดบอกริมาตรการหาน้ำหนักของฟิคโนมิเตอร์ + น้ำ ให้ทำการหาที่หลายๆอุณหภูมิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.9 การทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index Test)

#### ขอบข่าย

การทดสอบนี้เป็นการหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) ของมวลรวมหยาบ โดยนำน้ำหนักของอนุภาคที่มีความหนาของด้านแบนน้อยกว่า  $\frac{3}{4}$  เท่าของขนาดเฉลี่ยของมวลรวมนั้น โดยคิดเป็นค่าร้อยละเทียบกับน้ำหนักของมวลรวมที่นำมาทดลอง

#### เครื่องมือ

- 1) ช่องวัดความหนา ประกอบด้วยช่องขนาดต่างๆ หลายขนาดแต่ละช่องมีตัวเลขกำกับอยู่ 2 ตัว ตัวเลขค่ามากหมายถึงส่วนของตะแกรงที่มีมวลรวมนั้นผ่าน ส่วนตัวเลขค่าน้อยเป็นส่วนของตะแกรงที่มวลรวมนั้นค้างอยู่
- 2) ภาชนะสำหรับใส่มวลรวม
- 3) เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

#### วัสดุที่ใช้ทดสอบ

มวลรวมตัวอย่างที่ได้จากการทำการทดลองหาขนาดอนุภาคของมวลรวม สำหรับมวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 ให้ทิ้งไป

#### การทดสอบ

- 1) นำตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงมาทดลองลอดผ่านช่องวัดความหนา โดยใช้ส่วนที่แบนที่สุดลอดผ่านตรง ช่องที่มีตัวเลขเท่ากับตัวเลขของตะแกรงที่ค้างนั้นทีละก้อน ให้ทำทุกๆ ขนาดของอนุภาคของมวลรวม
- 2) นำส่วนที่ค้างและส่วนที่ผ่านช่องวัดความหนาของมวลรวมแต่ละขนาดไปชั่งแล้วบันทึกค่าไว้

#### การคำนวณ

คำนวณหาค่าดัชนีความแบนได้จากสูตร

$$\text{ดัชนีความแบน (FI)} = \left( \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างทุกขนาดที่ลอดผ่านช่องวัดความหนา}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างส่วนที่ค้างและส่วนที่ผ่านทั้งหมด}} \right) \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดัชนีความแบน (FI)} = (Y / (X + Y)) \times 100$$

เมื่อ Y = น้ำหนักของตัวอย่างที่ลอดผ่านช่องวัดความหนาทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

X = น้ำหนักของตัวอย่างส่วนที่ค้างช่องวัดความหนาทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

### ข้อควรระวัง

การทดสอบลอดผ่านมวลรวมผ่านช่องวัดความหนา ห้ามไม่ให้คนมวลรวมเพื่อบังคับให้ผ่านช่องลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.10 การทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index Test)

#### ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เป็นวิธีการหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) ของมวลรวมหยาบ โดยหาน้ำหนักของอนุภาคที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่าของขนาดเฉลี่ยของมวลรวมนั้น คิดเป็นค่าร้อยละเทียบกับน้ำหนักของมวลรวมที่นำมาทดลอง

#### เครื่องมือ

1.) ช่องวัดความยาว ประกอบไปด้วยช่องขนาดต่างๆ หลายขนาด แต่ละช่องมีตัวเลขกำกับอยู่ 2 ตัว ตัวเลขค่ามากหมายถึงส่วนของตะแกรงที่มีมวลรวมนั้นผ่าน ตัวเลขค่าน้อยเป็นส่วนของตะแกรงที่มีมวลรวมนั้นๆ ค้างอยู่

2.) ภาชนะสำหรับใส่มวลรวม

3.) เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

#### วัสดุที่ใช้ทำการทดสอบ

มวลรวมตัวอย่างที่ได้จากการทดลองหาอนุภาคของมวลรวม สำหรับมวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 ให้ทิ้งไป

#### การทดสอบ

1) นำตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงมาทดลองลอดผ่านช่องวัดความยาวโดยใช้ส่วนที่ยาวที่สุดลอดผ่านตรงช่องที่มีตัวเลขเท่ากับตัวเลขของตะแกรงที่ค้างนั้นที่ละก้อน ให้ทำทุกๆ ขนาดของอนุภาคมวลรวม

2) นำส่วนที่ค้างและส่วนที่ผ่านช่องวัดความยาวของอนุภาคของมวลรวมแต่ละขนาดไปชั่งแล้วบันทึกค่าไว้

#### การคำนวณ

คำนวณหาค่าดัชนีความยาวจากสูตร

$$\text{ดัชนีความยาว (EI)} = \left( \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างทุกขนาดที่ค้างช่องวัดความยาว}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างส่วนที่ค้างและส่วนที่ผ่านทั้งหมด}} \right) \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดัชนีความยาว (EI)} = (Y / (X + Y)) \times 100$$

เมื่อ X คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ลอดผ่านช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

Y คือ น้ำหนักของตัวอย่างส่วนที่ค้างช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

### ข้อควรระวัง

1) การทดลองลอคมวลรวมผ่านช่องวัดความยาวห้ามไม่ให้ใช้แรงดันเพื่อบังคับ ให้มวลรวมผ่านช่องลอค

2) การทดลองลอคมวลรวมผ่านช่องวัดความยาวทุกครั้งต้องให้แกนตามความยาวของอนุภาคของมวลรวมขนานกับด้านยาวของช่อง ห้ามไม่ให้เอียงอนุภาคของมวลรวมเพื่อลอดผ่านช่องวัดความยาว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.11 การทดสอบหาค่าความสึกหรอของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องขัดสี

#### ลอสแอนเจลิส (Los Angeles Abrasion Test)

##### ขอบข่าย

การทดลองหาค่าความสึกหรอของมวลรวมหยาบ เป็นการหาค่าความสึกหรอของหิน ย่อย กรวดย่อย กรวด และมวลรวมหยาบชนิดอื่นๆ โดยใช้เครื่องขัดสีลอสแอนเจลิส (Los Angeles Abrasion)

##### เครื่องมือ

1) เครื่องขัดสีลอสแอนเจลิส ประกอบด้วยถังเหล็กทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน  $711 \pm 5$  มิลลิเมตร ( $28 \pm 0.2$  นิ้ว) ความยาวภายใน  $580 \pm 5$  มิลลิเมตร ( $20 \pm 0.2$  นิ้ว) ถังเหล็กทรงกระบอกนี้ติดอยู่กับเพลาลูกหมุนรอบแกนได้แน่นอน มีช่องสำหรับใส่มวลรวมพร้อมฝาเหล็กปิด เมื่อปิดแล้วต้องมีลักษณะของผิวด้านในเหมือนกับผิวทรงกระบอกและเสมอกันไม่ทำให้ลูกเหล็กทรงกลมสะดุดเวลาผ่านรอยต่อมีเหล็กวางสูง  $89 \pm 2$  มิลลิเมตร ( $3.5 \pm 0.1$  นิ้ว) ยาว  $508 \pm 2$  มิลลิเมตร ( $20 \pm 0.2$  นิ้ว) ติดแน่นด้านในถังเหล็กทรงกระบอก ความสูงของเหล็กวางอยู่ในแนวรัศมีของทรงกระบอก ความยาวของเส้นรอบวงภายนอกวัดในทิศทางที่ถังเหล็กทรงกระบอกหมุนจากเหล็กวางถึงช่องสำหรับใส่มวลรวมไม่น้อยกว่า 1270 มิลลิเมตร (50 นิ้ว)

2) ตะแกรงสำหรับหาขนาดของมวลรวมหยาบ ใช้ตะแกรงมีช่องผ่านเป็นเหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 75 มิลลิเมตร (3 นิ้ว) 63.0 มิลลิเมตร ( $2 \frac{1}{2}$  นิ้ว) 50.0 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) 37.5 มิลลิเมตร ( $1 \frac{1}{2}$  นิ้ว) 25.0 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) 19.0 มิลลิเมตร ( $\frac{3}{4}$  นิ้ว) 12.5 มิลลิเมตร ( $\frac{1}{2}$  นิ้ว) 9.5 มิลลิเมตร ( $\frac{3}{8}$  นิ้ว) 6.3 มิลลิเมตร ( $\frac{1}{4}$  นิ้ว) เบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เบอร์ 8 (2.36 มิลลิเมตร) และเบอร์ 12 (1.70 มิลลิเมตร)

3) ลูกเหล็กทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 46.8 มิลลิเมตร ( $\frac{127}{32}$  นิ้ว) แต่ละลูกมีน้ำหนักระหว่าง 390 ถึง 445 กรัม จำนวนลูกเหล็กทรงกลมขึ้นอยู่กับการจัดเกรดของตัวอย่างที่กำหนดไว้ในตาราง 5-1

4) เครื่องชั่งซึ่งสามารถชั่งได้ 15 กิโลกรัม ความละเอียดอ่านได้ถึง 1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 จำนวนลูกเหล็กทรงกลมที่ใช้ในการทดลองแต่ละเกรด

เกรด	จำนวนลูกเหล็กทรงกลม	มวลรวม (กรัม)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25

#### การเตรียมตัวอย่าง

- 1) ถ้าตัวอย่างไม่มีดินเหนียวปน เช่น กรวดปนทราย หินโม้ ให้ตากตัวอย่าง 3. จนแห้ง 4. หรืออบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 ถึง 110 องศาเซลเซียส แล้วทำตามข้อ 3
- 2) ถ้าตัวอย่างมีดินเหนียวปน หรือมีส่วนละเอียดคิดเป็นก้อนใหญ่แน่น ให้นำตัวอย่างไปล้างน้ำ เอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ออกทิ้งแล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ถึง 110 องศาเซลเซียส แล้วทำตามข้อ 3
- 3) นำตัวอย่างไปแยกขนาดตามเกรดในตาราง 5-2 ถ้าเข้าได้หลายเกรดให้เลือกใช้ตัวที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด

#### การทดสอบ

นำตัวอย่างที่เตรียม และ ลูกเหล็กทรงกลมตามจำนวนลูกในตารางที่ 5-1 ใส่เข้าไปในเครื่องชดสีสอตนเองเจลิส หมุนเครื่องด้วยความเร็วที่ 30 ถึง 33 รอบต่อนาที ให้ได้จำนวนรอบตามตาราง 5-2 เมื่อหมุนได้ครบตามกำหนดแล้ว ให้เอาตัวอย่างออกจากเครื่องล้างส่วนตะแกรงเบอร์ 12 ออกทิ้ง นำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 12 มาอบที่อุณหภูมิ 105 ถึง 110 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ จึงชั่งหาน้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือ

#### การคำนวณ

$$\text{ค่าร้อยละของการสึกหรอ} = ((w_1 - w_2)/w_1) \times 100$$

เมื่อ  $w_1$  คือ น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดลอง

$w_2$  คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังจากทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ขนาดเกรดและจำนวนรอบ

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)		น้ำหนัก (กรัม) และเกรดของตัวอย่าง						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
75.0	63.0	-	-	-	-	2500±50	-	-
63.0	50.0	-	-	-	-	2500±50	-	-
50.0	37.5	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
37.5	25.0	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25
25.0	19.0	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19.0	12.5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12.5	9.5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9.5	6.3	-	-	2500±10	-	-	-	-
6.3	เบอร์ 4	-	-	2500±10	-	-	-	-
เบอร์ 4	เบอร์ 8	-	-	-	5000±10	-	-	-
น้ำหนักรวม		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
จำนวนรอบ		500				1000		

### ข้อควรระวัง

ให้ทำการชั่งลูกเหล็กทรงกลมแต่ละลูกอย่างน้อย 1 ครั้ง ทุกๆ 6 เดือน เพื่อตรวจสอบให้  
 ค่ามวลเป็นไปตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.12 วิธีการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ( ASTM – 1559 )

#### ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เพื่อหาคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้เป็นผิวทางหรือพื้นทางแบบแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

#### อุปกรณ์

- 1) กระจกมั่งเกลือหรือภาชนะโลหะที่มีขอบสูงประมาณ 7 ซม. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างขอบประมาณ 25 ซม. สำหรับใส่วัสดุ Aggregate
- 2) ภาชนะโลหะมีขอบสูงประมาณ 15 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางของขอบประมาณ 30 ซม. สำหรับใช้ผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลต์



รูปที่ 3.12 หม้อผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลต์

- 3) เตาลมที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 250 องศาเซลเซียส สำหรับอบAggregate
- 4) เตาแบบ Hot plate ที่สามารถให้อุณหภูมิได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส สำหรับให้ความร้อนแอสฟัลต์และเครื่องมือที่ใช้ในการบดทับ
- 5) หม้อโลหะสำหรับใส่แอสฟัลต์เพื่อให้ความร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 องศาเซลเซียส
- 6) เครื่องใช้ผสมวัสดุ Aggregate กับยางแอสฟัลต์
- 7) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดมีก้านเป็นโลหะ สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 250 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) เครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 5 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 1 กรัม สำหรับชั่งวัสดุ Aggregate และยางแอสฟัลต์

9) เครื่องชั่ง สามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 2 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 1.1 กรัม ใช้สำหรับชั่งวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดทับแล้ว

10) อ่างต้มน้ำ ( Boiling water bath ) มีตะแกรงลวดสำหรับวางวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดทับแล้ว สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการได้

11) แท่นรอง ( Compaction Pedestal ) ประกอบด้วยฐานไม้ ขนาดประมาณ 20 x 20 x 45 ซม. ( 8 x 8 x 18 นิ้ว ) มีแผ่นโลหะขนาดประมาณ 30 x 30 x 2.5 ซม. ( 12 x 12 x 1 นิ้ว ) ติดอยู่ที่ขอบบนของฐานไม้ ฐานไม้ควรเป็นไม้ที่มีความแน่นแห้ง 0.65 ถึง 0.80 กรัม/ลบ.ซม. (ประมาณ 42-48 ปอนด์/ลบ.ฟุต) แผ่นเหล็กจะต้องยึดแน่นกับฐานไม้

12) แบบสำหรับบดทับ ( Compaction mold ) ประกอบด้วยแผ่นฐาน ( Base plate ) แบบ ( Mod ) และปลอก ( collar extension mold ) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.16 ซม. ( 4 นิ้ว ) สูง 762 ซม. ( 3 นิ้ว )



รูปที่ 3.13 แบบสำหรับบดทับ ( Compaction mold )

13) ค้อน ( Compaction hammer ) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 ซม. ( 0.5 นิ้ว ) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.842 ซม. ( 3.875 นิ้ว ) ติดกับก้านเหล็กซึ่งมีแท่งเหล็กหนัก 4.45 กก. ( 10 ปอนด์ ) สำหรับต้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลม ในขณะที่ทำการบดทับให้มีระยะตกของแท่งเหล็กเท่ากับ 45.72 ซม. ( 18 นิ้ว )

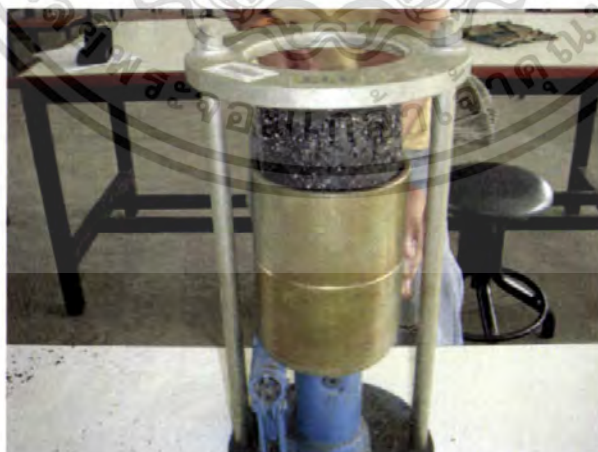
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทับ

- 14) ที่จับแบบ ( Mold holder ) ใช้บังคับให้แบบสำหรับบดทับอยู่กับที่ในขณะที่ทำการบด
- 15) เครื่องดันตัวอย่าง ( Sample extruder )
- 16) ถุงมือกันความร้อนชนิดใยหิน ( Asbestos )
- 17) ถุงมือกันความร้อนหนังหรือยาง สำหรับหยิบตัวอย่างที่แช่ในน้ำ



รูปที่ 3.14 ก้อน ( Compaction hammer ) ที่ใช้ในการบดทับ



รูปที่ 3.15 เครื่องดันตัวอย่าง ( Sample extruder )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18) เครื่องทดสอบ Marshall ( Marshall Testing Machine ) ใช้สำหรับทดสอบหาค่า Stability เป็นเครื่องกดที่สามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 3,000 กิโลกรัม ( 6,000 ปอนด์ ) เป็นแบบจุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนจุดต้องทำให้ฐานหรือท่อนกดเครื่องที่ด้วยความเร็ว 5 ซม. ต่อนาที ( ประมาณ 2 นิ้วต่อนาที ) เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving ring อ่านค่าแรงกดหรือเครื่องกดอื่นใดที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า

19.แบบทดสอบStability( Stability mold ) สำหรับใส่ตัวอย่างทดสอบหาค่า Stability

20. เครื่องวัด Flow ( Flow meter ) สำหรับทดสอบหาค่า Flow ของตัวอย่างระหว่างกด อ่านค่าได้เป็น 1/10 มม.



