

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลโดยใช้กำหนดของซูเปอร์เพฟ  
COMPARISON OF ASPHALTIC CONCRETE MIXTURES FROM MARSHALL MIX DESIGN  
METHOD AND SUPERPAVE CRITERIA



เลขที่.....  
83254  
และทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี..... 11. 8. 2551

b. 11๙๖๖๖๘x  
i. ....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COMPARISON OF ASPHALTIC CONCRETE MIXTURES FROM MARSHALL  
MIX DESIGN METHOD AND SUPERPAVE CRITERIA**



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

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อโครงการพิเศษ	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล โดย ใช้กำหนดของซูเปอร์เพฟ COMPARISION OF ASPHALTIC CONCRETE MIXTURES FROM MARSHALL MIX DESIGN METHOD AND SUPERPAVE CRITERIA		
นักศึกษา	นาย กิตติพงษ์	เจนคุณทองคำใบ	รหัสนักศึกษา 48015455
	นาย สราวุธ	เรืองไชย	รหัสนักศึกษา 48015497
	นาย สุพจน์	ธิตติถาวร	รหัสนักศึกษา 48015498
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. อำนวย พานิชกุลพงศ์		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ปีการศึกษา	2550		

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงใช้วิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล (Marshall Mix Design ) โดยกรมทางหลวงได้กำหนดให้วิธีดังกล่าวเป็นวิธีมาตรฐานในการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตตั้งแต่การคัดเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้จนถึงการออกแบบส่วนผสม แต่จากผลการศึกษาวิจัยของหน่วยงานที่น่าเชื่อถือของประเทศสหรัฐอเมริกาภายใต้ ชื่อ The Strategic Highway Reseach Program (SHRP) พบว่าวิธีการออกแบบของมาร์แชลมีข้อบกพร่องหลายประการ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ออกแบบด้วยวิธีดังกล่าว พร้อมทั้งได้เสนอแนะวิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตวิธีใหม่ที่มีชื่อว่า วิธีซูเปอร์เพฟ (Superpave Mix Design) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลติกคอนกรีตซีเมนต์และวัสดุมวลรวมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสม รวมถึงวิธีการออกแบบ เพื่อให้ได้ผิวทางที่มีคุณภาพดีขึ้น ด้วยเหตุนี้ปัจจุบันจึงมีความพยายามที่จะหาคำตอบถึงข้อสงสัยที่ว่า เหตุใดผิวทางที่ก่อสร้างบนถนนตามวิธีการออกแบบเดียวกันคือวิธีของมาร์แชล จึงสามารถใช้งานได้ดีบนถนนบางสาย แต่มีความเสียหายอย่างมากบนถนนบางสาย จึงมีแนวคิดว่าเป็นเพราะวิธีการออกแบบส่วนผสมโดยวิธีมาร์แชลมีปัญหาไม่สามารถควบคุมแยกส่วนผสมที่ได้ออกจากส่วนผสมที่ไม่ดีใช้หรือไม่ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้รับการกำหนดขึ้นเพื่อพิจารณาว่าสมควรที่จะยอมรับให้มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต จากวิธีของมาร์แชลที่ใช้กันอยู่เป็นวิธีของซูเปอร์เพฟเพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตให้ดีขึ้นหรือไม่ต่อไปในอนาคต

ศัพท์เฉพาะเรื่อง : การออกแบบผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต วิธีมาร์แชล วิธีซูเปอร์เพฟ

ทล.วพ. / ว. /2546 /ท.

ISSN 0125 – 8044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : COMPARISION OF ASPHALTIC COMCRETE MIXTURES FROM MARSHALL  
MIX DESIGN METHOD AND SUPERPAVE CRITERIA  
Name : MR.KITTIPONG JANKUNTONGKUMBAI  
MR.SARAYUT RUANGCHAI  
MR. SUPOT TITITHAVORN  
Field : CIVIL ENGINEERING  
Department : CIVIL ENGINEERING  
Faculty : ENGINEERING  
Adviser : ASST. AMNOUY PANITKULPONG  
Year : 2007

### Abstract

In Thailand, Marshall mix design method has been utilized over 20 years.

Recently, Department of Highway still used this method for asphalt mixture design including material selection and mix design. The results from sophisticated research, so-called SHRP program, conducted in the United States have reported some problems in Marshall mix design procedures and have introduced the new mix design method, so-called Superpave™ mix design. A Superpave mix design involved selection asphalt and aggregate meterail that meet the Superpave specificaitons, and then conducting a volumetric analysis of hot mix asphalt specimens compacted with the Superpave gyratory compactor. The performance predictions that are used ing the Superpave analysis porcedures are still bing valiated. At present, some following questions need to be answered regarding Marshall mix design. Why the damage of road surface occurred with some routes does. Why the damage of road surface occurred with some routes does. Whether the cause of this problem should be Marshall mix design method or not. The evaluation of asphalt concrete property must be done and whether the selecting asphalt and aggregate material that meet the Superpave specifications or not. The result of this study would be indicated that it should be change Marshall mix design method to Superpave mix design method.

Keywords : MARSHALL,SUPERPAVE MIX DESIGN, ASPHALT COMCRETE  
MIXTRUE

DH0RD./M./2003/T.

ISSN 0125-8044

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์อำนวยการ พานิชกุลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปริญญาโท ซึ่งเป็นผู้วางแนวคิดของปริญญาโท อีกทั้งได้กรุณาใช้เวลาอันมีค่าในการให้  
คำปรึกษา แนะนำ และข้อคิดเห็น ตลอดจนแก้ไขปัญหาต่าง ๆ จนทำให้ปริญญาโทนี้สามารถบรรลุ  
วัตถุประสงค์ได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ศิลป์ชัย งานสุวรรณ , ผศ.ศักดิ์ชัย สกานพงษ์ ,  
ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี คณะกรรมการสอบปริญญาโทที่ได้ให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็น  
ประโยชน์ในการทำปริญญาโท

ขอขอบพระคุณสำหรับความร่วมมือและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้ประพันธ์ได้รับจากกรม  
ทางหลวง ข้อมูลที่ผู้ประพันธ์ได้รับช่วยให้งานศึกษานี้ได้สำเร็จลุล่วง โดยสมบูรณ์

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้าซึ่งคอยห่วงใยและให้กำลังใจ  
ข้าพเจ้าเสมอมา

นาย กิตติพงษ์ เจนคุณทองคำใบ  
นาย สราวุธ เรืองไชย  
นาย สุพจน์ ธิติถาวร  
ผู้ประพันธ์

# สารบัญ

## บทที่ เรื่อง

หน้า

ปกในภาษาไทย	ก
ปกในภาษาอังกฤษ	ข
ใบรับรองโครงการพิเศษ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ

<b>1. บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและผลงานการศึกษาในอดีต</b>	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 วิธีการบดอัดวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในวิธีมาร์แชล	4
2.1.2 เกณฑ์การออกแบบของวิธีมาร์แชล	5
2.1.3 วิธีการบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในวิธีซูเปอร์เพฟ	5
2.1.4 เกณฑ์การออกแบบของวิธีซูเปอร์เพฟ	9
2.1.5 คุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต	9
2.2 ผลงานในการศึกษาในอดีต	11
<b>3. วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 การเก็บตัวอย่างและรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต	12
3.1.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต	12
3.1.2 การรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต	13
3.2 การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การบดอัดตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยเครื่อง SGC	14
3.2.2 การเปรียบเทียบความแข็งแรงของ โครงสร้างมวลรวมในวัสดุผสม	17
3.2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต โดยใช้ข้อกำหนดของซูบเปอร์เพพ	17
3.3 สรุปและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา	17
3.3.1 สรุปผลการศึกษา	17
3.3.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา	18
<b>4. ผลการทดสอบและการดำเนินการ</b>	
4.1 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต โดยใช้เกณฑ์ของซูบเปอร์เพพ	20
4.1.1 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ชั้น Binder Course	20
4.1.2 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ชั้น Wearing Course	28
<b>5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 ผลที่ได้จากการศึกษา	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
<b>ภาคผนวก ก</b>	52
<b>ภาคผนวก ข</b>	71
<b>อ้างอิง</b>	73

## สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	เกณฑ์การออกแบบวิธีมาร์แชล	5
2.2	จำนวนรอบการบดอัด $N_{initial}$ , $N_{design}$ และ $N_{maximum}$ ที่แนะนำโดยซูบเปอร์เพฟ โดยแปรตามปริมาณจราจรตลอดอายุการใช้งานกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่เฉลี่ย จาก 7 วันที่ติดกันของอุณหภูมิอากาศบริเวณที่จะทำการก่อสร้างถนน	7
2.3	แสดงค่าระดับการควบคุมความหนาแน่นของวัสดุผสมที่จำนวนรอบบดอัด ที่ควบคุม	8
2.4	ข้อกำหนดสำหรับปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA)	9
2.5	ข้อกำหนดสำหรับปริมาตรช่องว่างที่ดูแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)	9
4.1	การแบ่งระดับปริมาณการจราจรและระดับอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการวิจัย	20
4.1.1.1	ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คิกคอนกรีต ของโครงการก่อสร้างทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 1	21
4.1.1.2	ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คิกคอนกรีต ของโครงการก่อสร้างทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 2	22
4.1.1.3	ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คิกคอนกรีต ของโครงการก่อสร้างทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 3	23
4.1.1.4	ตารางแสดงผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 1	24
4.1.1.5	ตารางแสดงผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 2	24
4.1.1.6	ตารางแสดงผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 3	25
4.1.1.7	ตารางแสดงผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟชั้น Binder Course เฉลี่ย 3 ตัวอย่าง	25
4.1.2.1	ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คิกคอนกรีตของโครงการ 28 ก่อสร้างทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 1	28

4.1.2.2	ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของโครงการ 29 ก่อสร้างทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 2	
4.1.2.3	ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของโครงการ 30 ก่อสร้างทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 3	
4.1.2.4	ตารางแสดงผลการทดสอบโดยวิธีซูบเปอร์เพพชั่น Wearing Course ตัวอย่างที่ 1	31
4.2.5	ตารางแสดงผลการทดสอบโดยวิธีซูบเปอร์เพพชั่น Wearing Course ตัวอย่างที่ 2	31
4.1.2.6	ตารางแสดงผลการทดสอบโดยวิธีซูบเปอร์เพพชั่น Wearing Course ตัวอย่างที่ 3	32
4.1.2.7	ตารางแสดงผลการทดสอบโดยวิธีซูบเปอร์เพพชั่น Wearing Course เฉลี่ย 3 ตัวอย่าง	32
4.1.2.8	รายละเอียดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยวิธีซูบเปอร์เพพ (N <sub>max</sub> =220)	39
ตารางภาคผนวก ก		
ตารางผนวกที่ 1	ผลการหาขนาดผลรวมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเพื่อ ใช้บังคับตามอัตราส่วนผสมของมวลรวม Cold Bin	52
ตารางผนวกที่ 2	ผลการหาขนาดผลรวมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเพื่อ ใช้บังคับตามอัตราส่วนผสมของมวลรวม Hot Bin	53
ตารางผนวกที่ 3	ผลการหาขนาดผลรวมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเพื่อ ใช้บังคับตามอัตราส่วนผสมของมวลรวม Cold Bin	55
ตารางผนวกที่ 4	ผลการหาขนาดผลรวมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด Binder	58
ตารางผนวกที่ 5	ตารางแสดงค่า JOB MIXED DESIGN	59
ตารางผนวกที่ 6	รายละเอียดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยวิธีซูบเปอร์เพพ (N <sub>max</sub> =220)	67
ตารางภาคผนวก ข		
ตารางผนวกที่ 1	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Binder Course โครงการก่อสร้างทางหลวงสาย ถนนวัดศรีวารีน้อย (#31-อ่อนนุช) ตอน 2	71
ตารางผนวกที่ 2	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Wearing Course	71

- ตารางผนวกที่ 3 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Binder Course โครงการก่อสร้างทางหลวง สาย ถนนวัดศรีวารีน้อย (#31-อ่อนนุช) ตอน2 72
- ตารางผนวกที่ 4 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Wearing Course โครงการก่อสร้างทางหลวง สาย ถนนวัดศรีวารีน้อย (#31-อ่อนนุช) ตอน2 72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

<b>รูปที่</b>	<b>ชื่อรูป</b>	<b>หน้า</b>
3.1	แสดงการเก็บตัวอย่างวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตบรรจุในภาชนะ	13
3.2	แสดงเครื่อง Superpave Gyratory Compactor และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน	14
3.3	แสดงการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor	16
3.4	แสดงก้อนตัวอย่างหลังทำการบดอัด และทำสัญลักษณ์บนก้อนตัวอย่าง	16
3.5	ขั้นตอนในวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด	19
4.1	กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้นBinderตัวอย่างที่1	26
4.2	กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้นBinderตัวอย่างที่2	27
4.3	กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้นBinderตัวอย่างที่3	27
4.4	กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Wearing ตัวอย่างที่1	33
4.5	กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Wearing ตัวอย่างที่ 2	34
4.6	กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Wearing ตัวอย่างที่ 3	34
4.7	แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นเมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลติกคอนกรีตชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course เท่ากับ 4.9 % และ Wearing Course 5.1 %	35
4.8	แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าช่องว่างอากาศและความแตกต่างที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธีเมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ชั้นผิวทาง (Layer) Binder Course เท่ากับ 4.9% และ Wearing Course 5.1 %	36
4.9	แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมและความแตกต่างที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธีเมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course เท่ากับ 4.9%และWearing Course 5.1 %	37
4.10	แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ และความแตกต่างที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธีเมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ชั้นผิวทาง (Layer) Binder Course เท่ากับ4.9 % และ Wearing Course เท่ากับ 5.1 %	38
ผนวกที่ 1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Gmm และจำนวนรอบการบดอัด (220 รอบ )	68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถนนลาดยางหรือถนนแอสฟัลติกคอนกรีตเป็นถนนซึ่งมีผิวทางชนิดหยุ่นตัวได้ (Flexible Pavement) โครงสร้างจะมีลักษณะเป็นชั้นๆ (Layer) ประกอบด้วยชั้นผิวทาง ชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง ชั้นวัสดุคัดเลือก และชั้นดินคั่นทาง หากพิจารณาถึงลักษณะการรับน้ำหนักของถนนแล้วจะเห็นว่า การแผ่กระจายน้ำหนักจากล้อรถมีลักษณะเป็นเนื้อที่เล็กๆเท่ากับผิวสัมผัสของล้อแล้วแผ่กระจายลึกลงไปได้ผิวทางในลักษณะรูปกรวยคว่ำทำมุม 45 องศา กับชั้นดิน ส่วนบนของผิวทางจะมีหน่วยแรง (Stress) สูงสุดแผ่กระจายลดลงไปตามลำดับ

ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างถนนชนิดผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต นอกเหนือจากจะต้องทำการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทางแต่ละชั้นรวมทั้งผิวทาง ให้มีความหนาเพียงพอที่จะสามารถรองรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นมากน้อยต่างกันตามระดับปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นได้แล้ว การออกแบบคัดเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างก็มีผลต่อคุณสมบัติของโครงสร้างถนน เช่นกัน ดังนั้นสำหรับวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ปกติใช้ก่อสร้างผิวทางซึ่งเป็นชั้นที่มีความสำคัญสูงสุดในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างถนน จึงต้องมีวิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่สามารถควบคุมคุณภาพและสัดส่วนของวัสดุที่จะนำมาผสมกันได้เหมาะสม เกิดเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดี คงทนใช้งานได้ตามต้องการ

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงใช้วิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต โดยวิธี มาร์แชล โดยกรมทางหลวงซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงในการสำรวจ ออกแบบ ควบคุมการก่อสร้าง ตลอดจนบูรณะและบำรุงรักษาทางหลวงทั้งหมดของประเทศ ได้กำหนดให้วิธีดังกล่าวเป็นวิธีมาตรฐานในการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ตั้งแต่การคัดเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้งานถึงการออกแบบส่วนผสม