รูปที่ 3.16 แบบทดสอบ Stability ( Stability mold )



รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบMarshall ( Marshall Testing Machine )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเตรียมตัวอย่าง

นำวัสดุ Aggregate มาดำเนินการดังนี้

- 1) ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดหยาบ โดย “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม้ล้าง” ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516
- 2) ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดละเอียด โดย “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517
- 3) ทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบ โดย “วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ” ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 207/2517
- 4) ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด โดย “วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียด” ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 208/2518
- 5) หาอัตราส่วนผสมของวัสดุ Aggregate เมื่อรวมกันแล้ว ได้ขนาดตามที่ต้องการ (Blending)
- 6) นำวัสดุ Aggregate ตามอัตราส่วนที่หาได้ (เมื่อบดทับแล้วตัวอย่างจะหนาประมาณ 6.35 ซม. 2.5 นิ้ว) ใส่ในกะละมังเคลือบ ไปอบในเตาอบให้ได้อุณหภูมิสูงถึง  $160 \pm 5$  องศาเซลเซียส
- 7) นำแบบสำหรับบดทับและค้อนไปวางบน Hot plate ที่มีอุณหภูมิระหว่าง 90 – 150 องศาเซลเซียส
- 8) นำวัสดุแอสฟัลต์ที่จะใช้ผสมไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลต์ มีค่า Viscosity เท่ากับ  $85 \pm 10$  second Saybolt Furol

## การทดสอบ

- 1) นำกะละมังใส่ตัวอย่างวัสดุ Aggregate ออกจากเตาอบแล้วเทวัสดุลงในภาชนะโลหะสำหรับผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลต์ ใช้เกรียงผสมให้วัสดุ Aggregate แต่ละขนาดตกลงให้ทั่วทั้งไว้ให้อุณหภูมิของ Aggregate ลดลงถึง  $145 \pm 5$  องศาเซลเซียส ใช้เกรียงเกลี่ยตรงกลางวัสดุให้เป็นแอ่ง แล้วเทแอสฟัลต์ที่เตรียมไว้ ตามปริมาณที่ต้องการลงในแอ่งตัวอย่าง
- 2) นำภาชนะโลหะ ขึ้นตั้งบน Hot plate ใช้เกรียงผสมให้วัสดุ Aggregate และแอสฟัลต์ ให้เข้ากัน โดยเร็วที่สุด โดยปกติประมาณ 1 นาที พยายามให้แอสฟัลต์เคลือบวัสดุทุกเม็ด
- 3) นำแบบสำหรับบดทับมาประกอบเข้าที่
- 4) เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบๆ ตัวอย่างข้างในแบบประมาณ 15 ครั้ง และแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของตัวอย่างลดลง ที่อุณหภูมิเมื่อแอสฟัลต์มี Viscosity เท่ากับ  $140 \pm 15$  Second Sayblot Furol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) วางก้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและปล่อยให้น้ำหนักตกลงบนแผ่นเหล็ก จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับกรอกแบบซึ่งแบ่งออกเป็น

ก) แอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น Light traffic และ Medium traffic จำนวนครั้งใช้ 50 ครั้ง

ข) แอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น Heavy traffic และ Very heavy traffic จำนวนครั้งใช้ 75 ครั้ง

6) เมื่อครบจำนวนการบดทับแล้ว ทำการกลับตัวอย่างโดยการกลับแบบเอาด้านล่างขึ้นด้านบน แล้วทำการบดทับเช่นเดียวกับข้อ 5

7) ทิ้งตัวอย่างที่บดทับเรียบร้อยแล้วไว้ในแบบ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส จึงนำตัวอย่างออกจากแบบ โดยใช้เครื่องคั่นตัวอย่าง ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศธรรมดาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง จึงนำไปทดลองขั้นต่อไป

8) ในปริมาณของการผสม โดยใช้แอสฟัลต์เปอร์เซ็นต์อื่นหนึ่งอันใด ให้เตรียม ตัวอย่างอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง สำหรับการออกแบบให้ใช้ตัวอย่างแต่ละเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลต์อย่างน้อย 5 ค่า และแต่ละค่าต่างกัน 0.5%

9) ทำการทดลองหาความแน่นของตัวอย่างโดย

ก) นำตัวอย่างไปชั่งหาน้ำหนักในอากาศ

ข) นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดาประมาณ 5 นาที แล้วนำตัวอย่างขึ้นเช็ดตัวอย่างให้ผิวดแห้ง ชั่งหาน้ำหนักในอากาศ

ค) นำตัวอย่างข้อ ข. ไปชั่งหาน้ำหนักในน้ำ

10) ทำการทดลองหาค่า Stability และ Flow

ก) นำตัวอย่างที่เสร็จจากการทดลองแล้ว ไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ  $60 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในอ่างคัมน้ำ

ข) เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างขึ้นจากอ่างคัมน้ำ เช็ดให้ผิวตัวอย่างแห้งแล้วนำไปใส่ในแบบทดลอง Stability เพื่อไปทดสอบค่า Stability และค่า Flow

ค) นำแบบทดลอง Stability ที่ได้จากข้อ ข. ไปวางบนเครื่องทดลอง Marshall ให้แบบทดลอง Stability อยู่ใต้ท่อนกด (piston) ซึ่งติดกับ proving ring สำหรับอ่างน้ำกด

ง) เดินเครื่องให้แบบทดลอง Stability เคลื่อนไปสัมผัสกับท่อนกดจนกระทั่งเข็มของ dial gauge ที่ติดกับ proving ring ขยับตัว หยุดเครื่องทำการตั้งเข็มของ dial gauge ที่เลข 0

จ) นำเครื่องวัด Flow ไปวางบนแกนที่สำหรับทดลองหาค่า Flow ซึ่งติดกับแบบทดลอง Stability ตั้งเข็ม dial gauge ของเครื่องวัด Flow ให้อยู่ที่เลข 0 ใช้มือจับเครื่องวัด Flow ให้นิ่งอยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ) เดินเครื่องให้กดเพื่อทดสอบหาค่า Stability โดยอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่จดจาก proving ring เป็นค่าที่ได้ ( measured ) ซึ่งต้องแก้ไข ( adjust ) สำหรับตัวอย่างมาตรฐานที่หนา 6.35 ซม. ( 2.5 นิ้ว )

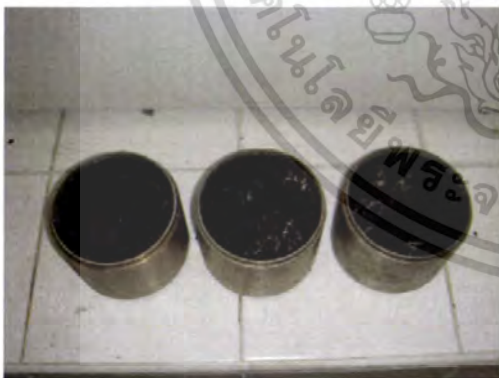
ช) ขณะที่ทำการทดสอบหาค่า Stability เข็ม Dial gauge ของเครื่องวัด Flow จะเคลื่อนที่ อ่านค่า Flow จาก Dial gauge ของเครื่องวัด Flow จะเคลื่อนที่ อ่านค่า Flow จาก Dial gauge ที่ น้ำหนักกดสูงสุด



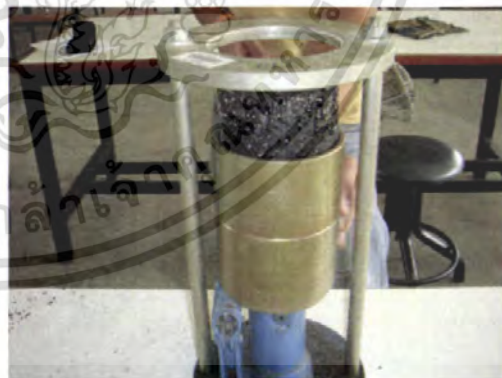
(ก) การเตรียมก้อนตัวอย่าง



(ข) ทำการบดอัด 75 ครั้ง



(ค) ก้อนตัวอย่างที่ผ่านการบดอัด



(ง) การนำก้อนตัวอย่างออกจากแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่าง

(ค) ทดสอบเสถียรภาพและการไหล

รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการทดสอบการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์

**การคำนวณ**

คำนวณหาค่า Bulk Specific gravity, V.M.A. ( Voids in mineral aggregate ) Air Void และ V.F.B ( Voids filled with bitumen ) ดังนี้

1) คำนวณหา Effective asphalt cement by weight of mix (b)

สูตร

$$b_1 = b - \frac{x(100-b)}{100}$$

เมื่อ

b = % asphalt cement by weight of mix

x = asphalt lost by absorption

(1 kg. Of AC/100 kg. Of Agg.)

2) คำนวณหา Bulk Specific Gravity of Specimen (g)

สูตร

$$g = \frac{d}{d-e}$$

เมื่อ

d = weight of specimen in air ; gm

b<sub>1</sub> = weight of specimen at saturated surface

dry condition ; gm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e = weight of saturated Specimen immersed in water ; gm

3) คำนวณหา Percent total value of affective asphalt cement ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว

สูตร 
$$i = \frac{b_1 g}{G_{ac}}$$

เมื่อ  $G_{ac}$  = Bulk Specific Gravity of Asphalt Cement

4) คำนวณหา Percent total value of aggregate ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว (j)

สูตร 
$$j = \frac{(100-b)}{G_{ac}}$$

เมื่อ  $G_{ac}$  = Bulk Specific Gravity of Blended Agg.

5) คำนวณหา Percent air voids ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว

สูตร 
$$\text{Air Voids} = 100 - i - j$$

6) คำนวณหา V.M.A. ( Voids in mineral aggregate )

สูตร 
$$\text{V.M.A} = 100 - j$$

7) คำนวณหา V.F.B ( Voids filled with bitumen )

สูตร 
$$\text{V.F.B.} = 100_j$$
  
J

8) นำค่าต่างๆ ที่คำนวณได้ไปเขียน curves แสดงความสัมพันธ์ดังนี้

8.1) ความสัมพันธ์ระหว่าง Stability กับ % Asphalt cement by weight of aggregate

8.2) ความสัมพันธ์ระหว่าง Flow กับ %Asphalt cement by weight of aggregate

8.3) ความสัมพันธ์ระหว่าง Unit weight of total mix กับ% Asphalt cement by

weight of aggregate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4) ความสัมพันธ์ระหว่าง % Air Voids กับ%Asphalt cement by weight of aggregate

8.5) ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.M.A. กับ%Asphalt cement by weight of aggregate

8.6) ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.F.B. กับ%Asphalt cement by weight of aggregate

### **สถานที่ทดสอบ**

ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมทาง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### **ระยะเวลาในการทำวิจัย**

เริ่มงานวิจัย เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2550 สิ้นสุด เดือนมีนาคม พ.ศ. 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

## ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

### 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาค่าความจืดจ้ำเพาะและความหนาแน่น ( Asphalt Cement Grade 60/70 )

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG				
SPECIFIC GRAVITY AND DENSITY OF ASPHALT CEMENT				
PROJECT	<i>Special Project 1</i>		TESTED DATE	<i>9 - 09 - 2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>		TESTED BY	<i>MAT - 1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70</i>			
TEST NO.		1	2	3
PYCNOMETER NO.		611	631	866
TEST TEMPERATURE	°C	25	25	25
MASS OF PYCNOMETER PLUS STOPPER (A)	g	33.72	34.94	33.99
MASS OF PYCNOMETER WITH WATER (B)	g	58.83	59.13	59.63
MASS OF PYCNOMETER PARTIALLY FILLED WITH ASPHALT (C)	g	51.19	51.57	52.94
MASS OF PYCNOMETER PLUS ASPHALT PLUS WATER (D)	g	59.15	59.45	59.92
SPECIFIC GRAVITY (GA)=(C-A)/[(B-A)-(D-C)]		1.019	1.020	1.016
AVERAGE SPECIFIC GRAVITY		1.018		
DENSITY OF WATER (W)	kg/m <sup>3</sup>	997.00	997.00	997.00
DENSITY = G x W	kg/m <sup>3</sup>	1016	1017	1013
AVERAGE DENSITY	kg/m <sup>3</sup>	1015.333		

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (Asphalt Cement Grade 60/70)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
PENETRATION TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>		TESTED DATE	<i>9-09-2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>		TESTED BY	<i>MAT-1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70</i>				
TOTAL LOAD	<i>100 g</i>				
TIME	<i>5 second</i>				
TEMPERATURE	<i>25 °C</i>				
SAMPLE NO.	PENETRATION NO.			AVERAGE PENETRATION	REMARK
	1	2	3		
1	68	66	67	67.00	
2	69	68	70	69.00	
3	68	69	69	68.67	
AVERAGE TOTAL				68.22	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าการยืดตัว (Asphalt Cement Grade 60/70)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
DUCTILITY TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>9 - 09 - 2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT - 1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70</i>				
TEMPERATURE	<i>25 °C</i>				
SAMPLE NO.	DUCTILITY NO.			AVERAGE	REMARK
	1	2	3	DUCTILITY (cm)	
1	138.60	144.10	142.50	141.73	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (Asphalt Cement Grade 60/70)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							
SOFTENING TEST							
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	9 - 09 - 2550		
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT - 1</i>		
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70</i>						
TEST NO.		1		2		3	
SOFTENING POINT	°C	45.9	46.0	45.5	45.6	45.9	45.9
AVERAGE SOFTENING POINT	°C	45.95		45.55		45.90	
TOTAL SOFTENING POINT	°C	45.80					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยกลีฟแลนด์โอเพน  
( Asphalt Cement Grade 60/70 )

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
FLASH POINT TEST BY CLEVELAND OPEN-CUP					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>9-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70</i>				
FLASH POINT					
SAMPLE NO.	FLASH POINT (°C)			AVERAGE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	330	333	332	331.67	
FIRE POINT					
SAMPLE NO.	FIRE POINT (°C)			AVERAGE FIRE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	350	358	354	354.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น (PRMA 2%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY					
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING					
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
SPECIFIC GRAVITY AND DENSITY OF ASPHALT CEMENT					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>	TESTED DATE	<i>10-09-2550</i>		
CLIENT	<i>KMITL</i>	TESTED BY	<i>MAT-1</i>		
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 2 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
TEST NO.			1	2	3
PYCNOMETER NO.			611	631	866
TEST TEMPERATURE		°C	25	25	25
MASS OF PYCNOMETER PLUS STOPPER (A)		g	33.72	34.94	33.99
MASS OF PYCNOMETER WITH WATER (B)		g	58.81	59.17	59.61
MASS OF PYCNOMETER PARTIALLY FILLED WITH ASPHALT (C)		g	49.79	50.35	52.13
MASS OF PYCNOMETER PLUS ASPHALT PLUS WATER (D)		g	59.06	59.38	59.86
SPECIFIC GRAVITY (GA)=(C-A)/[(B-A)-(D-C)]			1.016	1.014	1.014
AVERAGE SPECIFIC GRAVITY			1.015		
DENSITY OF WATER (W)		kg/m <sup>3</sup>	997.00	997.00	997.00
DENSITY = G x W		kg/m <sup>3</sup>	1013	1011	1011
AVERAGE DENSITY		kg/m <sup>3</sup>	1011.667		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 2%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
PENETRATION TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>10-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 2 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
TOTAL LOAD	<i>100</i>	<i>g.</i>			
TIME	<i>5</i>	<i>second</i>			
TEMPERATURE	<i>25</i>	<i>°C</i>			
SAMPLE NO.	PENETRATION NO.			AVERAGE PENETRATION	REMARK
	1	2	3		
1	65	62	61	62.67	
2	59	61	61	60.33	
3	61	60	63	61.33	
AVERAGE TOTAL				61.44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบหาค่าการยืดตัว (PRMA 2%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
DUCTILITY TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>10-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 2 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
TEMPERATURE	<i>25 °C</i>				
SAMPLE NO.	DUCTILITY NO.			AVERAGE	REMARK
	1	2	3	DUCTILITY (cm)	
1	131.5	129.40	133.20	131.37	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 2%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							
SOFTENING TEST							
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>10-09-2550</i>		
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>		
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 2 เปอร์เซ็นต์)</i>						
TEST NO.		1		2		3	
SOFTENING POINT	°C	47.0	47.1	47.2	46.5	46.8	46.5
AVERAGE SOFTENING POINT	°C	47.05		46.85		46.65	
TOTAL SOFTENING POINT	°C	46.85					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วย克利ฟแลนด์โอเพน (PRMA 2%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
FLASH POINT TEST BY CLEVELAND OPEN-CUP					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>10 - 09 - 2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT - 1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 2 เปอร์เซนต์)</i>				
FLASH POINT					
SAMPLE NO.	FLASH POINT (°C)			AVERAGE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	307	310	312	309.67	
FIRE POINT					
SAMPLE NO.	FIRE POINT (°C)			AVERAGE FIRE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	340	342	342	341.33	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น (PRMA 4%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY. DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG				
SPECIFIC GRAVITY AND DENSITY OF ASPHALT CEMENT				
PROJECT	<i>Special Project 1</i>	TESTED DATE	<i>11-09-2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>	TESTED BY	<i>MAT-1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 4 เปรอร์เซ็นต์)</i>			
TEST NO.		1	2	3
PYCNOMETER NO.		611	631	866
TEST TEMPERATURE	°C	25	25	25
MASS OF PYCNOMETER PLUS STOPPER (A)	g	33.72	34.94	33.99
MASS OF PYCNOMETER WITH WATER (B)	g	58.77	59.16	59.60
MASS OF PYCNOMETER PARTIALLY FILLED WITH ASPHALT (C)	g	49.35	50.28	52.24
MASS OF PYCNOMETER PLUS ASPHALT PLUS WATER (D)	g	58.98	59.35	59.82
SPECIFIC GRAVITY (GA)=(C-A)/[(B-A)-(D-C)]		1.014	1.013	1.012
AVERAGE SPECIFIC GRAVITY		1.013		
DENSITY OF WATER (W)	kg/m <sup>3</sup>	997.00	997.00	997.00
DENSITY = G x W	kg/m <sup>3</sup>	1011	1010	1009
AVERAGE DENSITY	kg/m <sup>3</sup>	1010.000		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 4%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY					
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING					
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
PENETRATION TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>		TESTED DATE	<i>11-09-2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>		TESTED BY	<i>MAT-1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 4 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
TOTAL LOAD	<i>100</i>	<i>g.</i>			
TIME	<i>5</i>	<i>second</i>			
TEMPERATURE	<i>25</i>	<i>°C</i>			
SAMPLE NO.	PENETRATION NO.			AVERAGE PENETRATION	REMARK
	1	2	3		
1	55	56	55	55.33	
2	57	52	56	55.00	
3	57	58	60	58.33	
AVERAGE TOTAL				56.22	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบหาค่าการยืดตัว (PRMA 4%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
DUCTILITY TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>11-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 4 เปอร์เซ็นต์)</i>				
TEMPERATURE	<i>25 °C</i>				
SAMPLE NO.	DUCTILITY NO.			AVERAGE	REMARK
	1	2	3	DUCTILITY (cm)	
1	124.70	126.50	122.80	124.67	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 4%)

. ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG						
SOFTENING TEST						
PROJECT	<i>Special Project 1</i>		TESTED DATE	<i>11 - 09 - 2550</i>		
CLIENT	<i>KMITL</i>		TESTED BY	<i>MAT - 1</i>		
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 4 เปอร์เซ็นต์)</i>					
TEST NO.	1		2		3	
SOFTENING POINT	°C	48.0	48.1	48.8	48.8	48.5 48.4
AVERAGE SOFTENING POINT	°C	48.05		48.80		48.45
TOTAL SOFTENING POINT	°C	48.43				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วย克利ฟแลนด์โอเพน (PRMA 4%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
FLASH POINT TEST BY CLEVELAND OPEN-CUP					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>11-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 4 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
FLASH POINT					
SAMPLE NO.	FLASH POINT (°C)			AVERAGE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	300	295	298	297.67	
FIRE POINT					
SAMPLE NO.	FIRE POINT (°C)			AVERAGE FIRE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	320	325	327	324.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น (PRMA 6%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY				
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING				
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG				
SPECIFIC GRAVITY AND DENSITY OF ASPHALT CEMENT				
PROJECT	<i>Special Project 1</i>	TESTED DATE	<i>12-09-2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>	TESTED BY	<i>MAT-1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 6 เปอร์เซนต์)</i>			
TEST NO.		1	2	3
PYCNOMETER NO.		611	631	866
TEST TEMPERATURE	°C	25	25	25
MASS OF PYCNOMETER PLUS STOPPER (A)	g	33.72	34.94	33.99
MASS OF PYCNOMETER WITH WATER (B)	g	58.78	59.19	59.62
MASS OF PYCNOMETER PARTIALLY FILLED WITH ASPHALT (C)	g	49.73	59.19	59.62
MASS OF PYCNOMETER PLUS ASPHALT PLUS WATER (D)	g	58.94	59.34	51.67
SPECIFIC GRAVITY (GA)=(C-A)/[(B-A)-(D-C)]		1.010	1.010	1.010
AVERAGE SPECIFIC GRAVITY		1.010		
DENSITY OF WATER (W)	kg/m <sup>3</sup>	997.00	997.00	997.00
DENSITY = G x W	kg/m <sup>3</sup>	1007	1007	1007
AVERAGE DENSITY	kg/m <sup>3</sup>	1007.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 6%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY					
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING					
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
PENETRATION TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>12-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 6 เพอร์เซ็นต์)</i>				
TOTAL LOAD	<i>100</i>	<i>g.</i>			
TIME	<i>5</i>	<i>second</i>			
TEMPERATURE	<i>25</i>	<i>°C</i>			
SAMPLE NO.	PENETRATION NO.			AVERAGE PENETRATION	REMARK
	1	2	3		
1	54	53	53	53.33	
2	51	52	54	52.33	
3	53	54	57	54.67	
AVERAGE TOTAL				53.44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบหาค่าการยืดตัว (PRMA 6%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
DUCTILITY TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>12-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 6 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
TEMPERATURE	<i>25 °C</i>				
SAMPLE NO.	DUCTILITY NO.			AVERAGE	REMARK
	1	2	3	DUCTILITY (cm)	
1	106.50	114.50	112.70	111.23	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 6%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							
SOFTENING TEST							
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>12-09-2550</i>		
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>		
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 6 เปอร์เซนต์)</i>						
TEST NO.	1		2		3		
SOFTENING POINT	°C	50.8	50.4	51.1	50.8	50.6	5.06
AVERAGE SOFTENING POINT	°C	50.60		50.95		50.60	
TOTAL SOFTENING POINT	°C	50.72					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วย克利ฟแลนด์โอเพน (PRMA 6%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
FLASH POINT TEST BY CLEVELAND OPEN-CUP					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>12 - 09 - 2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT - 1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 6 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
FLASH POINT					
SAMPLE NO.	FLASH POINT (°C)			AVERAGE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	283	280	280	281.00	
FIRE POINT					
SAMPLE NO.	FIRE POINT (°C)			AVERAGE FIRE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	310	310	309	309.67	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น (PRMA 8%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY				
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING				
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG				
SPECIFIC GRAVITY AND DENSITY OF ASPHALT CEMENT				
PROJECT	<i>Special Project 1</i>	TESTED DATE	<i>13 - 09 - 2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>	TESTED BY	<i>MAT - 1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 8 เปอร์เซนต์)</i>			
TEST NO.			1	2
PYCNOMETER NO.			611	631
TEST TEMPERATURE	°C		25	25
MASS OF PYCNOMETER PLUS STOPPER (A)	g		33.72	34.94
MASS OF PYCNOMETER WITH WATER (B)	g		58.79	59.18
MASS OF PYCNOMETER PARTIALLY FILLED WITH ASPHALT (C)	g		50.20	50.98
MASS OF PYCNOMETER PLUS ASPHALT PLUS WATER (D)	g		59.95	59.33
SPECIFIC GRAVITY (GA)=(C-A)/[(B-A)-(D-C)]			1.010	1.009
AVERAGE SPECIFIC GRAVITY			1.009	
DENSITY OF WATER (W)	kg/m <sup>3</sup>		997.00	997.00
DENSITY = G x W	kg/m <sup>3</sup>		1007	1006
AVERAGE DENSITY	kg/m <sup>3</sup>		1006.33	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 8%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY					
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING					
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
PENETRATION TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>		TESTED DATE	<i>13-09-2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>		TESTED BY	<i>MAT-1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 8 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
TOTAL LOAD	<i>100</i>	<i>g.</i>			
TIME	<i>5</i>	<i>second</i>			
TEMPERATURE	<i>25</i>	<i>°C</i>			
SAMPLE NO.	PENETRATION NO.			AVERAGE PENETRATION	REMARK
	1	2	3		
1	60	65	63	62.67	
2	64	64	64	64.00	
3	62	65	68	65.00	
AVERAGE TOTAL				63.89	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบหาค่าการยืดตัว (PRMA 8%)

<p>· ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY                  DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING                  KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG</p>					
<p>DUCTILITY TEST</p>					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>13 - 09 - 2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT - 1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 8 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
TEMPERATURE	<i>25 °C</i>				
SAMPLE NO.	DUCTILITY NO.			AVERAGE	REMARK
	1	2	3	DUCTILITY (cm)	
1	102.80	94.20	90.60	95.87	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 8%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							
SOFTENING TEST							
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>13-09-2550</i>		
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>		
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 8 เปอร์เซนต์)</i>						
TEST NO.		1		2		3	
SOFTENING POINT	°C	52.8	52.8	53.4	53.5	53.2	53.4
AVERAGE SOFTENING POINT	°C	52.80		53.45		53.30	
TOTAL SOFTENING POINT	°C	53.10					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วยคลิฟแลนด์โอเพน (PRMA 8%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
FLASH POINT TEST BY CLEVELAND OPEN-CUP					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>13 - 09 - 2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT - 1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 8 เปอร์เซนต์)</i>				
FLASH POINT					
SAMPLE NO.	FLASH POINT (°C)			AVERAGE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	275	274	273	274.00	
FIRE POINT					
SAMPLE NO.	FIRE POINT (°C)			AVERAGE FIRE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	308	307	310	308.33	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น ( PRMA 10 % )

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
SPECIFIC GRAVITY AND DENSITY OF ASPHALT CEMENT					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>	TESTED DATE	<i>14 - 09 - 2550</i>		
CLIENT	<i>KMITL</i>	TESTED BY	<i>MAT - 1</i>		
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 10 เปรอร์เซ็นต์)</i>				
TEST NO.			1	2	3
PYCNOMETER NO.			611	631	866
TEST TEMPERATURE		°C	25	25	25
MASS OF PYCNOMETER PLUS STOPPER (A)		g	33.72	34.94	33.99
MASS OF PYCNOMETER WITH WATER (B)		g	58.79	59.19	59.61
MASS OF PYCNOMETER PARTIALLY FILLED WITH ASPHALT (C)		g	50.22	51.40	52.58
MASS OF PYCNOMETER PLUS ASPHALT PLUS WATER (D)		g	58.91	59.31	59.76
SPECIFIC GRAVITY (GA)=(C-A)/[(B-A)-(D-C)]			1.007	1.007	1.008
AVERAGE SPECIFIC GRAVITY			1.007		
DENSITY OF WATER (W)		kg/m <sup>3</sup>	997.00	997.00	997.00
DENSITY = G x W		kg/m <sup>3</sup>	1004	1004	1005
AVERAGE DENSITY		kg/m <sup>3</sup>	1004.579		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง (PRMA 10 %)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY					
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING					
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
PENETRATION TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>		TESTED DATE	<i>14 - 09 - 2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>		TESTED BY	<i>MAT - 1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 10 เปอร์เซนต์)</i>				
TOTAL LOAD	<i>100</i>	<i>g.</i>			
TIME	<i>5</i>	<i>second</i>			
TEMPERATURE	<i>25</i>	<i>°C</i>			
SAMPLE NO.	PENETRATION NO.			AVERAGE PENETRATION	REMARK
	1	2	3		
1	70	74	74	72.67	
2	69	69	74	40.67	
3	72	73	75	73.33	
AVERAGE TOTAL				72.22	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบหาค่าการยืดตัว (PRMA 10 %)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
DUCTILITY TEST					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>14-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 10 เปอร์เซนต์)</i>				
TEMPERATURE	<i>25 °C</i>				
SAMPLE NO.	DUCTILITY NO.			AVERAGE	REMARK
	1	2	3	DUCTILITY (cm)	
1	85.4	79.50	89.20	84.70	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ผลการทดสอบหาค่าจุดอ่อนตัว (PRMA 10 %)

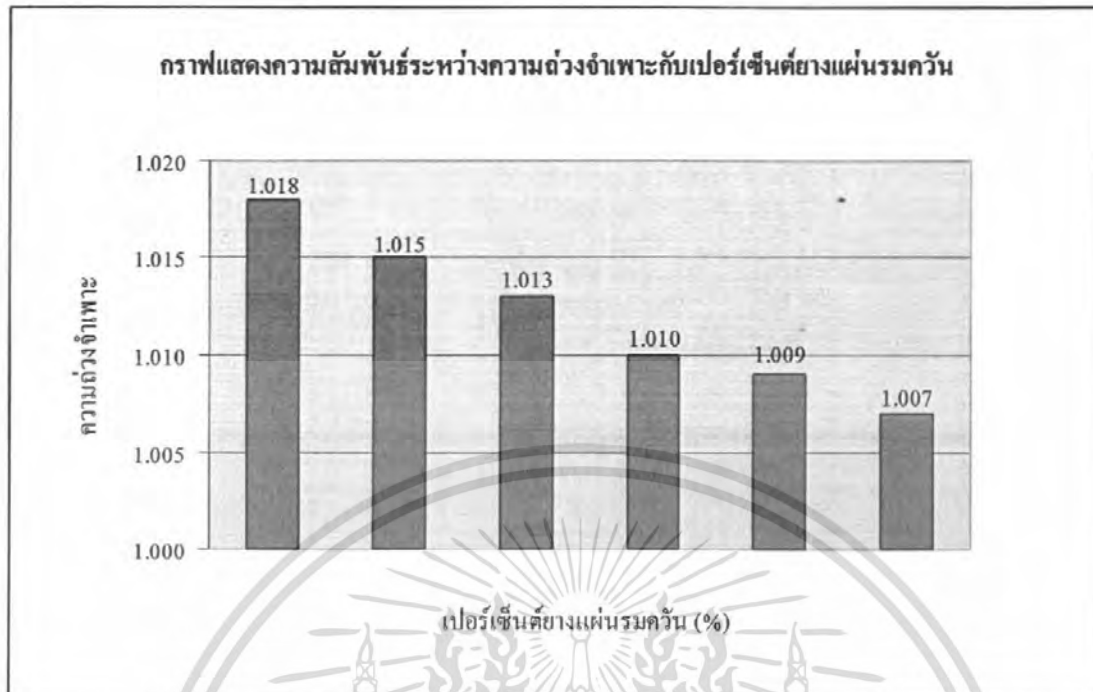
ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							
SOFTENING TEST							
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>14 - 09 - 2550</i>		
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT - 1</i>		
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 10 เปอร์เซนต์)</i>						
TEST NO.	1		2		3		
SOFTENING POINT	°C	54.8	54.8	55.7	55.6	55.8	55.7
AVERAGE SOFTENING POINT	°C	54.80		55.65		55.75	
TOTAL SOFTENING POINT	°C					55.40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

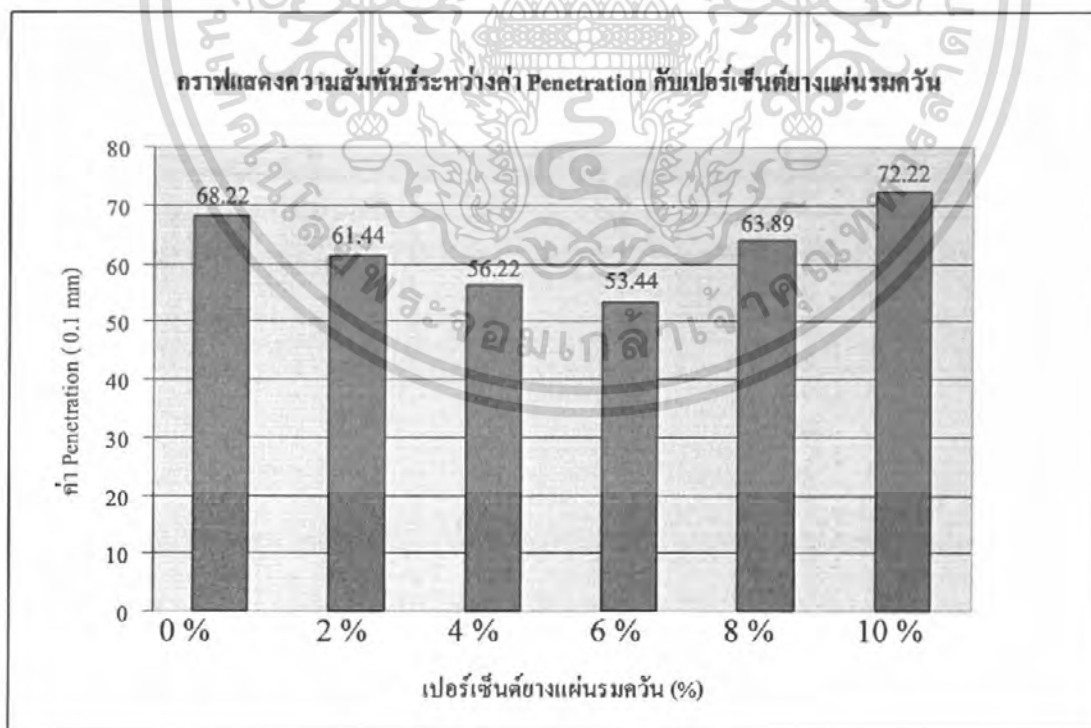
ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ โดยใช้ถ้วย克利ฟแลนด์โอเพน (PRMA 10%)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
FLASH POINT TEST BY CLEVELAND OPEN-CUP					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>14 - 09 - 2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT - 1</i>
SAMPLE DESCRIPTION	<i>Asphalt Cement Grade 60-70 (Ribbed 10 เปอร์เซนต์)</i>				
FLASH POINT					
SAMPLE NO.	FLASH POINT (°C)			AVERAGE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	271	270	270	270.33	
FIRE POINT					
SAMPLE NO.	FIRE POINT (°C)			AVERAGE FIRE FLASH POINT (°C)	REMARKS
	1	2	3		
1	301	301	302	301.33	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