แม้ว่าที่ผ่านมาวิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของมาร์แชล จะเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่วิศวกรหลายคนพบว่าวิธีดังกล่าวนี้ยังมีข้อบกพร่องหลายประการที่ส่งผลถึงความเสียหายของผิวทางที่เกิดขึ้นบนถนน มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากวิธีการออกแบบและควบคุมที่ใช้อยู่ ดังตัวอย่างเช่นการบดอัดก้อนตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยการกระแทกในวิธีของมาร์แชลไม่เหมือนกับการบดอัดจริงในสนามซึ่งกระทำโดยรถคดถนน นอกจากนั้นค่าเสถียรภาพของมาร์แชล ( Marshall Stability ) ยังไม่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงบ่งบอกถึงคุณภาพการใช้งานของผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตในสนามได้ ทำให้มีผลกระทบต่อคุณภาพของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ได้รับจากการออกแบบเมื่อนำมาใช้ในงานก่อสร้างจริง อีกทั้งยังสามารถพบได้ว่ามีถนนหลายสายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียหายแม้ว่าผิวทางจะมีค่าเสถียรภาพสูงเมื่อทำการออกแบบ แต่เนื่องจากข้อดีในเรื่องของอุปกรณ์ที่ใช้มีความง่าย สะดวกรวดเร็ว และราคาไม่แพง ประกอบกับยังไม่มีวิธีใดที่ดีกว่า ดังนั้นวิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของมาร์แชลจึงยังคงเป็นที่ยอมรับใช้มาอย่างต่อเนื่อง

การออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพพมีข้อดี ทั้งในด้านทฤษฎีที่พัฒนาขึ้นมาโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการใช้งานจริง และเทคโนโลยีของอุปกรณ์เครื่องมือที่มารองรับความต้องการในการพัฒนาที่เกิดขึ้น ปัจจุบันประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกจึงเริ่มให้ความสนใจในวิธีดังกล่าวนี้เช่นกัน ซึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีผู้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุผสมแอสฟัลต์ที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพพทำให้วัสดุที่ได้มีคุณสมบัติดีขึ้นหรือไม่

ซึ่งหากจะดำเนินการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบวิธีการออกแบบ ขั้นตอนแรกที่จะต้องดำเนินการคือแสดงให้เห็นว่าวิธีการออกแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือวิธีมาร์แชลนั้นมีปัญหาหรือไม่ รวมทั้งต้องประเมินคุณสมบัติของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละวัสดุผสมที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีนี้ว่ามีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร มีปัญหาข้อบกพร่องหรือไม่ และคุณสมบัติของแต่ละวัสดุผสมนี้ผ่านข้อกำหนดของวิธีซูเปอร์เพพหรือไม่อย่างไร จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นต้องศึกษาเป็นอันดับแรก จากวิธีของมาร์แชลที่ใช้กันอยู่มาเป็นวิธีของซูเปอร์เพพเพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตให้ดีขึ้นหรือไม่ต่อไป

ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ส่วนแรกจะทำการศึกษาคูสมบัติเชิงปริมาตรของตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละวัสดุผสมที่เก็บมา โดยทำการบดอัดแต่ละวัสดุผสมด้วยเครื่องมือ Superpave Gyrotory Compactor (SGC) จนถึงรอบการบดอัดสูงสุดประมาณ 300 รอบ จากนั้นนำข้อมูลของแต่ละวัสดุผสมที่ได้จากเครื่อง SGC มาทำการคำนวณเพื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสูงสุดของวัสดุที่ทำการบดอัดต่อจำนวนรอบของการบดอัด (Densification Curve) ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ของวัสดุผสมจะมีความชัน (Slope) ไม่เท่ากันมากบ้างน้อยบ้าง แตกต่างกันตามคุณสมบัติของวัสดุผสมนั้น ๆ จากนั้นหาคุณสมบัติเชิงปริมาตรของแต่ละวัสดุผสมนำมาตรวจสอบกับเกณฑ์ (Criteria) ของวิธีซูเปอร์เพพ เพื่อพิจารณาว่าคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละวัสดุผสมผ่านเกณฑ์ของซูเปอร์เพพที่ทุกระดับปริมาณการจราจรและระดับอุณหภูมิอากาศหรือไม่อย่างไร โดยผลที่ได้จะแสดงให้เห็นว่าวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละวัสดุผสมเหมาะสมกับการใช้งานสภาพการจราจรระดับใด สอดคล้องกับที่ออกแบบได้โดยวิธีมาร์แชลหรือไม่

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาณของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต ที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลและใช้งานอยู่ในประเทศไทย โดยใช้เครื่องมือ Superpave Gyrotory Compactor (SGC) ซึ่งเป็นกลไกส่วนหนึ่งของวิธีซูเปอร์เพฟ
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล เพื่อมาเปรียบเทียบกับวิธีซูเปอร์เพฟ
3. เพื่อศึกษาการใช้งานเครื่อง Superpave Gyrotory Compactor ที่ใช้ทดสอบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่นำมาศึกษาวิจัยคือ AC 60-70 (Penetration) ตามมาตรฐาน มอก.851 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง
2. มวลรวมที่ใช้ในวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่เลือกนำมาศึกษาวิจัยครอบคลุมชนิดหินทั้ง 3 ชนิดได้แก่ หินแกรนิต (Granite) หินบะซอลท์ (Basalt) และหินปูน (Limestone) ซึ่งมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง
3. การวิจัยครั้งนี้จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล โดยใช้เครื่องมือ SGC ซึ่งเป็นกลไกส่วนหนึ่งของวิธีซูเปอร์เพฟ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของวิธีการออกแบบวัสดุผสมของมาร์แชลและซูเปอร์เพฟ
2. ทำให้ทราบคุณสมบัติเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละวัสดุผสมที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล และทราบว่าคุณสมบัติเชิงปริมาณของวัสดุผสมแต่ละวัสดุผสมผ่านเกณฑ์ (Criteria) ของวิธีซูเปอร์เพฟหรือไม่อย่างไร
3. เป็นแนวทางในการพิจารณาว่า วัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ได้รับจากการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลยังมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ก่อสร้างถนนเพียงไร และควรเปลี่ยนมาใช้วิธีการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและผลงานการศึกษาในอดีต

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศสหรัฐอเมริกาช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1940 ถึง 1990 เป็นเวลากว่า 50 ปี การออกแบบวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตชนิดผสมร้อนทั้งหมดจะใช้วิธีของมาร์แชลหรือวิธีของฮวิม จากการสำรวจในปี พ.ศ. 1984 ประมาณร้อยละ 75 ของหน่วยงานทางหลวงของแต่ละรัฐใช้วิธีของมาร์แชล ในขณะที่ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 25 ใช้วิธีของฮวิม และบางหน่วยงานใช้ทั้งสองวิธี จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1995 หน่วยงานทางหลวงของรัฐบางแห่งได้เริ่มเปลี่ยนมาใช้วิธีซูเปอร์เพฟในบางโครงการ และปัจจุบันหน่วยงานทางหลวงของรัฐทุกรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกาได้หันมาใช้วิธีการออกแบบวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตชนิดผสมร้อนตามแนวทางของซูเปอร์เพฟแล้ว

#### 2.1.1 วิธีการบดอัดวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตในวิธีมาร์แชล

การบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตในวิธีมาร์แชล จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Marshall Compactor ซึ่งใช้สำหรับบดอัดวัสดุ เพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ( 101.6 มิลลิเมตร) สูงประมาณ 2.5 นิ้ว (63.5 มิลลิเมตร) การบดอัดใช้วิธีปล่อยน้ำหนักกระแทกลงบนก้อนตัวอย่างด้วยจำนวนการบดอัดที่แน่นอน (35 หรือ 50 หรือ 75 ครั้งต่อด้าน) ซึ่งกำหนดตามระดับปริมาณการจราจรที่ต้องรองรับ เพราะแต่ละค่าจำนวนการบดอัดได้รับการเปรียบเสมือนเป็นการจำลองการบดอัดที่เกิดจากการจราจรจริง