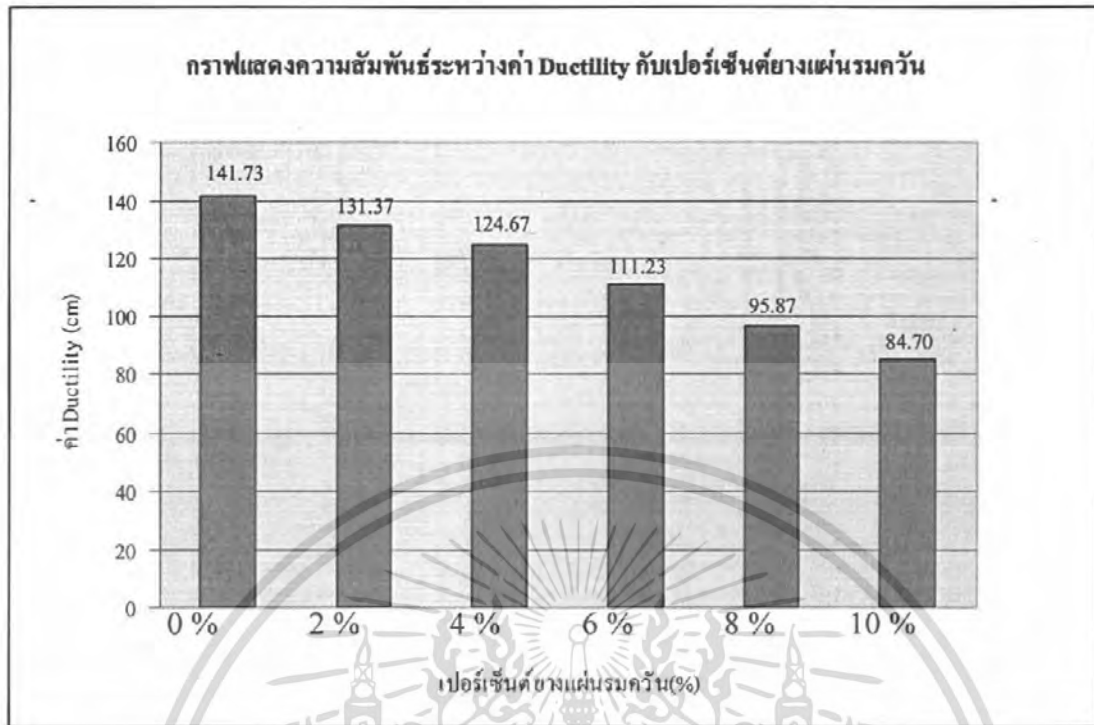


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน

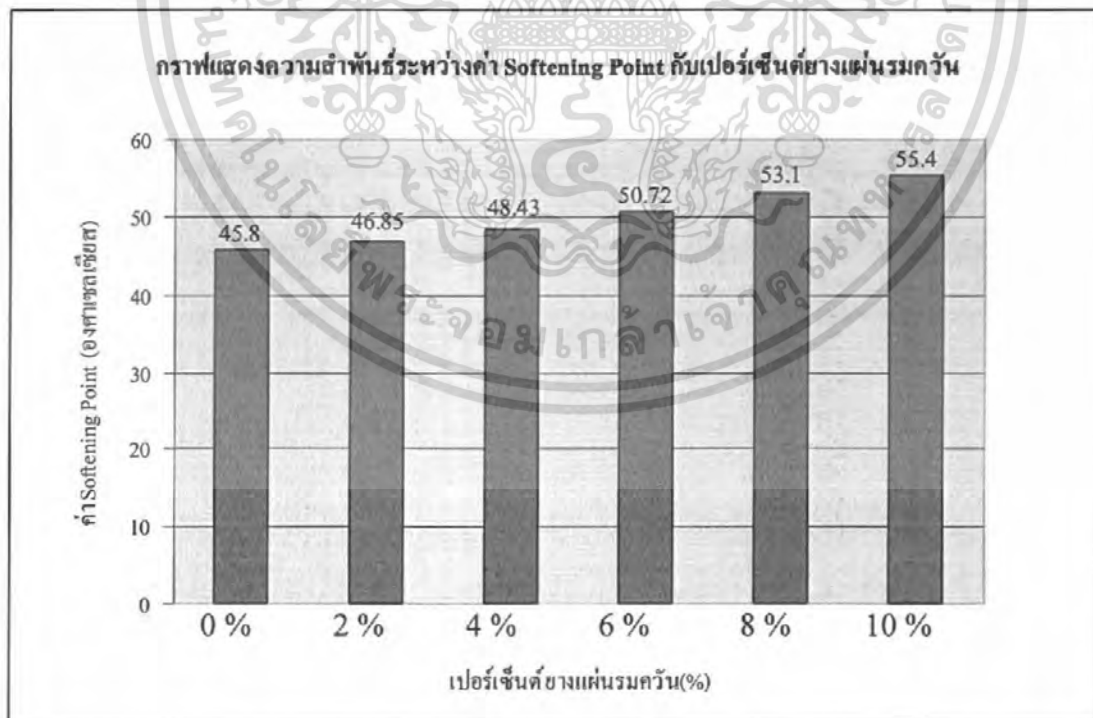


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Penetration กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

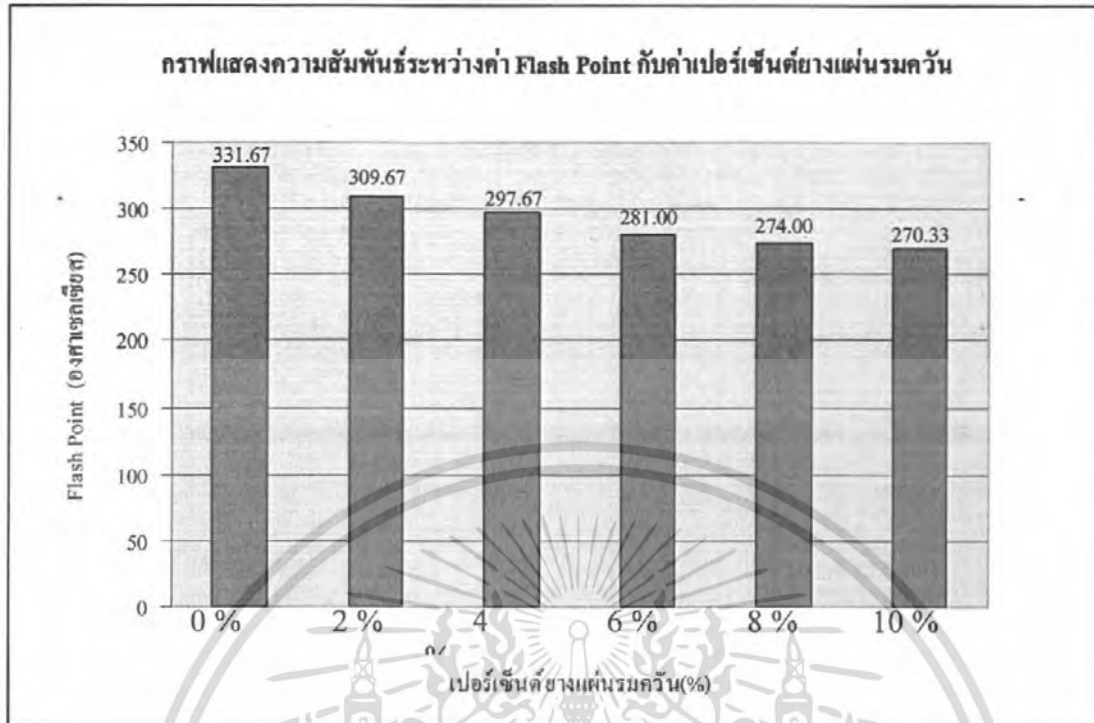


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ductility กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Softening Point กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flash Point กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 ผลการทดสอบการหาขนาดของเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม้ส้าง

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							
GRADATION OF AGGEGEGATE BY DRY SIVE ANALYSIS							
PROJECT	Special Project 1			TESTED DATE	15 - 09 - 2550		
CLIENT	KMITL			TESTED BY	MAT - 1		
SAMPLE DESCRIPTION				Aggregate			
Specific Gravity of Aggegate	2.750						
Weight of Tray	255.11	g.	Weight of Aggegate	1500.00	g.		
Weight of Tray Aggegate	1755.11 g.						
Sieve No.	Sieve Opening (mm)	Weight of Sieve (g)	Weight of Sieve + Aggegate (g)	Weight of Aggegate Retained (g)	Cumulative Retained (g)	Retained (%)	Percent Finer (%)
3/8"	9.50	796.80	796.80	-	-	-	-
4	4.75	486.79	486.79	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	476.22	761.72	285.50	285.50	19.03	80.97
16	1.18	655.55	1070.55	415.00	700.50	46.97	53.03
30	0.60	599.71	920.21	320.50	1021.00	68.34	31.66
50	0.30	573.87	742.37	186.50	1189.50	80.77	19.23
100	0.15	523.31	609.81	86.50	1276.00	86.54	13.46
200	0.075	509.51	555.51	46.00	1322.00	89.61	10.39
Pan	-	375.97	535.97	160.00	1482.00	100.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

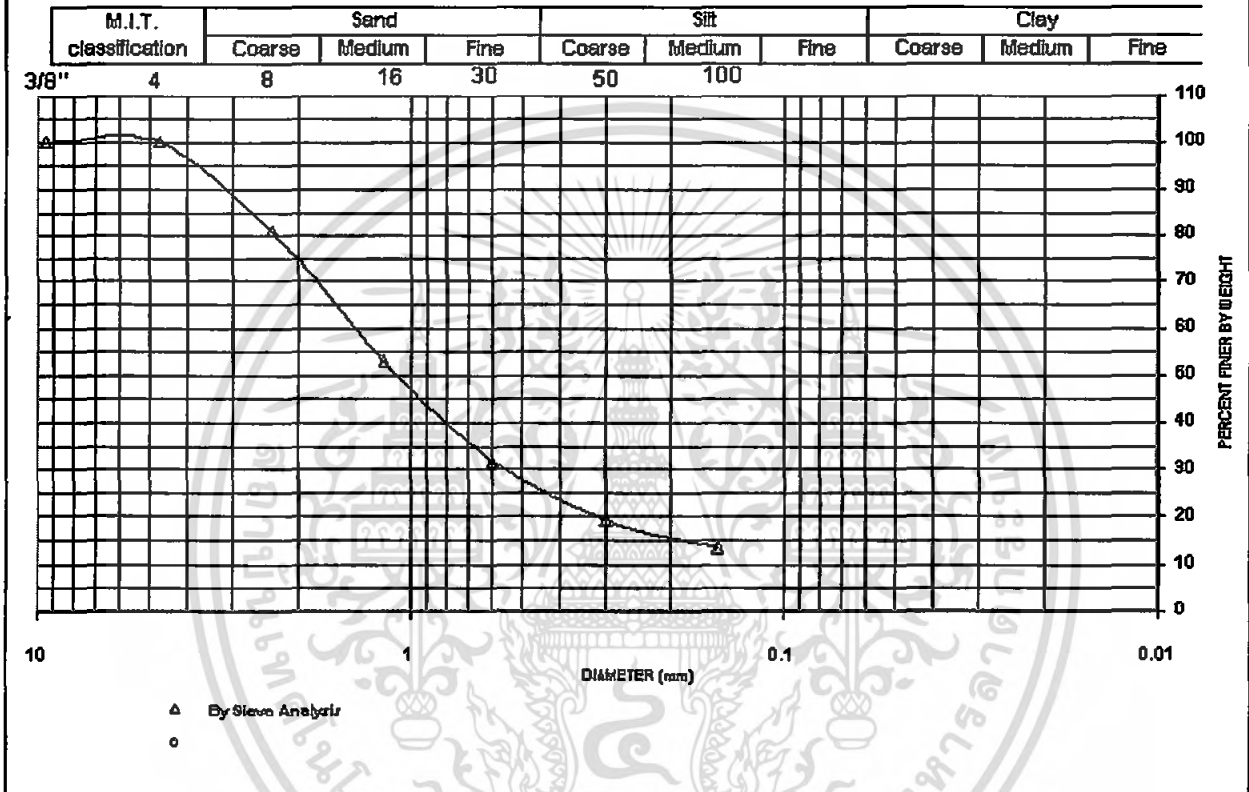
CONTACT:

civil office: T392410-1

civil shop: 3269974

fax: T392409

## GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Sieve Opening กับ Percent Finer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.32 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG						
SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGEGATE						
PROJECT	<i>Special Project 1</i>			TESTED DATE	<i>15-09-2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>			TESTED BY	<i>MAT-1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION				<i>Coarse Aggagate</i>		
Sample	Mass of Sample			GB	GA	Absorption (%)
	Oven Dry Condition (g)	Saturated Surface Dry (g)	Immersed in Water (g)	$\frac{A}{B-C}$	$\frac{A}{A-C}$	$\frac{(B-A)}{A} \times 100$
	A	B	C			
1	916.6	920.1	586.7	2.749	2.778	0.382
2	918.8	922.4	588.2	2.749	2.779	0.392
3	920.5	923.9	589.4	2.752	2.780	0.369
Average				2.750	2.779	0.381

**หมายเหตุ**

GB คือ ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)

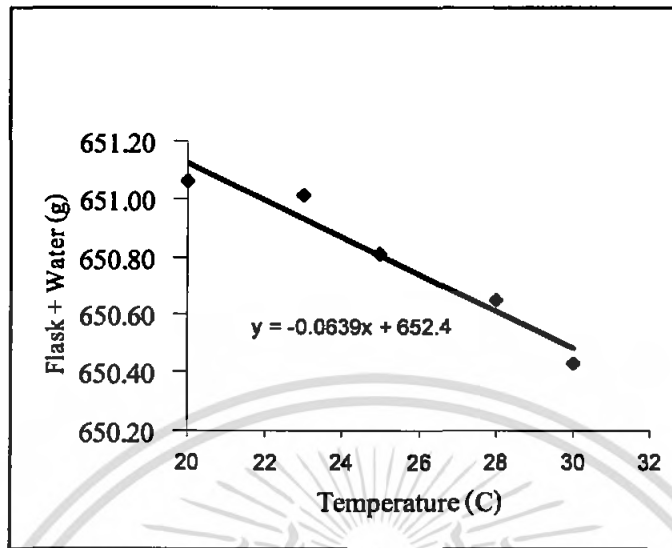
GA คือ ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (เมื่อวัสดุแห้งสนิท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด (ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200)

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			
SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF FINE AGGEGATE			
PROJECT	<i>Special Project 1</i>	TESTED DATE	<i>16 - 09 - 2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>	TESTED BY	<i>MAT - 1</i>
SAMPLE DESCRIPTION		<i>Fine Aggagate</i>	
PYCNOMETER CALIBRATION			
No.	FLASK + WATER (g)	TEMPERATURE (C)	
1	650.43	30	
2	650.65	28	
3	650.81	25	
4	651.01	23	
5	651.06	20	
Depth			
1. Temperature ,t (C)		28	
2. Weight of Flask + Water + Fine Agg. ,W1(g)		682.89	
3. Weight of Flask + Water ,W2(g)		650.72	
4. Container No.		1	
5. Weight of Dry Fine Agg. + Container (g)		318.11	
6. Weight of Container (g)		268.09	
7. Weight of Dry Fine Agg. (g)		50.02	
8. Specific Gravity of Water at T , Gt		0.9980	
9. Specific Gravity of Fine Agg.		2.80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง FLASK + WATER (g) กับ TEMPERATURE (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.34 ผลการทดสอบค่าดัชนีความแบนของมวลรวมหยาบ

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
TEST FOR FLAKINESS INDEX					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>		TESTED DATE	<i>16-09-2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>		TESTED BY	<i>MAT-1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION			<i>Coarse Aggregate</i>		
Sieve Size (mm.)	Width Of Siev (mm.)	Weight Retained (g) (X)	Weight Passing (g) (Y)	Total Weight (g) (X + Y)	Flakiness Index (%)
38.10 – 25.40	19.05	-	-	-	
25.40 – 19.05	13.34	-	-	-	
19.05 – 12.70	9.53	141.61	86.31	227.92	
12.70 – 9.52	6.68	702.50	294.96	997.46	
9.52 – 4.76	4.20	967.52	169.30	1136.82	
	รวม	1811.63	550.57	2362.20	23.59

$$\begin{aligned}
 \text{FLAKINESS INDEX} &= (Y \times 100) / (X + Y) \\
 &= (550.57 \times 100) / (1811.63 + 550.57) \\
 &= 23.59 \%
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.35 ผลการทดสอบค่าดัชนีความยาวของมวลรวมหยาบ

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
TEST FOR ELONGATION INDEX					
PROJECT	<i>Special Project 1</i>		TESTED DATE	<i>16-09-2550</i>	
CLIENT	<i>KMITL</i>		TESTED BY	<i>MAT-1</i>	
SAMPLE DESCRIPTION			<i>Coarse Aggregate</i>		
Sieve Size (mm.)	Width Of Siev (mm.)	Weight Retained (g) (X)	Weight Passing (g) (Y)	Total Weight (g) (X + Y)	Flakiness Index (%)
38.10 – 25.40	57.10	-	-	-	
25.40 – 19.05	39.90	-	-	-	
19.05 – 12.70	28.50	196.42	21.36	217.78	
12.70 – 9.52	20.10	675.65	312.20	987.85	
9.52 – 4.76	14.20	890.13	349.50	1239.63	
	รวม	1762.20	683.06	2445.26	27.93

$$\begin{aligned}
 \text{ELONGATION INDEX} &= (Y \times 100) / (X + Y) \\
 &= (683.06 \times 100) / (1762.20 + 683.06) \\
 &= 27.93 \%
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.36 ผลการทดสอบความสึกหรอของมวลรวมหยาบแบบ Los Angeles Abrasion

<b>ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY</b> <b>DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING</b> <b>KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG</b>		
<b>TEST FOR ABRASION OF COARSE AGGREGATE BY LOS ANGELES MACHINE</b>		
PROJECT	<i>Special Project 1</i>	TESTED DATE <i>16-09-2550</i>
CLIENT	<i>KMITL</i>	TESTED BY <i>MAT-1</i>
SAMPLE DESCRIPTION		<i>Coarse Aggregate</i>
TYPE OF TEST	C	
NUMBER OF ABRASIVE	8	
Sieve Size		Weigth Of Sample
Passing	Retained on	Accumulative (g)
3/4"	1/2"	2503
1/2"	3/8"	2502
Original Mass Of Sample, (W1)		5005
final Mass Of Sample, (W2)		3568 (g)
Loss, (W1 - W2)		1437 (g)
Percentage Of Wear, [(W1 - W2)x100]/W1		28.71 (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.37 ผลการทดสอบหาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 60 – 70 ที่ผสมด้วยยางพาราแผ่นรมควัน

DESIGNATION	UNIT	TEST METHOD	SPECIFICATION		0 %	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	REMARK
			MIN	MAX							
Specific Gravity Test	-	ASTM D70	1.015	1.019	1.018	1.015	1.013	1.010	1.009	1.007	
Penetration Test (at 25 °c, 100 gm, 5 sec)	0.1 mm	ASTM D5	60	70	68.22	61.44	56.22	53.44	63.89	72.22	
Ductility Test (at 25 °c, 5 cm/min)	cm	ASTM D113	100	-	141.73	131.37	124.67	111.23	95.87	84.70	
Softening Point Test (Ring and Ball)	°C	ASTM D36	45	55	45.80	46.85	48.43	50.72	53.10	55.40	
Flash Point Test By Cleveland Open-Cup	°C	ASTM D92	232	-	331.67	309.67	297.67	281.00	274.00	270.33	

## 4.2 รูปและวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

### 4.2.1 รูปและวิเคราะห์ผลการทดสอบแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70

1) ค่าความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 มีค่าที่เท่ากับ 1.018 และมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.015

2) ค่าการทะลวงที่ 25°C มีค่า 68.22

3) การยึดตัวที่ 25°C มีค่า 141.73 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน

4) จุดอ่อนตัวมีค่า 45.8 °C

5) จุดวบไฟมีค่า 331.0 °C และจุดติดไฟมีค่าเท่ากับ 354.0 °C

ซึ่งผลการทดสอบข้างต้นเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้

### 4.2.2 รูปและวิเคราะห์ผลการทดสอบแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่ผสมยางแผ่นรมควัน

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควันที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณยางแผ่นรมควันที่เติมลงไป ในแอสฟัลต์ซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากหน่วยน้ำหนักของยางแผ่นรมควันมีค่าน้อยกว่าหน่วยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ จึงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุสองอย่างนี้ที่ผสมเข้ากันแล้วจึงมีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Penetration กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควันที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณยางแผ่นรมควันที่เติมลงไป ในแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ 2% 4% และ 6% ต่อน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์จะส่งผลให้ค่าของ Penetration มีแนวโน้มลดลง และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6% แสดงว่าการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยยางแผ่นรมควันมีแนวโน้มที่จะทำให้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์มีความแข็งแรงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาการเติมยางแผ่นรมควันที่ 8% และ 10% ต่อน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์ ค่าของ Penetration จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณยางแผ่นรมควันที่ผสมลงไป 6% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าใช้ปริมาณยางแผ่นรมควันในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันมีน้อย ซึ่งส่วนที่เป็นเนื้อยางพาราจะมีการแยกชั้นและเป็นส่วนที่มีน้ำหนักเบาว่าลอยตัวขึ้นมาอยู่ส่วนบนทำให้มีความอ่อนนุ่มกว่าเดิม จึงส่งผลให้ค่าของ Penetration มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ductility กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควันที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อมีการปรับปรุงแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยยางแผ่นรมควันที่อัตราส่วนผสมต่างๆ พบว่าค่า Ductility ที่ได้นั้นมีค่าต่ำกว่าค่าของค่า Ductility ที่ไม่ได้ผสมด้วยยางแผ่นรมควัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รมควันซึ่งอาจเกิดสาเหตุมาจากการเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์กับเนื้อยางพาราแผ่น รมควันที่อาจจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเพื่อที่จะทำให้วัสดุทั้งสองหลอมเหลวเข้าด้วยกันดีกว่านี้

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Softening Point กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่น รมควันที่ปริมาณต่างๆ จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเมื่อมีการปรับปรุงแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยยางแผ่น รมควันที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ 2 %, 4 %, 6 % , 8 % และ 10 % คือน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะพบว่าจะทำให้อุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกิดจุดอ่อนตัว (Softening Point) มีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายางแผ่นรมควันที่เติมลงไปสามารถเข้าไปปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ใน ด้านค่าของ Softening Point ซึ่งจะช่วยให้ผิวทางแอสฟัลต์ทนทานต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นได้

จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flash Point กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่น รมควันที่ปริมาณต่างๆ จะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณยางจะทำให้ค่าของจุดวาบไฟ (Flash Point) มี แนวโน้มที่ลดลง มีสาเหตุมาจากยางแผ่นรมควันมีค่าหน่วยน้ำหนักที่น้อยกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์จึงทำให้ จับตัวกันแล้วเคลื่อนตัวมาข้างบนและลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดจุด วาบไฟ (Flash Point) ที่ลดลง

#### 4.2.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบวัสดุมวลรวม

จากผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบซึ่งผล การทดสอบ ได้ดังนี้

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ) มีค่าเท่ากับ 2.750

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (เมื่อวัสดุแห้งสนิท) มีค่าเท่ากับ 2.779

อัตราการดูดซึมน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.381 %

จากรูปที่ 4.6 เป็นข้อมูลผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดวัสดุมวลรวม โดยผ่าน ตะแกรง ซึ่งเมื่อมีการนำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Sieve Opening กับ Percent Finer จะเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นกราฟจะมีการกระจายกันดี ซึ่งก็ชี้ให้เห็นว่าขนาดคละของมวลรวมที่ นำมาทดสอบมีขนาดคละกันดีพอสมควร

ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด(ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200) มีค่าเท่ากับ 2.80

ค่าดัชนีความแบนมีค่าร้อยละ 23.59 ตามข้อกำหนดต้องมีค่าไม่เกิน ร้อยละ 40 ถือว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ค่าดัชนีความยาวของมวลรวมหยาบมีค่าร้อยละ 27.93

ค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยทดสอบแบบ Los angeles Abrasion มีค่า 28.71 ซึ่งข้อกำหนดของการสึกหรอไม่เกินร้อยละ 40 ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ผลการทดสอบแอสฟัลต์ค้อนกริตด้วยวิธี มาร์แชลล์ (Marshall method)

จากการทดสอบแอสฟัลต์ค้อนกริตด้วยวิธี มาร์แชลล์ (Marshall method) ลักษณะของการวิบัติของตัวอย่างที่ทดสอบโดยเครื่องมือมาร์แชลล์ก่อนข้างจะซับซ้อน โดยพื้นฐานแล้วอาจจะกล่าวได้ว่า วิธีทดสอบนี้เป็นชนิดหนึ่งของการทดสอบแบบ Unconfined Compression ซึ่งในสภาพความเป็นจริงของผิวจราจรจะถูกกดทับโดยน้ำหนักยานพาหนะชั้นพื้นทางและผิวจราจรรอบข้าง ดังนั้นการทดสอบโดยวิธีนี้จึงมีความสัมพันธ์กับการเสีรูปร่างของผิวจราจรเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ผลทดสอบโดยทั่วไปพบว่า การเพิ่มปริมาณยางจะมีผลทำให้คุณสมบัติในการไหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ค่าเสถียรภาพจะเพิ่มขึ้นเช่นกันจนกระทั่งปริมาณยางเพิ่มขึ้นถึงขีดจำกัดระดับหนึ่ง เสถียรภาพจะลดลง ดังนั้นในการออกแบบส่วนผสมของบางองค์กร (เช่น Asphalt Institute) จะมีการกำหนดค่าเสถียรภาพต่ำสุด และกำหนดค่าการไหลเป็นช่วงโดยแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์การใช้งาน (เช่น ทำถนน หรือ สนามบิน เป็นต้น) นอกเหนือจากปริมาณยางที่ใช้ในส่วนผสมแล้ว ค่าเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลต์ค้อนกริตยังขึ้นอยู่กับชนิดของยาง ชั้นคุณภาพ (Grade) ของมวลรวม รูปร่าง (Shape) ของมวลรวม คุณสมบัติทางธรณีวิทยาของมวลรวม (สำคัญที่สุดคือความพรุน Porosity) พลังงานในการบดทับ และอื่นๆ

สำหรับการนำผลการทดสอบมาใช้กับงานจริง ได้แก่ การเลือกสัดส่วน หรือการลดขนาดของวัสดุมวลรวมและการหาปริมาณยางแอสฟัลท์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt cement content) ทั้งนี้ Department of Transportation and Development (DOTD) แห่งมลรัฐ Louisiana ได้แนะนำวิธีการเลือกปริมาณยางแอสฟัลท์ที่เหมาะสม โดยให้พิจารณาเลือกปริมาณแอสฟัลท์ที่ให้ร้อยละของช่องว่างหรือโพรงอากาศ (% Air Void) ของค่ากึ่งกลางที่กำหนด (เช่น หากกำหนดไว้ว่า %Air Voids จะต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 3-5 ก็ควรเลือกร้อยละ 4 ) แล้วพิจารณาค่าของตัวแปรอื่นๆ (Stability, Flow, VMA , VFB ) ณ ปริมาณยางเดียวกัน หากอยู่ในช่วงตามเกณฑ์กำหนดไว้ถือว่าใช้ได้ หากไม่ได้ตามที่กำหนดจะต้องเลือกปริมาณช่องว่างหรือโพรงอากาศ (%Air voids) ที่ใกล้เคียงกัน แล้วพิจารณาจนกระทั่งค่าของตัวแปรอื่นๆ อยู่ในช่วงที่เกณฑ์กำหนด

ตารางที่ 4.38 (ก) ผลการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ AC 60/70

Layer : ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE

Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 (By Mass) = 40 : 30 : 15 : 10

Pen. Grade AC 60/70

Avg. Sp. Gr. Agg. and Filler (Gag) = 2.750

Sp. Gr. AC. (Gac) = 1.02

Compaction number of blows each side. = 75 Blows

Bitumen Absorption (x) = 0.38 %

No. of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Mass. of Agg. (a)	4.0			4.5			5.0		
% AC by Mass. of Mix. (100*a/(100+a)) (b)	3.85			4.31			4.76		
% Eff AC by Mass. of Mix b-x(100-b)/100 (c)	3.48			3.94			4.40		
Sample Height. mm. (d)	63.6	63.5	63.5	63.7	63.6	63.6	63.7	63.7	63.7
DENSITY									
Mass. in air gm. (e)	1203.5	1202.5	1204.8	1219.8	1218.9	1219.2	1226.4	1227.1	1226.8
Mass. sat. dry gm. (f)	1207.1	1206.5	1207.2	1222.6	1221.5	1222.3	1228.9	1228.9	1228.6
Mass. in water gm. (g)	711.3	710.6	711.3	722.5	722.3	722.5	729.6	730.1	729.5
Bulk Vol. ml. = (f) - (g)/(h)	495.8	495.9	495.9	500.1	499.8	499.8	499.2	498.8	499.1
Bulk Den. gm./ml. = (e)/(h)	2.427	2.425	2.430	2.439	2.442	2.439	2.457	2.460	2.458
Average Density (i)	2.427			2.440			2.458		
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total = (c)*(i)/Gac (j)	8.3			9.			10.6		
Volume Agg. % Total = [(100-(b)) (i)/Gag (k)	84.9			84.9			85.1		
VMA % = 100 - (k) (l)	15.1			15.1			14.9		
Air voids % = (l) - (j) (m)	6.8			5.7			4.3		
VFB % = 100 *(j) / (l) (n)	55.0			62.3			71.1		
STABILITY lbs.	150	145	150	165	165	170	175	180	175
Mean. N.	9785	9460	9785	10759	10759	11083	11408	11732	11408
Adjust N.	9785	9460	9785	10759	10759	11083	11408	11732	11408
Average Stability N.	9677			10867			11516		
FLOWS (1/100")	13	13	14	15	13	14	15	15	15
Mean. mm.	3.3	3.3	3.6	3.8	3.3	3.6	3.8	3.8	3.8
Average Flows mm.	3.4			3.6			3.8		

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.38 (ข) ผลการทดสอบก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ AC 60/70

Layer : ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE

Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 (By Mass) = 40 : 30 : 15 : 10