**ข้อดีในการใช้งานของวิธีการบดอัดแบบมาร์แชลคือ**

- เครื่องมือที่ใช้มีราคาไม่แพงและสะดวกในการติดตั้ง จึงสามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพงานในการก่อสร้างได้

**ข้อบกพร่องและขีดจำกัดในการใช้งานของวิธีการบดอัดแบบมาร์แชล**

- การบดอัด โดยใช้การกระแทกของก้อนน้ำหนักบนก้อนตัวอย่างนั้นแตกต่างจากลักษณะการบดอัดผิวทางในสนามด้วยรถบดโดยสิ้นเชิง ส่งผลให้การออกแบบคลาดเคลื่อนได้
- ความสม่ำเสมอในการบดอัดค่อนข้างต่ำเนื่องจากใช้แรงงานคน จึงมีความคลาดเคลื่อนสูง
- มีขีดจำกัดในขนาดของ Mold ทำให้ไม่สามารถออกแบบวัสดุผสมโดยใช้วัสดุรวมที่มีขนาดใหญ่ได้
- มีความแปรปรวนของผลการบดอัดค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การกระแทกอาจทำให้มีปริมาณ Fine Particle มากขึ้นเนื่องจากการแตกของ Aggregate

### 2.1.2 เกณฑ์การออกแบบของวิธีมาร์แชล

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การออกแบบของวิธีมาร์แชล

Marshall Method Mix Criteria	Traffic					
	Light		Medium		Heavy	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Compaction , No. of blows/side	35		50		75	
Stability , lb (N)	750(3333)	---	1200(5333)	---	1800(8000)	---
Flow 0.01 inches (0.25 mm)	8	18	8	16	8	14
Air Voids, %	3	5	3	5	3	5

ที่มา : Roberts et al. (1996)

### 2.1.3 วิธีการบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตในวิธีซูเปอร์เพพ

องค์ประกอบสำคัญของการออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตในวิธีซูเปอร์เพพคือ เครื่อง Superpave Gyrotory Compactor ( SGC ) ซึ่งใช้ในการบดอัดวัสดุผสม โดยสามารถใช้บดอัดวัสดุผสมเพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างได้ 2 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร จำนวนรอบของการบดอัดขึ้นอยู่กับระดับการจราจรและอุณหภูมิอากาศสูงสุดเฉลี่ย วัสดุผสมที่ใช้รองรับปริมาณการจราจรและอุณหภูมิอากาศสูง ๆ จะมีความหนาแน่นสูง ดังนั้นการบดอัดในห้องปฏิบัติการควรจะสามารถบดอัดก้อนตัวอย่างให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นได้ตามต้องการ ซึ่งการเพิ่มความหนาแน่นนี้ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบของการบดอัด

## ลักษณะของเครื่อง SGC

เครื่อง SGC เป็นเครื่องมือกลกึ่งอัตโนมัติที่สามารถควบคุมการให้น้ำหนักกดที่คงที่ มีลักษณะดังปรากฏในรูปที่ 2.2 องค์ประกอบหลักของเครื่อง SGC ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ คือ

- โครงหลักของเครื่องมือ (Reaction Frame) พร้อมด้วย Rotation Base และ Motor
- ระบบการควบคุมน้ำหนักกดอัดที่ประกอบด้วย Loading Ram และ Pressure Gauge
- ระบบการวัดความสูงก่อนตัวอย่างขณะทำการบดอัด และบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ
- แบบบรรจุตัวอย่างเพื่อทำการบดอัด (Mold) ขนาด 100 และ 150 มิลลิเมตร

### กระบวนการทำงานของเครื่องมือในการบดอัด

ในการบดอัดกระบวนการบดอัดจะเริ่มขึ้น โดยนำวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่จะทำการบดอัดบรรจุลงใน Mold จากนั้นนำ Mold ดังกล่าวเข้าติดตั้งกับส่วนฐานรับก่อนตัวอย่างซึ่งส่วนฐานนี้จะหมุนในอัตรา 30 รอบต่อนาที และจะรองรับ Mold ไว้ขณะทำการบดอัด นอกจากนี้ที่ฐานจะมีขอบเพื่อล็อกเข้ากับ Bearing ที่ทำหน้าที่บังคับวัสดุผสมใน Mold ทำมุม 1.25 องศากับหัวของ Loading Ram ที่ควบคุมความดันกดบนวัสดุใน Mold ด้วยความดันคงที่ 0.6 เมกะปาสกาล (Mpa) เพื่อทำการบดอัดวัสดุในแต่ละรอบของการหมุน ซึ่งเป็นการลอกเลียนพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากสภาพจริงในสนามที่ล้อเหล็กของรถบดอัดทำกับผิวถนน ขณะทำการบดอัดถนนในสนาม

นอกจากนี้ในการบดอัดตัวอย่างวัสดุแต่ละรอบของการหมุน เครื่องมือ SGC ยังได้รับการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ทำให้สามารถทราบความสูงของก่อนตัวอย่างในทุก ๆ รอบของการบดอัดอีกด้วย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดประโยชน์เป็นอย่างมาก เพราะเมื่อทราบความสูงของก่อนตัวอย่างในทุกรอบของการบดอัดประกอบกับข้อมูลอื่นที่ทราบอยู่แล้วก่อนหน้า เช่น มวลของวัสดุผสมที่บรรจุลงใน Mold เพื่อบดอัด และเส้นผ่านศูนย์กลางของ Mold ทำให้สามารถคำนวณเพื่อทราบความหนาแน่นของก่อนตัวอย่างในทุกรอบของการบดอัด และสามารถได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสูงสุดที่ทำการบดอัดต่อจำนวนรอบของการบดอัด ซึ่งจากกราฟลักษณะนี้สามารถทำให้ทราบถึงคุณสมบัติความแข็งแรงของ โครงสร้างวัสดุมวลรวมในวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ทำการบดอัด อีกทั้งทำให้คาดการณ์ถึงความสามารถในการใช้งานในสนามของวัสดุนั้นได้อีกด้วย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสามารถที่จะได้รับข้อมูลที่มีความละเอียดในทุกรอบของการบดอัดนั้น ทำให้ผู้ออกแบบวัสดุผสมหรือผู้ควบคุมคุณภาพการก่อสร้างสามารถทราบพฤติกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่กำลังทำการออกแบบหรือควบคุมคุณภาพได้อย่างละเอียด เพื่อให้สามารถทำการแก้ไขปรับปรุงวัสดุผสมหากจำเป็นได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ผลจากการบดอัดหากจะพิจารณาถึงความแข็งแรงในการต้านทานการรับน้ำหนักของวัสดุผสมที่ทำการบดอัดแล้ว ผลจากการบดอัดด้วยเครื่อง SGC สามารถเปรียบเทียบบอกถึงความแข็งแรงของโครงสร้างวัสดุมวลรวมในวัสดุผสมได้อย่างรวดเร็ว และชัดเจนจะพบว่าสำหรับกรณีที่แสดงว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างวัสดุรวมไม่แข็งแรงนั้น เมื่อได้รับการบดอัดด้วยจำนวนรอบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ก้อนตัวอย่างมีการยุบตัวไปอย่างมาก ส่งผลทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างขึ้นสูงอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งวัสดุผสมในลักษณะนี้ไม่เป็นที่ต้องการในการใช้งาน เนื่องจากการบ่งบอกถึงว่าวัสดุผสมดังกล่าว นั้นไม่มีความคงตัว (Stable) ในการรับน้ำหนักและมีความยากลำบากในการบดอัดในสนาม

ดังนั้นในการออกแบบและการควบคุมคุณภาพนั้น เพื่อให้วัสดุผสมมีคุณภาพที่ดี ในข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟจึงกำหนดขอบเขตควบคุมระดับความหนาแน่นที่เกิดขึ้นจากการบดอัดที่ จำนวนรอบการบดอัดต่างกัน 3 จุดด้วยกันคือ

- จุดที่ 1 : Initial Number of Gyration ( $N_{initial}$ )
- จุดที่ 2 : Design Number of Gyration ( $N_{design}$ )
- จุดที่ 3 : Maximum Number of Gyration ( $N_{maximum}$ )