Pen. Grade AC 60/70

Avg. Sp. Gr. Agg. and Filler (Gag) = 2.750

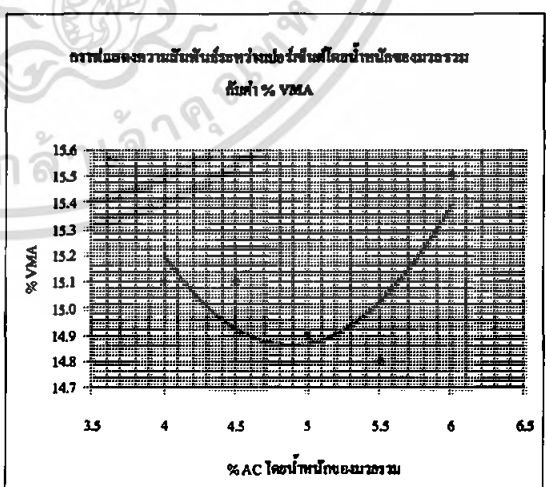
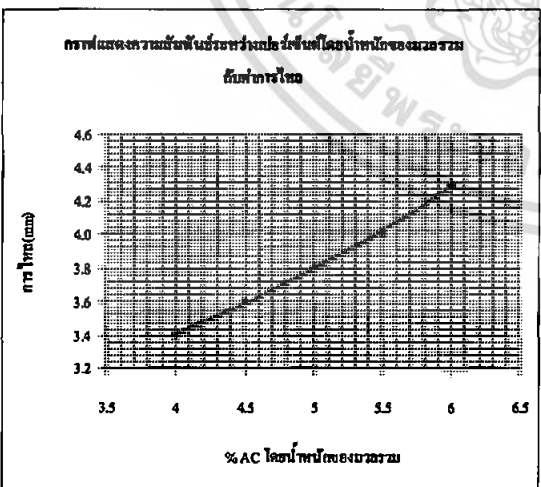
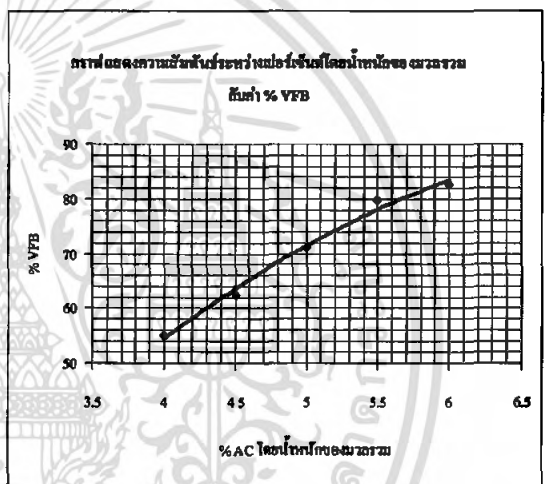
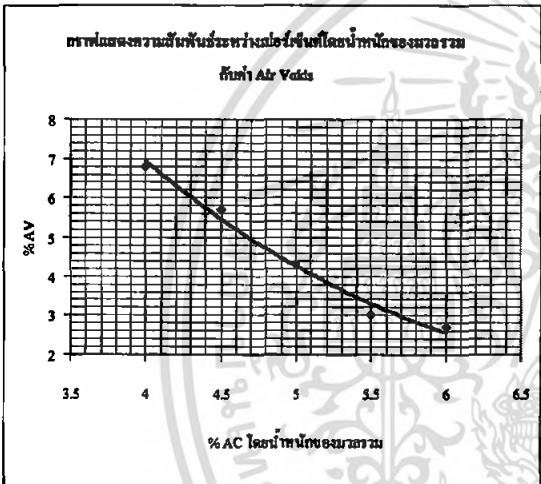
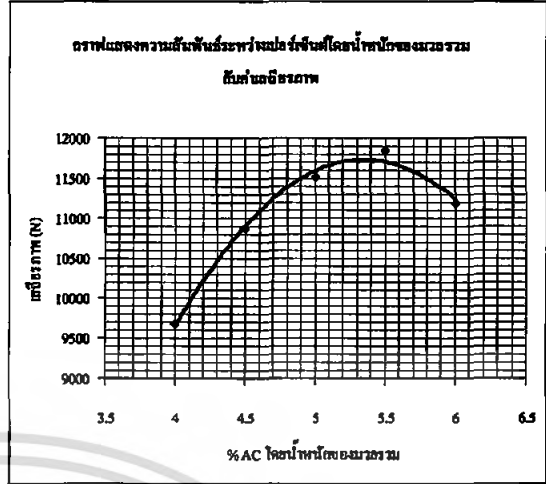
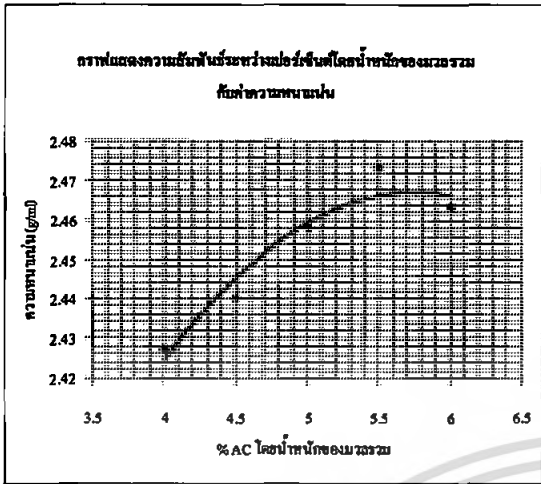
Sp. Gr. AC. (Gac) = 1.02

Compaction number of blows each side. = 75 Blows

Bitumen Absorption (x) = 0.38 %

No. of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Mass. of Agg. (a)	5.5			6.0					
% AC by Mass. of Mix. (100*a/(100+a)) (b)	5.21			5.66					
% Eff. AC by Mass. of Mix $b-x(100-b)/100$ (c)	4.85			5.30					
Sample Height. mm. (d)	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5			
DENSITY									
Mass. in air gm. (e)	1236.6	1236.0	1237.1	1241.3	1264.2	1263.0			
Mass. sat. dry gm. (f)	1239.3	1238.6	1238.6	1241.9	1265.0	1263.6			
Mass. in water gm. (g)	738.9	738.9	738.9	738.8	751.4	750.5			
Bulk Vol. ml. = (f) - (g)(h)	500.4	499.7	499.7	503.1	513.6	513.1			
Bulk Den. gm./ml. = (e)/(h)	2.471	2.475	2.475	2.467	2.461	2.462			
Average Density (i)	2.473			2.463					
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total = (c)*(i)/Gac (j)	11.8			12.8					
Volume Agg. % Total = [(100-(b)) (i)/Gag (k)	85.2			84.5					
VMA % = 100 - (k) (l)	14.8			15.5					
Air voids % = (l) - (j) (m)	3.0			2.7					
VFB % = 100 *(j) / (l) (n)	79.7			82.6					
STABILITY lbs.	185	180	180	170	175	170			
Mean. N.	12057	11732	11732	11083	11408	11083			
Adjust N.	12057	11732	11732	11083	11408	11083			
Average Stability N.	11840			11191					
FLAWS (1/100")	15	16	16	17	17	17			
Mean. mm.	3.8	4.1	4.1	4.3	4.3	4.3			
Average Flows mm.	4.0			4.3					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การสงวนเพื่อใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ AC 60/70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.39 (ก) ผลการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้ PRMA

Layer : ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE

Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 (By Mass) = 40 : 30 : 15 : 10

Pen. Grade AC 60/70

Avg. Sp. Gr. Agg. and Filler(Gag) = 2.750

Sp. Gr. AC. (Gac) = 1.02

Compaction number of blows each side. = 75 Blows

Bitumen Absorption (x) = 0.38 %

No. of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Mass. of Agg. (a)	4.0			4.5			5.0		
% AC by Mass. of Mix. (100*a/(100+a)) (b)	3.85			4.31			4.76		
% Eff AC by Mass. of Mix $b-x(100-b)/100$ (c)	3.48			3.94			4.40		
Sample Height. mm. (d)	63.5	63.5	63.6	63.5	63.5	63.6	63.5	63.5	63.6
DENSITY									
Mass. in air gm. (e)	1202.5	1202.2	1204.3	1202.5	1202.2	1204.3	1202.5	1202.2	1204.3
Mass. sat. dry gm. (f)	1206.9	1206.0	1206.9	1206.9	1206.0	1206.9	1206.9	1206.0	1206.9
Mass. in water gm. (g)	711.0	710.1	711.0	711.0	710.1	711.0	711.0	710.1	711.0
Bulk Vol. ml. = (f) - (g)(h)	495.9	495.9	495.9	495.9	495.9	495.9	495.9	495.9	495.9
Bulk Den. gm./ml. = (e)/(h)	2.425	2.429	2.429	2.425	2.429	2.429	2.425	2.429	2.429
Average Density (i)	2.426			2.438			2.457		
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total = (c)*(i)/Gac (j)	8.3			9.4			10.6		
Volume Agg. % Total = [(100-(b)) (i)/Gag (k)	84.8			84.8			85.1		
VMA % = 100 - (k) (l)	15.2			15.2			14.9		
Air voids % = (l) - (j) (m)	6.9			5.8			4.3		
VFB % = 100 *(j) / (l) (n)	54.6			61.8			71.1		
STABILITY lbs.	165	160	155	165	160	155	165	160	155
Mean. N.	10759	10434	10110	10759	10434	10110	10759	10434	10110
Adjust N.	10759	10434	10110	10759	10434	10110	10759	10434	10110
Average Stability N.	10434			11840			12489		
FLAWS (1/100")	12	12	13	12	12	13	12	12	13
Mean. mm.	3.0	3.0	3.3	3.0	3.0	3.3	3.0	3.0	3.3
Average Flows mm.	3.1			3.4			3.6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.39 (ข) ผลการทดสอบก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยใช้ PRMA

Layer : ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE

Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 (By Mass) = 40 : 30 : 15 : 10

Pen. Grade AC 60/70

Avg. Sp. Gr. Agg. and Filler (Gag) = 2.750

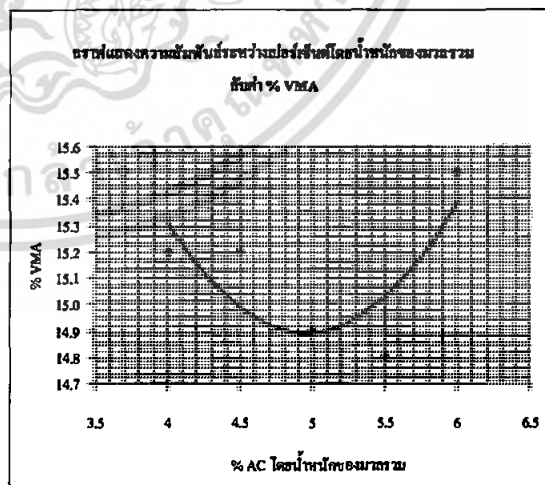
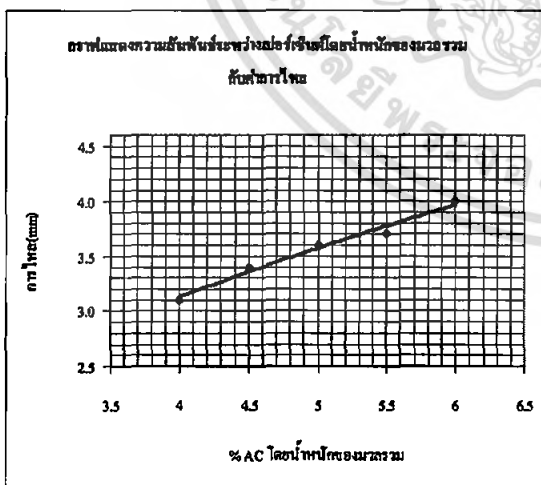
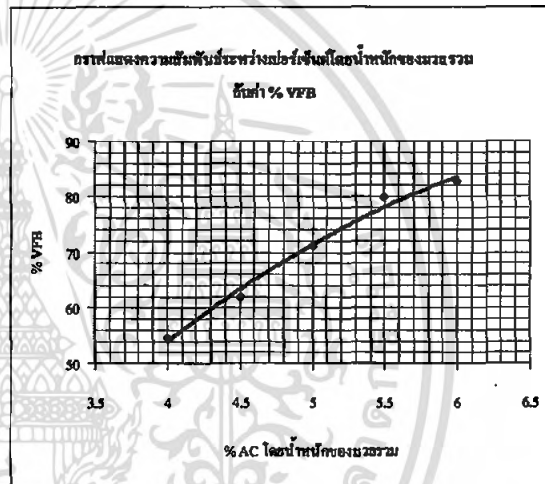
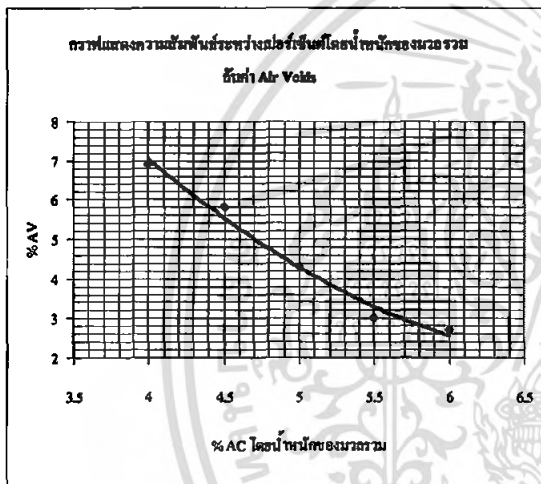
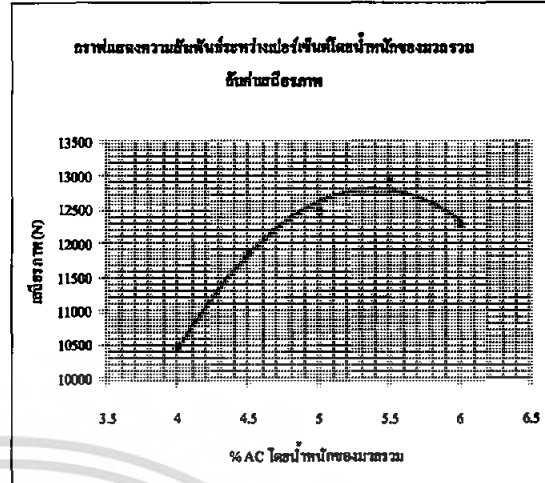
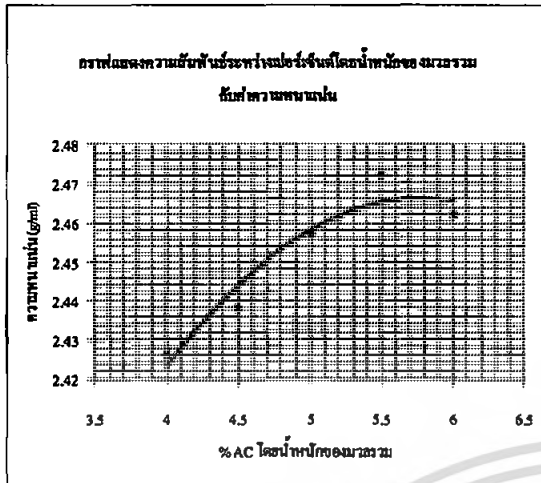
Sp. Gr. AC. (Gac) = 1.02

Compaction number of blows each side. = 75 Blows

Bitumen Absorption (x) = 0.38 %

No. of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Mass. of Agg. (a)	5.5			6.0					
% AC by Mass. of Mix. (100*a/(100+a)) (b)	5.21			5.66					
% Eff. AC by Mass. of Mix $b-x(100-b)/100$ (c)	4.85			5.30					
Sample Height. mm. (d)	63.5	63.6	63.5	63.6	63.5	63.5			
DENSITY									
Mass. in air gm. (e)	1236.0	1235.8	1262.8	1262.8	1262.2	1262.3			
Mass. sat. dry gm. (f)	1238.3	1238.1	1238.2	1263.0	1262.3	1264.8			
Mass. in water gm. (g)	738.1	738.2	738.0	750.1	749.7	750.6			
Bulk Vol. ml. = (f) - (g)(h)	500.2	499.9	500.5	512.9	512.6	514.2			
Bulk Den. gm./ml. = (e)/(h)	2.471	2.472	2.472	2.462	2.462	2.461			
Average Density (i)	2.472			2.462					
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total = (c)*(i)/Gac (j)	11.8			12.8					
Volume Agg. % Total = [(100-(b)) (i)/Gag (k)	85.2			84.5					
VMA % = 100 - (k) (l)	14.8			15.5					
Air voids % = (l) - (j) (m)	3.0			2.7					
VFB % = 100 *(j) / (l) (n)	79.7			82.6					
STABILITY lbs.	200	200	195	185	190	190			
Mean. N.	13030	13030	12706	12057	12381	12381			
Adjust N.	13030	13030	12706	12057	12381	12381			
Average Stability N.	12922			12273					
FLAWS (1/100")	14	14	15	16	16	15			
Mean. mm.	3.6	3.6	3.8	4.1	4.1	3.8			
Average Flows mm.	3.7			4.0					

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยใช้ PRMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.40 ผลการทดสอบเปรียบเทียบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้  
AC 60/70 กับ PRMA. โดยวิธี มาร์แชลล์ (Marshall method)

รายการ	ชนิดของวัสดุเชื่อมประสาน	
	AC 60/70	PRMA.
Asphalt Content (by Weight of Agg. )	5.10	5.10
Air Void , ( % )	4.00	4.00
Marshall Density , gm / ml.	2.462	2.460
Marshall Flow , mm.	3.84	3.62
Stability / Flow , ( N. / mm. )	11,680	12,700
Voids Filled with Bitumen ; VFB , ( % )	73.00	70.70
Voids in Mineral Aggregate ; VMA , ( % )	14.88	14.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 สรุปผลการทดสอบแอสฟัลต์คิกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall method)

##### 4.4.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบแอสฟัลต์คิกคอนกรีต โดยใช้ AC 60/70

จากการทดสอบก้อนตัวอย่าง โดยวิธีมาร์แชลล์จะประกอบด้วย ค่าความแน่น ค่าเสถียรภาพ โพรงระหว่างมวลรวม (VMA) โพรงอากาศ (AV) ช่องว่างบิทุเมน (VFB) และค่าการไหล ซึ่งผลการทดสอบ ลักษณะของการวิบัติของตัวอย่างที่ทดสอบ โดยเครื่องมือมาร์แชลล์ ก่อนข้างจะซับซ้อน ผลทดสอบโดยทั่วไปพบว่า การเพิ่มปริมาณยางจะมีผลทำให้คุณสมบัติในการไหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ค่าเสถียรภาพจะเพิ่มขึ้นเช่นกันจนกระทั่งปริมาณยางเพิ่มขึ้นถึงขีดจำกัดระดับหนึ่ง เสถียรภาพจะลดลง ค่าเสถียรภาพและ การไหลของแอสฟัลต์คิกคอนกรีตยังขึ้นอยู่กับชนิดของยาง ชั้นคุณภาพ (Grade) ของมวลรวม รูปร่าง(Shape) ของมวลรวม คุณสมบัติทางธรณีวิทยาของมวลรวม (สำคัญที่สุดคือความพรุน Porosity) พลังงานในการบดทับ และอื่นๆ