โดยที่ค่าจำนวนรอบ (N) ที่จุดต่าง ๆ เหล่านี้ ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟได้กำหนด แนะนำไว้โดยแปรตามสภาพของปริมาณจราจรตลอดอายุการใช้งานและอุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบ ถนนที่กำลังออกแบบวัสดุผสมนั้น โดยมีการแนะนำไว้ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2 ตารางที่ 2.2 จำนวนรอบการบดอัด  $N_{initial}$ ,  $N_{design}$  และ  $N_{maximum}$  ที่แนะนำโดยซูเปอร์เพฟ โดยแปรตาม ปริมาณจราจรตลอดอายุการใช้งานกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่เฉลี่ยจาก 7 วันที่ติดกันของอุณหภูมิอากาศ บริเวณที่จะทำการก่อสร้างถนน

Design ESALs (millions)	Average Design High Air Temperature											
	< 39 °C			39 - 40 °C			41 - 42 °C			42 - 44 °C		
	$N_{ini}$	$N_{des}$	$N_{max}$	$N_{ini}$	$N_{des}$	$N_{max}$	$N_{ini}$	$N_{des}$	$N_{max}$	$N_{ini}$	$N_{des}$	$N_{max}$
< 0.3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
0.3 - 1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
1 - 3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
3 - 10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
10 - 30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
30 - 100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
> 100	9	143	235	10	158	262	10	165	275	10	172	288

ที่มา : Asphalt Institute (1996)

ซึ่งนอกจากนี้ในตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าควบคุมทั้ง 3 จุดนั้นมีเหตุผลที่ต้องการที่จะให้ได้วัสดุผสมที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถอธิบายได้คือ

1. การควบคุมจุดที่หนึ่ง เมื่อรอบการบดอัดมาถึงจำนวนรอบ  $N_{initial}$  ซึ่งเป็นการบดอัดในขั้นเริ่มต้นเพียงไม่เกิน 10 รอบ ดังนั้นหากวัสดุผสมมีสัดส่วนที่เหมาะสมและมีความแข็งแรงต้านทาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับน้ำหนักในการบดอัดได้ดีแล้ว หลังจากได้รับการบดอัดเพียงแค่  $N_{initial}$  จะไม่ควรมีความหนาแน่นสูงเกินไป ซึ่งในกรณีนี้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟได้กำหนดไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 89 ของ Maximum Theoretical Specific Gravity เพื่อคัดวัสดุผสมที่ไม่มีความคงตัวออกไป

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าระดับการควบคุมความหนาแน่นของวัสดุผสมที่จำนวนรอบบดอัดที่ควบคุม

ระดับการบดอัด (จำนวนรอบที่บดอัด)	ระดับความหนาแน่นที่ควบคุม (คิดเป็นร้อยละของ Maximum Theoretical Specific Gravity)
$N_{initial}$	< ร้อยละ 89
$N_{design}$	ร้อยละ 96
$N_{maximum}$	< ร้อยละ 98

2. การควบคุมจุดที่สอง เมื่อรอบการบดอัดมาถึงจำนวนรอบการบดอัด  $N_{initial}$  ที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นจุดที่คาดว่าจะการบดอัดได้ผ่านมาถึงจุดที่เหมาะสมแก่การใช้งานเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรตามที่ออกแบบ ซึ่งหากวัสดุผสมที่สัดส่วนที่เหมาะสมและมีความแข็งแรงด้านทานการรับน้ำหนักได้ดีแล้ว หลังจากได้รับการบดอัดถึงจุด  $N_{design}$  ควรที่จะมีความหนาแน่นที่เหมาะสมคงสภาพความยืดหยุ่นไว้ได้ ซึ่งโดยปกติต้องการให้มีปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void) อยู่ที่ร้อยละ 4 โดยสำหรับในกรณีนี้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ จึงกำหนดไว้ที่ร้อยละ 96 ของ Maximum Theoretical Specific Gravity เพื่อคัดวัสดุผสมที่ไม่เหมาะสมออกไป

3. การควบคุมจุดที่สาม เมื่อรอบการบดอัดมาถึงจำนวนรอบ  $N_{max}$  ที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นจุดที่คาดว่าจะการบดอัดได้ผ่านมาถึงจุดสูงสุดที่วัสดุผสมจะสามารถรักษาสภาพความยืดหยุ่นในการรองรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรตามที่ออกแบบไว้ได้ ซึ่งหากวัสดุผสมมีสัดส่วนที่เหมาะสมและมีความแข็งแรงด้านทานการรับน้ำหนักได้ดีแล้ว หลังจากได้รับการบดอัดถึงจุด  $N_{max}$  ควรที่จะมีความหนาแน่นที่ยังคงเหมาะสมคงสภาพความยืดหยุ่นไว้ได้ ซึ่งโดยปกติกำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void) อยู่ที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 ด้วยเหตุผลที่เข้าใจได้ว่าหากวัสดุผสมมีปริมาณ Air Void น้อยกว่าร้อยละ 2 แล้ว วัสดุผสมที่บดอัดแล้วจะไม่มีสภาพความยืดหยุ่นโดยที่หากได้รับน้ำหนักกระทำแล้วอาจทำให้เกิดการยุบตัวอย่างถาวร (Plastic Deformation) ขึ้นได้ โดยสำหรับในกรณีนี้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ จึงกำหนดไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 98 ของ Maximum Theoretical Specific Gravity เพื่อคัดวัสดุผสมที่ไม่เหมาะสมออกไป

ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญว่าหากผลการบดอัดของวัสดุผสมโดยใช้เครื่องมือ SGC ปรากฏว่าผ่านจุดควบคุมทุกจุดที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ จากผลการวิจัยแสดงว่าวัสดุผสมนั้นมีความเหมาะสมทนทานต่อการรับน้ำหนักบรรทุกจากปริมาณจราจรในสนามได้เป็นอย่างดี (ชยชันวี พรหมศร, 2542 : 91 – 100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.4 เกณฑ์การออกแบบของวิชิซูเปอร์เฟฟ

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดสำหรับปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA)

Nominal Maximum Aggregate Size , mm	Minimum VMA , percent
9.5	15.0
12.5	14.0
19.0	13.0
25.0	12.0
37.5	11.0

ที่มา : Asphalt Institute (1996)

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดสำหรับปริมาณช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)

Traffic , millions ESALs	Design VFA, percent
< 0.3	70 – 80
< 1	65 – 78
< 3	65 – 78
< 10	65 – 75
< 30	65 – 75
< 100	65 – 75
≥ 100	65 - 75

ที่มา : Asphalt Institute (1996)

## 2.1.5 คุณสมบัติเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ช่องว่างอากาศ ( Air Voids ,  $V_v$  ) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ สำหรับผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตที่ได้รับการบดอัดแล้วจะต้องมีปริมาณช่องว่างอากาศที่เพียงพอ เพราะว่าหลังจากที่เปิดการจราจรแล้วยานพาหนะที่แล่นบนผิวทางจะทำให้ผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตแน่นขึ้นกว่าเดิม จึงมีปริมาณช่องว่างอากาศน้อยลง ดังนั้นถ้าปริมาณช่องว่างอากาศที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ไม่เพียงพอก็จะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนน นอกจากนั้นช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนอีกด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 ขึ้นอยู่กับ

ปริมาณน้ำหนักร้อยละของยานพาหนะที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่าง ๆ อาจออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่าง ได้มากขนาดร้อยละ 4 ถึง 7 เป็นต้น

ปริมาตรช่องว่างอากาศมีผลต่อความทนทานของผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีต ถ้า ปริมาตรช่องว่างอากาศน้อย น้ำและอากาศมีโอกาสซึมผ่านเข้าไปทำลายการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับ แอสฟัลต์ได้น้อย ทำให้ผิวทางมีอายุยาวนาน อย่างไรก็ตามถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศมีน้อยเกินไปจะทำให้ แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนนได้

ความหนาแน่นและช่องว่างของอากาศมีความสัมพันธ์กัน ถ้าความหนาแน่นมาก ปริมาตรช่องว่างอากาศจะมีค่าน้อยและเป็นจริงในทางกลับกัน การกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดของ ผิวทางจะต้องคำนึงถึงปริมาตรช่องว่างอากาศด้วย โดยปกติผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตที่บดเสร็จใหม่ ๆ มักจะกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยกว่าร้อยละ 8 (Voids in Mineral Aggregate , VMA) หมายถึง ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลติก คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมทั้งช่องว่างที่ถูกแทนด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Asphalt หรือ VFA) ด้วย

ดังนั้นช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมจึงเป็นปริมาตรช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วย แอสฟัลต์รวมกับปริมาตรช่องว่างอากาศ ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า  $VMA = VFA + AV$  การ ออกแบบวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีปริมาตรช่องว่างอากาศเท่ากับ แอสฟัลติกคอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลติกคอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่าสามารถ อธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่า มวลรวมที่มีค่า VMA สูงย่อมมีปริมาตรช่องว่างสำหรับใส่ แอสฟัลต์มากทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลติกที่ห่อหุ้มผิวอนุภาคของมวลรวมหนากว่า จึงทำให้แอสฟัลติกคอนกรีตมีความทนทานและมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า

การออกแบบวัสดุผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนด ทำให้ใช้แอสฟัลติกผสมน้อย เป็นการประหยัดแต่ไม่ควรกระทำ เพราะจะทำให้ผิวทางแอสฟัลติกคอนกรีตมีความทนทานลดลง

ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ( Voids Filled with Asphalt ,VFA ) คือ ปริมาตร ช่องว่างซึ่งถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ประสิทธิผล ( Effective Asphalt ) แสดงอยู่ในรูปร้อยละของ อัตราส่วนระหว่าง  $(VMA - V_v)$  กับ VMA

ค่า VFA จะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาตรช่องว่างอากาศ หาก ปริมาตรช่องว่างอากาศมีค่าเป็นศูนย์ VFA จะมีค่าเป็นร้อยละ 100 ซึ่งวัสดุผสมที่เมื่อนำไปก่อสร้างเสร็จ ใหม่ ๆ มักจะมีค่า VFA อยู่ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุผสมมีความหนาแน่น เพิ่มขึ้นหลังจากรองรับการจราจร แต่ถ้าหาก VFA มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ถึง 85 วัสดุผสมจะไม่มี เสถียรภาพและเกิดการยุบตัวได้

**การไหล (Flow)** คือ การเสียรูปในแนวตั้ง ( Vertical Deformation ) ของก้อนตัวอย่าง แอสฟัลต์คอนกรีต ในขณะที่ทำการทดสอบเพื่อหาค่าเสถียรภาพตั้งแต่เริ่มให้น้ำหนักกระทำจนกระทั่งค่าเสถียรภาพเริ่มมีค่าลดลง มีหน่วยเป็น 0.01 นิ้ว

วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าการไหลสูงจะมีคุณสมบัติเป็นวัสดุผสมแบบพลาสติก ( Plastic Mix ) ซึ่งจะเกิดปัญหาการยุบตัวถาวร ( Permanent Deformation ) เมื่อรองรับการจราจรและวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าการไหลต่ำจะมีปริมาณช่องว่างมากกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้วัสดุผสมไม่มีความทนทาน เปราะและแตกหักง่ายในช่วงอายุการใช้งาน

วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น (บดอัดเป็นจำนวน 75 ครั้ง ต่อค้ำ) ควรมีค่าการไหลอยู่ระหว่าง 8 ถึง 16 และวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับถนนที่มีการจราจรเบาบางถึงปานกลาง (บดอัดเป็นจำนวน 50 ครั้งต่อค้ำ) ค่าการไหลอาจจะมีค่ามากกว่า 20 ก็ได้

## 2.2 ผลงานในการศึกษาในอดีต

1. ชยธัญ (2542) ได้กล่าวเปรียบเทียบวิธีการบดอัดก้อนตัวอย่างโดยวิธีมาร์แชลกับการบดอัดก้อนตัวอย่างโดยเครื่อง Superpave Gyrotory compactor ในวิธีของซูเปอร์เพฟว่า การบดอัดก้อนตัวอย่างโดยวิธีมาร์แชลยังมีข้อบกพร่องและขีดจำกัดอยู่หลายประการคือ

- การบดอัดก้อนตัวอย่างโดยการกระแทกของก้อนน้ำหนักรุน แต่ต่างจากลักษณะการบดอัดผิวทางในสนาม โดยรถบดอย่างสิ้นเชิง ส่งผลให้การออกแบบคลาดเคลื่อนได้
- ความสม่ำเสมอในการบดอัดค่อนข้างต่ำ เนื่องจากใช้แรงงานคนจึงมีความคลาดเคลื่อนสูง
- มีขีดจำกัดในขนาดของแบบหล่อ ทำให้ไม่สามารถออกแบบวัสดุผสมโดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ได้
- มีความแปรปรวนของผลการบดอัดค่อนข้างสูง

สำหรับวิธีซูเปอร์เพฟได้นำเครื่อง Superpave Gyrotory compactor มาใช้ในการบดอัดก้อนตัวอย่าง ซึ่งมีมุมมองในการบดอัดเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในสนามได้ และสามารถทราบข้อมูลความสูงของก้อนตัวอย่างระหว่างการบดอัดเพื่อใช้ในการออกแบบและควบคุมคุณภาพของวัสดุผสม โดยที่จะมีข้อกำหนดเรื่องความหนาแน่นที่จำนวนรอบต่าง ๆ ซึ่งก้อนตัวอย่างจะต้องมีค่าความหนาแน่นไม่เกินหรืออยู่ในช่วงที่กำหนด ในส่วนนี้ก็จะทำให้ได้วัสดุผสมที่สามารถบดอัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้จะแบ่งวิธีการดำเนินงานการวิจัยออกเป็นหลายขั้นตอน ประกอบด้วย การเก็บตัวอย่างและการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต การทดสอบหาคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต และขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการสรุปและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 การเก็บตัวอย่างและรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

##### 3.1.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ในการศึกษานี้ได้กำหนดที่จะทำการศึกษาจากวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตซึ่งผ่านการออกแบบด้วยวิธีมาร์แชลมาแล้ว โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง โดยทำการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตจากโครงการก่อสร้างถนนแอสฟัลติกคอนกรีตในทุกภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย โดยแบ่งวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ชั้น Binder Course และชั้น Wearing Course โดยในการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละชั้นมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตจากเครื่องปูถนน (Paver) ในขณะที่จะทำการปูวัสดุผสมลงบนถนนซึ่งวัสดุผสมยังคงอยู่ในสภาพที่ร้อน
2. ทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตก่อนทำการเก็บเพื่อป้องกันวัสดุที่ไม่พึงประสงค์ปนเปื้อนมากับตัวอย่าง
3. ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตจากบริเวณกลางกอง เพื่อป้องกันการแยกตัว (Segregation) ของวัสดุผสมที่อาจเกิดขึ้นบริเวณริมกอง ใส่ลงในกระป๋องที่เตรียมไว้จนได้ปริมาณตามที่กำหนดไว้
4. ปิดฝากระป๋องให้สนิทในที่เพื่อป้องกันการระเหยและวัสดุอื่นเข้าไปปนเปื้อนตัวอย่าง



รูปที่ 3.1 แสดงการเก็บตัวอย่างวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตบรรจุในภาชนะ

### 3.1.2 การรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีต

ในการศึกษานี้ได้ทำการรวบรวม job-Mix Formula มาจากสำนักวิศวกรรมและตรวจสอบ กรมทางหลวง ซึ่งเป็นผู้ออกแบบวัสดุผสมทั้งหมดที่ได้เก็บมาตาม 3.1.1 โดยใน Job-Mix Formula จะมีข้อมูลรายละเอียดทั้งหมดของวัสดุผสม ซึ่งข้อมูลรายละเอียดของวัสดุผสมที่ใช้ในการวิจัยนี้มีดังนี้