สำหรับการนำผลการทดสอบมาใช้กับงานจริง ได้แก่ การเลือกสัดส่วน หรือการลดขนาดของวัสดุมวลรวมและการหาปริมาณยางแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt cement content) ควรพิจารณาเลือกปริมาณแอสฟัลต์ที่ให้ร้อยละของช่องว่างหรือโพรงอากาศ (% Air Void) ของค่ากึ่งกลางที่กำหนด (เช่น หากกำหนดไว้ว่า %Air Voids จะต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 3-5 ก็ควรเลือกร้อยละ 4) แล้วพิจารณาค่าของตัวแปรอื่นๆ (Stability, Flow, VMA, VFB) ณ ปริมาณยางเดียวกัน หากอยู่ในช่วงตามเกณฑ์กำหนดไว้ถือว่าใช้ได้ หากไม่ได้ตามที่กำหนดจะต้องเลือกปริมาณช่องว่างหรือโพรงอากาศ (%Air voids) ที่ใกล้เคียงกัน แล้วพิจารณาจนกระทั่งค่าของตัวแปรอื่น ๆ อยู่ในช่วงที่เกณฑ์กำหนด

##### 4.4.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบแอสฟัลต์คิกคอนกรีต โดยใช้ PRMA

จากคุณสมบัติต่าง ๆ ของก้อนตัวอย่าง ระหว่างวัสดุประมาณ AC 60-70 และ PRMA มีดังต่อไปนี้

1) ค่าความหนาแน่นในก้อนตัวอย่าง แต่ละส่วนผสมจะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของตัวอย่าง แอสฟัลต์คิกคอนกรีต บดอัดแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มจนถึงจุดที่มีความหนาแน่นสูงสุด หลังจากนั้นความแน่นก็มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้น จากเส้นกราฟความหนาแน่นกับปริมาณแอสฟัลต์ในช่วงแรก จะมีความหนาแน่นสูงกว่า PRMA เพราะยาง AC 60-70 จะให้ความหนืดที่ต่ำกว่า PRMA ทำให้แอสฟัลต์สามารถแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดหินและในรูพรุนของหินได้มากกว่า PRMA และถึงช่วงที่เปอร์เซ็นต์ 5-5.5 % จะมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันอีก

2) ปริมาณช่องว่างอากาศและช่องว่างมวลรวมของวัสดุแอสฟัลต์คิกคอนกรีต จะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น ที่ความหนาแน่นสูงสุดจะมีปริมาณช่องว่างอากาศและมวลรวมน้อยที่สุด และในปริมาณของแอสฟัลต์ที่เท่ากันปริมาณช่องว่างของอากาศและมวลรวมของ PRMA จะมีค่าต่ำกว่า AC 60-70 เนื่องจาก PRMA มีค่าการไหลต่ำกว่า AC 60-70 ทำให้แอสฟัลต์สามารถแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดหินและในรูพรุนของหินได้มากกว่า AC 60-70 และถึงช่วงที่เปอร์เซ็นต์ 5-5.5 % จะมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันอีก

น้อยกว่า AC 60-70 และเมื่อเพิ่มปริมาณยางแผ่นรมควันลงไปถึง 5.5 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณช่องว่างของอากาศและมวลรวมก็มีค่าใกล้เคียงกันมาก

3) ค่าเสถียรภาพ จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นค่าเสถียรภาพก็เพิ่มขึ้นด้วย และถ้าค่าความหนาแน่นลดลงค่าเสถียรภาพก็ลดลงด้วย PRMA จะให้ค่าเสถียรภาพมากกว่า AC 60-70

4) ค่าการยุบตัว ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัวกับปริมาณแอสฟัลต์คอนกรีต จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าการยุบตัวจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามปริมาณของแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้น และแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70 จะให้ค่าการยุบตัวที่สูงกว่าส่วนผสมที่ใช้ PRMA

5) ค่าการไหล จะเห็นได้ว่าปริมาณแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น ค่าการไหลก็จะเพิ่มขึ้นตาม และค่อนข้างเป็นเส้นตรง แอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70 จะมีค่าการไหลที่มากกว่า ส่วนผสม PRMA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## การออกแบบและการประมาณราคา

### ตัวอย่างการออกแบบถนนโดยวิธี Empirical Method

1) ปริมาณการจราจรที่บันทึกไว้จากกองวิศวกรรมจราจรกรมทางหลวง  
ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1 ตอน อำเภอแม่สรวย – เชียงราย ช่วง กม.800 - 830

Average Daily Traffic ( ADT )	= 9828 vpd
No. of Heavy Bus ( HB )	= 642 vpd
No. of Medium Truck ( MT )	= 799 vpd
No. of Heavy Truck ( HT )	= 1185 vpd
Total No. of Heavy Vehicle	= 2599 vpd
Percent Heavy Vehicle	= $\frac{2599}{9828} \times 100$
	= 26.44 %
	Use = 30 %
Assume Traffic Growth Rate	= 6 %

การออกแบบถนนแล้วเสร็จในปี 1994

เริ่มทำการก่อสร้างปี 1996

ก่อสร้างเสร็จและเปิดการจราจรปี 1998

สมมุติช่วงอายุการออกแบบ ( Design Period ) 15 ปี

ใช้ปริมาณการจราจร ในปี 1998 เป็นปีฐาน ( Base year ) ในการคำนวณปริมาณการจราจรในช่วงอายุการออกแบบ 15 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปริมาณการจราจรในปี 1998

สูตรการหาปริมาณการจราจรในปีใดๆ

$$Y = X(1+r)^n$$

ในเมื่อ Y = ปริมาณการจราจรในปี 1998

X = ปริมาณการจราจรในปี 1992

$$= 9828 \text{ vpd}$$

r = Traffic Growth Rate 6%

n = จำนวนจากปี 1992- 1998

$$= 6 \text{ ปี}$$

$$\text{No. of ADT ในปี 1998} = 9829 (1+0.06)^6 = 13941 \text{ vpd}$$

$$\text{No. of HB ในปี 1998} = 642 (1+0.06)^6 = 911 \text{ vpd}$$

$$\text{No. of MT ในปี 1998} = 799 (1+0.06)^6 = 1133 \text{ vpd}$$

$$\text{No. of HT ในปี 1998} = 1158 (1+0.06)^6 = 1643 \text{ vpd}$$

3) Traffic Data for Analysis and Design ในปี 1998

$$\text{จาก ADT ในปี 1998} = 13941 \text{ vpd}$$

$$\% \text{ Heavy Bus and Truck} = 30 \%$$

$$\text{Number of Heavy Vehicle in Design Lane} = 0.45 (13943 \times 30)$$

$$= 100$$

$$= 1882 \text{ vpd}$$

$$\text{Average Gross Weight of Heavy Truck} = 25.5 \text{ T}$$

$$\text{Single Axle Load Limit} = 10.2 \text{ T}$$

$$\text{Design Period} = 6 \%$$

$$\text{ITN Adjustment Factor} = 1.165 \text{ (โดยการ Interpolate)}$$

$$\text{No. of Heavy Bus (HB)} = 911 \text{ vpd}$$

$$\text{No. of Medium Truck (MT)} = 1133 \text{ vpd}$$

$$\text{No. of Heavy Truck (HT)} = 1643 \text{ vpd}$$

กำหนด Truck Factor

$$\text{- For HB} = 0.60$$

$$\text{- For MT} = 0.63$$

$$\text{- For HT} = 1.58$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) คำนวณค่า ITN จาก Chart No. 1

$$\begin{aligned} \text{ITN} &= 5800 \\ \text{Design Traffic Number} &= \text{Adjustment Factor} \times 5800 \\ &= 1.165 \times 5800 \\ &= 6757 \end{aligned}$$

5) หาค่า CBR ที่เหมาะสมสำหรับโครงการ

CBR ต่อไปนี้ ได้มาจากการเจาะสำรวจ

STA Km.	CBR%
806	17.5
808	9.5
810	19.3
813	2.4
815	2.3
817	5.8
818	3.0
819	6.0
821	3.9
822	3.2
823	28.8
824	8.2
825	4.2
826	3.8
827	11.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ค่า CBR ที่ 85 Percentile เป็นตัวแทน CBR ที่จะใช้ในโครงการ โดยเรียงลำดับ CBR จากน้อยสุดไปหามากสุด คำนวณ Percentile ได้ดังนี้

CBR%	Number of Equal to or Greater Than	Percent Equal to or Greater Than
2.3	15	$(15/15) \times 100 = 100.00$
2.4	14	$(14/15) \times 100 = 93.3$
3.0	13	$(13/15) \times 100 = 86.7$
3.2	12	$(12/15) \times 100 = 80.0$
3.8	11	$(11/15) \times 100 = 73.3$
3.9	10	$(10/15) \times 100 = 66.7$
4.2	9	$(9/15) \times 100 = 60.0$
5.8	8	$(8/15) \times 100 = 53.3$
6.0	7	$(7/15) \times 100 = 46.7$
8.2	6	$(6/15) \times 100 = 40.0$
9.5	5	$(5/15) \times 100 = 33.3$
11.5	4	$(4/15) \times 100 = 26.7$
17.5	3	$(3/15) \times 100 = 20$
19.3	2	$(2/15) \times 100 = 13.3$
28.8	1	$(1/15) \times 100 = 6.7$

พล็อตกราฟค่า CBR และ Percent Equal to or Greater Than

#### 6) Asphalt Pavement Thickness Design

การคำนวณหาความหนาทั้งหมดของแอสฟัลต์คอนกรีตเหนือชั้นดินเดิม,  $T_A$  หาได้ 3 วิธี คือ

- คำนวณจากสูตร

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97 \log(DNT)}{(CBR)^{0.4}} \quad \text{นิ้ว}$$

หรือ

$$T_A = \frac{2.54 (9.19 + 3.97 \log DNT)}{(CBR)^{0.4}} \quad \text{เซนติเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนโดยใช้ Design Chart ความสัมพันธ์ระหว่าง Equivalent 80 kN Single – Axle – Load ( EAL ) และ Subgrade Resilient Modulus, Mr
- จำนวนโดยใช้ Design Chart ของ Asphalt Institute

### 6.1) จำนวนโดยใช้สูตร

จากการวิเคราะห์การจราจรได้ค่า DNT 6757 และค่า CBR Subgrade 3% ได้ค่า  $T_A$

$$\begin{aligned}
 T_A &= \frac{9.19 + 3.97 \log(6757)}{(3.0)^{0.4}} \\
 &= 15.72 \text{ นิ้ว} \\
 &= 15.72 \times 2.54 \\
 &= 39.93 \text{ เซนติเมตร} \\
 &= \text{หรือ } 40.00 \text{ เซนติเมตร}
 \end{aligned}$$

### 6.2) จำนวนโดยใช้ Design Chart

จาก Chart ลากเส้นตรงจากค่า DNT เท่ากับ 6757 ที่ สเกล C ผ่านค่า CBR เท่ากับ 3% ที่ สเกล B ไปตัดค่า  $T_A$  ที่ สเกล A อ่านได้ค่า  $T_A = 40.8$  เซนติเมตร แปลงความหนาจาก  $T_A$  ไป เป็นวัสดุต่างๆ

Strength Factor ค่าที่ใช้จะอยู่ประมาณนี้

จากแอสฟัลต์คอนกรีต ไปเป็น

ชั้นพื้นทาง	Factor = 2.0
ชั้นรองพื้นทาง	Factor = 2.7
ชั้นวัสดุคัดเลือก	Factor = 3.5

จาก  $T_A$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร จะแทนที่ด้วยวัสดุ CBR ต่างๆกัน

- สมมุติวัสดุคัดเลือก "ก" ค่า CBR = 10 %

ค่า  $T_A$  เหนือวัสดุนี้ คือ

$$\begin{aligned}
 T_A &= \frac{9.19 + 3.97 \log(6757)}{(10)^{0.4}} \\
 &= \frac{9.19 + 3.97(3.82975)}{(10)^{0.4}} \\
 &= \frac{9.19 + 15.204}{10^{0.4}}
 \end{aligned}$$

2.51188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 9.71 \text{ นิ้ว}$$

$$= 24.7 \text{ เซนติเมตร}$$

- สมมุติที่มีวัสดุคัดเลือก "ข" ค่า CBR = 6%

ค่า  $T_A$  เหนือวัสดุนี้ คือ

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97 \log(6757)}{(6)^{0.4}}$$

$$= \frac{9.19 + 3.97(3.82975)}{(6)^{0.4}}$$

$$= \frac{9.19 + 15.204}{2.0477}$$

$$= 11.91 \text{ นิ้ว}$$

$$= 30.3 \text{ เซนติเมตร}$$

- สมมุติที่มีวัสดุชั้นรองพื้นทาง ค่า CBR = 25%

ค่า  $T_A$  เหนือวัสดุนี้ คือ

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97 \log(6757)}{(25)^{0.4}}$$

$$= \frac{9.19 + 3.97(3.82975)}{(25)^{0.4}}$$

$$= \frac{9.19 + 15.204}{3.6238}$$

$$= 6.73 \text{ นิ้ว}$$

$$= 17.10 \text{ เซนติเมตร}$$

- สมมุติที่มีวัสดุชั้นพื้นทาง ค่า CBR = 80%

ค่า  $T_A$  เหนือวัสดุนี้ คือ

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97 \log(6757)}{(80)^{0.4}}$$

$$= \frac{9.19 + 3.97(3.82975)}{(80)^{0.4}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= \underline{9.19 + 15.204} \\
 &\quad 5.77 \\
 &= 4.23 \text{ นิ้ว} \\
 &= 10.7 \text{ เซนติเมตร} \cdot
 \end{aligned}$$

จากค่าที่ได้ทั้งหมดนำไปออกแบบในตารางออกแบบ จะให้ความหนาของชั้นต่างๆของ  
โครงสร้างชั้นทางดังนี้

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรวม 2 ชั้น	หนา 11 ซม.
พื้นทางหินคลุก $\text{CBR} \geq 80\%$	หนา 20 ซม.
รองพื้นทางวัสดุมวลรวม $\text{CBR} \geq 25\%$	หนา 15 ซม.
วัสดุคัดเลือก "ก" ค่า $\text{CBR} \geq 10\%$	หนา 20 ซม.
วัสดุคัดเลือก "ข" ค่า $\text{CBR} \geq 6\%$	หนา 30 ซม.
กันทาง Subgrade $\text{CBR} \geq 3\%$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบถนนลาดยางสายแม่สรวย-เชียงใหม่

### DESIGN OF PAVEMENT

CLASS Divided Highway  
ROUTE NO 11, แม่สรวย-เชียงใหม่  
K.M. 806 TO 826  
Design Subgrade CBR 3%

Total thickness of asphaltic concrete above prepared subgrade ( $T_A$ ) 40.0 cm.

#### Pavement structures

- Surface : Asphalt Concrete = (High type) = 11 cm.
- Base : CBR  $\geq$  80% = 20 cm.  $T_A$  = 10 cm.
- Subbase : CBR  $\geq$  25% = 15 cm.  $T_A$  = 5.5 cm.
- Selected materials "A" CBR  $\geq$  10% = 20 cm.  $T_A$  = 5.7 cm.
- Selected materials "B" CBR  $\geq$  6% = 30 cm.  $T_A$  = 8.6 cm.
- Total  $T_A$  = 40.8 cm.

#### Total thickness of asphaltic concrete above

- Selected materials "B" CBR  $\geq$  6% ;  $T_A$  = 32.2 cm > 30.3 cm.
- Selected materials "A" CBR  $\geq$  10% ;  $T_A$  = 26.5 cm > 24.7 cm.
- Subbase : CBR  $\geq$  25% ;  $T_A$  = 21.0 cm > 17.1 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.41 ประมาณราคาโครงการก่อสร้างถนนสนับสนุนสนามบินสุวรรณภูมิ

สายแยกทางหลวง 34 – ซอยอ่อนนุช

รายการ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	ปริมาณงาน ตามสัญญา	จำนวนเงิน (บาท)
1. งานดิน				
- งานตัดหรือขุดคันทาง	ลบ.ม.	44.00	9,400.00	413,600.00
2. งานถมคันทาง				
- งานดินถมคันทาง	ลบ.ม.	245.00	5,400.00	1,323,000.00
- งานทรายถมคันทาง	ลบ.ม.	464.00	10,996.00	5,102,225.00
รวม				6,838,823.00
3. งานชั้นรองพื้นทาง, ชั้นพื้นทางและผิวจราจร				
- งานรองพื้นทางชนิดลูกรัง	ลบ.ม.	417.00	4,630.00	1,931,077.00
- ชั้นรองพื้นแอสฟัลต์ (Asphalt Prime Coat)	ตร.ม.	18.00	16,930.00	304,740.00
- งานผิวจราจรลาดยางแอสฟัลต์ (Surface Treatment)	ตร.ม.	6.00	16,930.00	101,580.00
- ชั้นแอสฟัลต์ยึดเกาะ (Asphalt Tack Coat)	ตร.ม.	26.00	36,514.00	949,364.00
4. งานผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (Asphaltic concrete)				
- งานแอสฟัลต์ติกคอนกรีตสำหรับผิวทาง ชั้นล่าง (Binder Course)	ตร.ม.	128.00	17,290.00	2,213,157.00
- งานแอสฟัลต์ติกคอนกรีตสำหรับผิวทาง ชั้นบน (Wearing Course)	ตร.ม.	130.00	17,290.00	2,247,738.00
ราคารวม วัสดุ + ผิวทาง				14,586,479.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริมาณวัสดุงานแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete)

1) พิจารณาที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ = 5.1 %

งานแอสฟัลต์ติกคอนกรีตสำหรับผิวทางชั้นบน (Wearing Course)

มีพื้นที่	17,290.00	ตร.ม.
ความหนา	40	มม.
จะได้	691.60	ลบ.ม.

ปริมาณแอสฟัลต์ เท่ากับ 5.1 % ของมวลรวมทั้งหมด

ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ =  $691.6 \times 0.051 = 35.27$  ลบ.ม.

งานแอสฟัลต์ติกคอนกรีตสำหรับผิวทางชั้นล่าง (Binder Course)

มีพื้นที่	17290.00	ตร.ม.
ความหนา	70	มม.
จะได้	1,210.30	ลบ.ม.

ปริมาณแอสฟัลต์ เท่ากับ 5.1 % ของมวลรวมทั้งหมด

ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ =  $1,210.30 \times 0.051 = 61.73$  ลบ.ม.

$$\begin{aligned} \text{รวมทั้งหมด} &= 35.27 + 61.73 \\ &= 97.00 \text{ ลบ.ม.} \quad (\text{ประมาณ } 97,000 \text{ กก.}) \end{aligned}$$

จากปริมาณยางแผ่นรมควันที่ใช้ผสมในแอสฟัลต์ 6 % โดยน้ำหนัก

$$\begin{aligned} \text{จะได้ปริมาณของยางแผ่นรมควัน} &= 97,000 \times 0.06 \\ &= 5,820 \text{ กก.} \end{aligned}$$

ราคายางแผ่นรมควัน กิโลกรัมละ 55-70 บาท ในช่วงปี 2550-2551

คิดราคากิโลกรัมละ 70 บาท

$$\begin{aligned} \text{ราคายางแผ่นรมควัน ทั้งหมด} &= 5,820 \times 70 \\ &= 407,400 \text{ บาท} \end{aligned}$$

คิดราคากิโลกรัมละ 14 บาท

$$\begin{aligned} \text{ราคายางแอสฟัลต์ทั้งหมด} &= 5,820 \times 14 \\ &= 81,480 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ราคาที่เพิ่มขึ้น} &= 407,400 - 81,480 \\ &= 325,920 \text{ บาท} \quad (\text{โดยประมาณ}) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) พิจารณาที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ = 4.5 % (ที่ค่าเสถียรภาพเท่ากัน)

งานแอสฟัลต์ติกคอนกรีตสำหรับผิวทางชั้นบน (Wearing Course)

มีพื้นที่ 17,290.00 ตรม.

ความหนา 40 มม.

จะได้ 691.60 ลบ.ม.

ปริมาณแอสฟัลต์ เท่ากับ 4.5 % ของมวลรวมทั้งหมด

ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ =  $691.6 \times 0.045 = 31.12$  ลบ.ม.

งานแอสฟัลต์ติกคอนกรีตสำหรับผิวทางชั้นล่าง (Binder Course)

มีพื้นที่ 17290.00 ตรม.

ความหนา 70 มม.

จะได้ 1,210.30 ลบ.ม.

ปริมาณแอสฟัลต์ เท่ากับ 4.5 % ของมวลรวมทั้งหมด

ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ =  $1,210.30 \times 0.045 = 54.46$  ลบ.ม.

รวมทั้งหมด =  $31.12 + 54.46$

= 85.58 ลบ.ม. (ประมาณ 85,580 กก.)

จากปริมาณยางแผ่นรมควันที่ใช้ผสมในแอสฟัลต์ 6 % โดยน้ำหนัก

จะได้ปริมาณของยางแผ่นรมควัน =  $85,580 \times 0.06$  %

= 5,135 กก.

ราคายางแผ่นรมควัน กิโลกรัมละ 55-70 บาท ในช่วงปี 2550-2551

คิดราคา กิโลกรัมละ 70 บาท

ราคายางแผ่นรมควัน ทั้งหมด =  $5,135 \times 70$

= 359,450 บาท

คิดราคา กิโลกรัมละ 14 บาท

ราคายางแอสฟัลต์ทั้งหมด =  $5,135 \times 14$

= 71,890 บาท

ดังนั้น ราคาที่เพิ่มขึ้น =  $359,450 - 71,890$

= 287,560 บาท (โดยประมาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.42 เปรียบเทียบราคาถนนที่ใช้ยาง AC 60/70 , PMA และ PRMA โดยเปรียบเทียบที่ ถนนสาย  
แยกทางหลวง 34 – ซอยอ่อนนุช ระยะทาง 3400 เมตร

ชนิดผิวทาง	ผิวทาง AC	ผิวทาง PMA	ผิวทาง PRMA 5.1 %	ผิวทาง PRMA 4.5 %	ราคา
งานตัดหรืองานขุดคันทาง	413,600	413,600	413,600	413,600	บาท
งานถมคันทาง	6,425,223	6,425,223	6,425,223	6,425,223	บาท
งานชั้นรองพื้นทาง	3,288,761	3,288,761	3,288,761	3,288,761	บาท
งานผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต	4,460,895	4,702,918	4,786,815	4,748,455	บาท
ราคารวม	14,586,479	14,828,502	14,914,399	14,876,039	บาท
ผิวทาง PMA แพงกว่า ผิวทาง AC 60/70	-	242,023	-	-	คิดเป็น 1.66%
ผิวทาง PRMA 5.1 % แพงกว่า ผิวทาง AC 60/70	-	-	325,920	-	คิดเป็น 2.23%
ผิวทาง PRMA 4.5 % แพงกว่า ผิวทาง AC 60/70	-	-	-	287,560	คิดเป็น 1.97%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดสอบ

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ยางผสม AC 60/70 เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่ผสมกับยางแผ่นรมควันและศึกษาคุณสมบัติทางด้านคุณภาพของผิวทางแบบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 กับมวลรวมชนิดหินปูนกับแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเกรด AC 60/70 ที่ผสมกับยางแผ่นรมควัน (PRMA) สำหรับงานเสริมผิวทางชนิดบางกับมวลรวมชนิดเดียวกัน

การทดสอบความถ่วงจำเพาะกับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควันที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณยางแผ่นรมควันที่เติมลงไปใแอสฟัลต์ซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากหน่วยน้ำหนักของยางแผ่นรมควันมีค่าน้อยกว่าหน่วยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ จึงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุสองอย่างนี้ที่ผสมเข้ากันแล้วจึงมีค่าลดลง

การทดสอบการหาค่าการทะลวง (Penetration Test) เมื่อเปรียบเทียบค่าของ Penetration กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควันที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณยางแผ่นรมควันที่เติมลงไปใแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ 2 %, 4 % และ 6 % ต่อน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์จะส่งผลให้ค่าของ Penetration มีแนวโน้มลดลง และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6 % แสดงว่าการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยยางแผ่นรมควันมีแนวโน้มที่จะทำให้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์มีความแข็งแรงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาการเติมยางแผ่นรมควันที่ 8 % และ 10 % ต่อน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์ ค่าของ Penetration จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณยางแผ่นรมควันที่ผสมลงไป 6 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าใช้ปริมาณยางแผ่นรมควันในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันมีน้อย ซึ่งส่วนที่เป็นเนื้อยางพาราจะมีการแยกชั้นและเป็นส่วนที่มีน้ำหนักเบากว่าลอยตัวขึ้นมาอยู่ส่วนบนทำให้มีความอ่อนนุ่มกว่าเดิม จึงส่งผลให้ค่าของ Penetration มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

การทดสอบการหาค่าการยืดตัว (Ductility Test) เมื่อเปรียบเทียบค่าของ Ductility กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควันที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อมีการปรับปรุงแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยยางแผ่นรมควันที่อัตราส่วนผสมต่างๆ พบว่าค่า Ductility ที่ได้นั้นมีค่าต่ำกว่าค่าของค่า Ductility ที่ไม่ได้ผสมด้วยยางแผ่นรมควันซึ่งอาจเกิดสาเหตุมาจากการเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์กับเนื้อยางพาราแผ่นรมควันที่อาจจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิให้สูงขึ้นเพื่อที่จะทำให้วัสดุทั้งสองหลอมเหลวเข้าด้วยกันดีกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) เมื่อเปรียบเทียบค่าของ Softening Point กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควันที่ปริมาณต่างๆ จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเมื่อมีการปรับปรุง แอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยยางแผ่นรมควันที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ 2 %, 4 %, 6 % , 8 % และ 10 % ต่อ น้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะพบว่าจะทำให้อุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกิดจุดอ่อนตัว (Softening Point) มีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายางแผ่นรมควันที่เติมลงไปสามารถเข้าไปปรับปรุงคุณภาพ ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ในด้านค่าของ Softening Point ซึ่งจะช่วยให้ผิวทางแอสฟัลต์ทนทานต่ออุณหภูมิที่ สูงขึ้นได้

การทดสอบการหาค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟ (Flash Point) เมื่อเปรียบเทียบค่าของ Flash Point กับเปอร์เซ็นต์ยางแผ่นรมควันที่ปริมาณต่างๆ จะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณยางจะทำให้ค่า ของจุดวาบไฟ (Flash Point) มีแนวโน้มที่ลดลง มีสาเหตุมาจากยางแผ่นรมควันมีค่าหน่วยน้ำหนักที่น้อยกว่า แอสฟัลต์ซีเมนต์จึงทำให้จับตัวกันแล้วเคลื่อนตัวมาข้างบนและลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดจุดวาบไฟ (Flash Point) ที่ลดลง

การทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 กับมวลรวมชนิดหินปูนกับแอสฟัลต์ ดิกคอนกรีตเกรด AC 60/70 ที่ผสมกับยางแผ่นรมควัน (PRMA) โดยวิธีมาร์แชลล์จะประกอบด้วย ค่า ความแน่น ค่าเสถียรภาพ โพรงระหว่างมวลรวม (VMA) โพรงอากาศ (AV) ช่องว่างบิทุเมน (VFB) และค่าการไหล ซึ่งจากการทดสอบพอสรุปได้ดังนี้

คุณสมบัติของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตในด้านเสถียรภาพระหว่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 กับ PRMA โดยใช้มวลรวมหินปูน ค่าเสถียรภาพจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นประมาณ 8 – 10 %

ค่าการไหลของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ PRMA จะมีค่าน้อยกว่าค่าของ แอสฟัลต์ ดิกคอนกรีตไม่ผสมยางแผ่นรมควันซึ่งแสดงให้เห็นว่ายางแผ่นรมควันช่วยให้แอสฟัลต์ติกคอนกรีตมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น

ค่า Stability / Flow หรือค่าความแข็งแรงของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ PRMA มีค่า เพิ่มขึ้นมากกว่าแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 อาจแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่ใช้ PRMA มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผิวทางสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้น โดยเกิดความเสียหาย น้อยลง

ดังนั้นสัดส่วนผสมจึงมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเป็นอย่างมาก ผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มปริมาณยางจะมีผลทำให้คุณสมบัติในการไหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ค่า เสถียรภาพจะเพิ่มขึ้นเช่นกันจนกระทั่งปริมาณยางเพิ่มขึ้นถึงขีดจำกัดระดับหนึ่งเสถียรภาพจะลดลง การ กำหนดค่าเสถียรภาพต่ำสุด และกำหนดค่าการไหลเป็นช่วงโดยแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์การใช้งาน (เช่น ทำถนน หรือสนามบิน เป็นต้น) นอกเหนือจากปริมาณยางที่ใช้ในส่วนผสมแล้ว ค่าเสถียรภาพและ การไหลของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตยังขึ้นอยู่กับชนิดของยาง ชั้นคุณภาพ (Grade) ของมวลรวม รูปร่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Shape) ของมวลรวม คุณสมบัติทางธรณีวิทยาของมวลรวม(สำคัญที่สุดคือความพรุน Porosity)พลังงานในการบดทับ และอื่นๆสำหรับการนำผลการทดสอบมาใช้กับงานจริง ได้แก่ การเลือกสัดส่วน หรือการกะขนาดของวัสดุมวลรวมและการหาปริมาณยางแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt cement content)

ดังนั้นการพิจารณาเลือกปริมาณแอสฟัลต์ที่ให้ร้อยละของช่องว่างหรือโพรงอากาศ (% Air Void) ของค่ากึ่งกลางที่กำหนด (เช่น หากกำหนดไว้ว่า %Air Voids)จะต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 3-5 ก็ควรเลือกร้อยละ 4 ) แล้วพิจารณาค่าของตัวแปรอื่นๆ (Stability, Flow, VMA , VFB ) ณ ปริมาณยางเดียวกัน หากอยู่ในช่วงตามเกณฑ์กำหนดไว้ถือว่าใช้ได้ หากไม่ได้ตามที่กำหนดจะต้องเลือกปริมาณช่องว่างหรือโพรงอากาศ (%Air voids) ที่ใกล้เคียงกัน แล้วพิจารณาจนกระทั่งค่าของตัวแปรอื่น ๆ อยู่ในช่วงที่เกณฑ์กำหนด (โดยอ้างอิงจากหลักเกณฑ์ในการออกแบบ)

สุดท้ายลักษณะการใช้งานของการเสริมผิวทางชนิดบางที่มีความหนาเพียง 50 มิลลิเมตร ชนิดนี้นั้น ไม่ได้มุ่งเน้นในการเสริมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทางแต่เพียงอย่างเดียว แต่หน้าที่หลักจะเป็นการเสริมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผิวทางเดิม ด้วยลักษณะที่มีผิวหน้าที่หยาบและมีรูพรุนสูง จึงช่วยให้ผิวทางมีความยึดและเพิ่มความต้านทานการลื่นไถลและยังช่วยให้การระบายน้ำบนผิวทางเร็วขึ้น ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ งานเสริมผิวทางชนิดนี้จะต้องใช้งานอยู่บนโครงสร้างของถนนที่มีความแข็งแรง มีการยึดหยุ่นและการทรุดตัวน้อย เช่น ใช้ในการปูเสริมผิวทางบนสะพาน ปูเสริมผิวทางบนทางด่วน ปูเสริมผิวทางบนถนนคอนกรีต เป็นต้น แต่การนำไปปูเสริมบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีโครงสร้างของถนนอยู่บนดิน ย่อมเกิดปัญหาการแอ่นตัวและการแตกร้าวได้สูง เพราะโครงสร้างถนนมีความหยุ่นตัว ดังนั้นจึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำงานเสริมผิวทางชนิดบางชนิดนี้ไปใช้บนโครงสร้างที่อยู่บนดิน โดยเฉพาะดินอ่อน แต่ถ้าโครงสร้างของถนนได้รับการปรับปรุงคุณภาพให้แข็งแรงขึ้น มีการแอ่นตัวน้อยมาก ก็สามารถที่จะนำมาใช้แต่ต้องทำการศึกษาพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

- 1) อุณหภูมิในการผสมและบดอัดตัวอย่างมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นการทำงานจะต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อให้คุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ดีและความสม่ำเสมอของตัวอย่าง
- 2) ในการบดอัดตัวอย่างในแต่ละก้อน ในแต่ละด้านควรมีความสม่ำเสมอ เพราะอาจเกิดการคลายตัวเกิดขึ้นได้ในขณะบดอัดตัวอย่าง และความแน่นของตัวอย่างทั้ง 2 ด้านอาจไม่เท่ากัน เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการทดสอบ ควรระมัดระวัง
- 3) ข้อควรระวังในการทดสอบกับเครื่องทดสอบมาร์แชลล์ ในการอ่านค่า GATE มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะอาจจะมีผลต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ
- 4) สัดส่วนของมวลรวมและปริมาณของแอสฟัลต์ที่ใช้ให้ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุมวลรวมด้วย การเปลี่ยนชนิดและแหล่งที่มาต้องมีการออกแบบหาสัดส่วนและปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมเสมอ

## บรรณานุกรม

- 1) อำนวย พานิชกุลพงค์, นัฐพร นวกิจรังสรรค์, วิศวกรรมกรทาง Highway Engineering, แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- 2) อำนวย พานิชกุลพงค์, ปฏิบัติการทดสอบแอสฟัลต์, แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
- 3) นิคม ชันทะพงษ์, พัฒนบุษย์ คณะเทศ , สราวุธ บุญญวงค์, การศึกษาคุณสมบัติส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ โดยวิธีมาร์แชลล์, สาขาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- 4) อำนวย พานิชกุลพงค์, เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบผิวทาง, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้