- ขนาดกะละของมวลรวม(Aggregate Gradation ) ทั้งแบบ Clod Bin และ Hot Bin
- Mix Proportion (%)
- Bulk Specific Gravity
- Apparent Specific Gravity
- Water Absorption (%)
- Flakiness Index (%)
- Elongation Index (%)
- Asphalt Absorption (%)
- Los Angeles Abrasion (%)
- Soundness (% Weight Loss)
- Sand Equivalent (%)
- Design Asphalt Content (% By Weight of Aggregate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Marshall Density (gm/ml)
- Marshall Air Voids (%)
- Voids in Mineral Aggregate (%)
- Voids Filled with Asphalt (%)
- Marshall Stability (lbs)
- Marshall Flow (0.01")
- Marshall Stability Marshall Flow (lbs/0.01")
- Strength Index

### 3.2 การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

#### 3.2.1 การบดอัดตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตด้วยเครื่อง SGC

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกของแต่ละสายทางที่เก็บมาตามข้อ

3.1.1 ซึ่งผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล ทั้งวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Binder Course และวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Wearing Course จะอ้างอิงวิธีมาตรฐาน "Standard Method for preparing and Determining the Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the SHRP Gyratory compactor (AASHTO TP4)" เพื่อให้ตัวอย่างวัสดุผสมมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในวิธีมาตรฐาน จากนั้นจึงนำวัสดุผสมที่เตรียมไว้มาทำการบดอัดใน Mold ขนาด 100 มิลลิเมตรด้วยเครื่อง SGC ด้วยจำนวนรอบการบดอัด 220 รอบเป็นจำนวน 3 ตัวอย่างต่อสายทาง โดยขั้นตอนหลัก ๆ ในการบดอัดตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตมีดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่อง Superpave Gyratory Compactor และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 นำกระป๋องที่บรรจุตัวอย่างวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตที่เก็บมาจากสนามมาให้ความร้อนด้วยการอบในเตาที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างวัสดุผสมเกิดการหลอมตัว และสามารถเทออกจากกระป๋องได้

ขั้นตอนที่ 2 นำตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่หลอมตัวแล้ว เทออกจากกระป๋องลงในถาด จากนั้นใช้ Spatula ตักและคนเพื่อให้มวลรวมในวัสดุผสมมีขนาดคละกัันดี ไม่เกิดการแยกตัว (Segregation)

ขั้นตอนที่ 3 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตลงในถาดอีกอันหนึ่ง โดยให้น้ำหนักประมาณ 1250 กรัม

ขั้นตอนที่ 4 นำตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตที่ชั่งน้ำหนักแล้ว กลับเข้าไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำขั้นตอนเดิมตั้งแต่เพื่อเตรียมตัวอย่างก่อนต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำวัสดุไปตรวจสอบว่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้บดอัด ( 150 องศาเซลเซียส)หรือไม่ ถ้าอุณหภูมิของวัสดุผสมสูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้บดอัด ให้นำวัสดุผสมไปเข้าเตาอบอีกเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิของวัสดุผสมเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการบดอัด (เข้าเตาอบเป็นเวลาประมาณ 30 นาที) ขณะเดียวกันให้นำ Mold ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ไปเข้าเตาอบเพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการบดอัด

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อถึงเวลาให้นำ mold และตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตออกจากเตาอบ ใส่กระดาษรองที่เตรียมไว้ลงใน Mold เพื่อรองกัน จากนั้นจึงใส่ตัวอย่างวัสดุผสมลงใน Mold แล้วใส่กระดาษรองอีกอันปิดด้านบน นำ Mold ไปวางติดตั้งไว้ที่เครื่อง SGC เพื่อพร้อมที่จะทำการบดอัด



**รูปที่ 3.3 แสดงการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyrotory Compactor**

ขั้นตอนที่ 8 ก่อนเดินเครื่องให้กดปุ่ม “Mold Lower” เพื่อเลื่อน Mold ลง แล้วจึงกดปุ่ม “Mold Lock” เพื่อยึด Mold ให้ติดกับฐาน จากนั้นจึงใส่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้ลงในโปรแกรม ตรวจสอบค่าแรงดันและมุมในการบดอัดให้เท่ากับ 600 กิโลปาสคาล ( $\pm 18$  กิโลปาสคาล) และ 1.25 องศา ( $\pm 0.02$  องศา) ตามลำดับ แล้วจึงเริ่มเดินเครื่อง

ขั้นตอนที่ 9 หลังจากบดอัดเสร็จแล้ว ดันก้อนตัวอย่างออกจาก Mold ลอกกระดาษของออกจากก้อนตัวอย่าง และทำสัญลักษณ์ที่ก้อนตัวอย่างให้เรียบร้อย จากนั้นจึงทำการบดอัดตัวอย่างก้อนต่อไป



**รูปที่ 3.4 แสดงก้อนตัวอย่างหลังทำการบดอัด และทำสัญลักษณ์บนก้อนตัวอย่าง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักทดสอบกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 3.2.2 การเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมในวัสดุผสม

เมื่อทำการบดอัดวัสดุแอสฟัลติกคอนกรีตแต่ละวัสดุผสมดังในข้อ 3.2.1 จากนั้นจะนำข้อมูลการบดอัดของก้อนตัวอย่างทั้ง 3 ก้อนของแต่ละวัสดุผสมที่ได้จากเครื่อง SGC มาทำการคำนวณหาค่าร้อยละของ Maximum Theoretical Specific Gravity ( $%G_{mm}$ ) ที่ถูกรอบของการบดอัด และหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้ง 3 ก้อน แล้วจึงนำมาเขียน Densification Curve เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมในวัสดุผสมได้

### 3.2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพพ

จากการพิจารณา Densification Curve แต่ละเส้น จะทำให้ทราบค่าร้อยละของ Maximum Theoretical Specific Gravity ( $%G_{mm}$ ) ที่  $N_{ini}$ ,  $N_{des}$  และ  $N_{max}$  ของแต่ละวัสดุผสมที่ทุกระดับปริมาณการจราจร และอุณหภูมิอากาศ ตามตารางแสดงจำนวนรอบการบดอัดที่แนะนำโดยซูเปอร์เพพได้ จากนั้นจะนำค่าดังกล่าวมาพิจารณาประกอบกับค่าช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม (VMA) และช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) เพื่อพิจารณาว่าวัสดุผสมแต่ละวัสดุผสมมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ของซูเปอร์เพพหรือไม่อย่างไรต่อไป

## 3.3 สรุปและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา

### 3.3.1 สรุปผลการศึกษา

หลังจากทราบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตดังในหัวข้อที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 จากนั้นจะนำผลที่ได้มาสรุปเป็นหัวข้อดังนี้

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล
2. ผลการเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมในวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต
3. ผลการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยใช้เกณฑ์ของซูเปอร์เพพ
4. ลักษณะขนาดคละของมวลรวมในวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

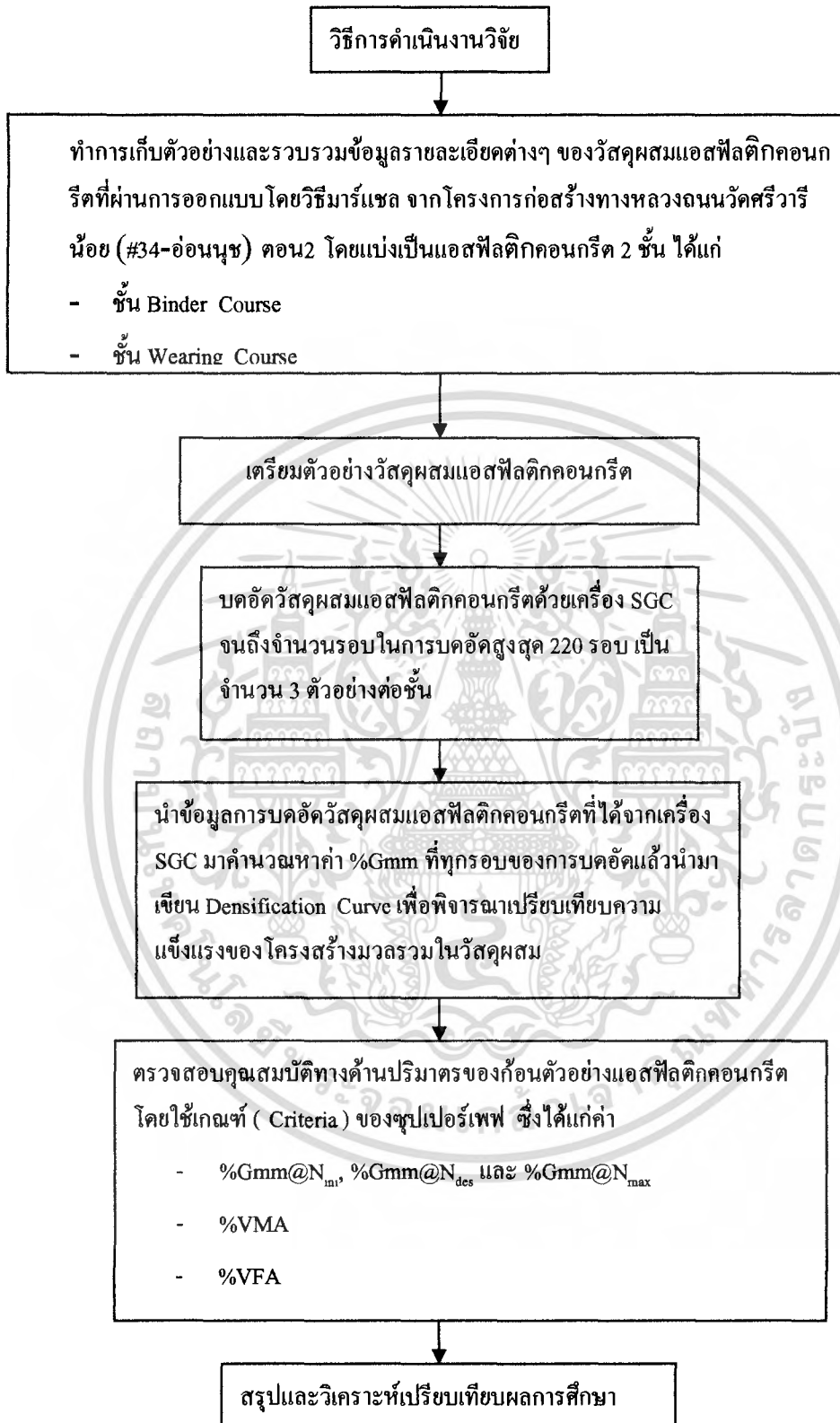
### 3.3.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา

ในหัวข้อนี้จะนำผลสรุปจากหัวข้อ 3.3.1 ตั้งแต่ข้อที่ 1 , 2 , 3 และ 4 มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อที่ 5 ทีละข้อตามลำดับ เพื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงต่อกันตามหัวข้อดังนี้

1. การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปโดยวิธีมาร์แชลของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต
2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต
3. การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตร โดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพพ
4. การวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะขนาดคละของมวลรวมของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต
5. ขั้นตอนในวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.5 ขั้นตอนในวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและการดำเนินการ

#### 4.1 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตโดยใช้เกณฑ์ของซูเปอร์เพฟ

ในการวิจัยนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยต่อไปซึ่งอุณหภูมิอากาศ ค่อนข้างสูงและจากปริมาณการจราจรปานกลางของเส้นทางที่ทำการศึกษาดังนี้  $N_{max} = 220$  จากตาราง 4.1 การแบ่งระดับปริมาณการจราจรและระดับอุณหภูมิอากาศ

ดังนั้นตารางแสดงจำนวนรอบการบดอัดตามระดับปริมาณการจราจรและอุณหภูมิอากาศที่แบ่งขึ้นใหม่สามารถแสดงได้ดัง ตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 การแบ่งระดับปริมาณการจราจรและระดับอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการวิจัยนี้

ระดับปริมาณการจราจร

ระดับอุณหภูมิอากาศ

	ปกติ			สูง		
	$N_{ini}$	$N_{des}$	$N_{max}$	$N_{ini}$	$N_{des}$	$N_{max}$
เบาบาง	7	76	117	8	93	146
ปานกลาง	8	109	174	9	135	220
หนาแน่น	9	143	235	10	172	288

#### 4.1.1 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Binder Course

ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Binder Course ประกอบด้วยผลการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีต ในเขตสายทางที่ทำการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 4.1.1.1 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของโครงการก่อสร้าง  
ทางหลวงถนนวัศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 1

ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
Gyra.	Ht.	Gmb(est)	Gmb(corr)	%Gmm
4	75	2.118	2.170	82.8
5	74.2	2.141	2.193	83.7
6	73.6	2.158	2.211	84.4
8	72.6	2.188	2.242	85.5
10	71.8	2.212	2.267	86.5
12	71.1	2.234	2.289	87.3
16	70.1	2.266	2.321	88.6
20	69.4	2.289	2.345	89.5
25	68.7	2.312	2.369	90.4
32	68	2.336	2.393	91.3
40	67.4	2.357	2.414	92.1
50	66.8	2.378	2.436	93.0
64	66.1	2.403	2.462	94.0
80	65.5	2.425	2.485	94.8
100	65.2	2.436	2.496	95.2
128	64.7	2.455	2.515	96.0
160	64.4	2.466	2.527	96.4
200	63.9	2.486	2.547	97.2
220	63.9	2.486	2.547	97.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.1.2 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของโครงการก่อสร้าง  
ทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 2

ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
Gyra.	Ht.	Gmb(est)	Gmb(corr)	%Gmm
4	75.5	2.110	2.154	82.2
5	74.7	2.133	2.177	83.1
6	74.1	2.150	2.195	83.8
8	73.1	2.179	2.225	84.9
10	72.3	2.203	2.249	85.8
12	71.6	2.225	2.271	86.7
16	70.7	2.253	2.300	87.8
20	69.9	2.279	2.327	88.8
25	69.2	2.302	2.350	89.7
32	68.4	2.329	2.378	90.7
40	67.8	2.350	2.399	91.5
50	67.2	2.371	2.420	92.4
64	66.6	2.392	2.442	93.2
80	66.1	2.410	2.460	93.9
100	65.5	2.432	2.483	94.8
128	65.1	2.447	2.498	95.3
160	64.7	2.462	2.514	95.9
200	64.2	2.481	2.533	96.7
220	64	2.489	2.541	97.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก้นำไปใช้

ตารางที่ 4.1.1.3 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของโครงการก่อสร้าง  
ทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 3

ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
Gyra.	Ht.	Gmb(est)	Gmb(corr)	%Gmm
4	75.9	2.101	2.158	82.3
5	75.2	2.120	2.178	83.1
6	74.5	2.140	2.198	83.9
8	73.6	2.166	2.225	84.9
10	72.7	2.193	2.253	86.0
12	72.1	2.211	2.271	86.7
16	71	2.246	2.306	88.0
20	70.3	2.268	2.329	88.9
25	69.6	2.291	2.353	89.8
32	68.9	2.314	2.377	90.7
40	68.2	2.338	2.401	91.6
50	67.6	2.359	2.422	92.4
64	67	2.380	2.444	93.3
80	66.5	2.398	2.463	94.0
100	66	2.416	2.481	94.7
128	65.5	2.434	2.500	95.4
160	65	2.453	2.519	96.1
200	64.7	2.464	2.531	96.6
220	64.5	2.472	2.539	96.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.1.4 แสดงผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบโดยวิธีซูบเปอร์เพฟ Binder 1	
Air Void (%)	3.90
Percent AC by Wt. of Agg. (%)	4.90
Density (gm./ml.)	2.493
VMA (%)	15.20
VFA (%)	73.70
%Gmm@N <sub>ini</sub>	96.10
%Gmm@N <sub>max</sub>	97.20

ตารางที่ 4.1.1.5 แสดงผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบโดยวิธีซูบเปอร์เพฟ Binder 2	
Air Void (%)	4.60
Percent AC by Wt. of Agg. (%)	4.90
Density (gm./ml.)	2.487
VMA (%)	15.01
VFA (%)	73.35
%Gmm@N <sub>ini</sub>	95.40
%Gmm@N <sub>max</sub>	97.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.1.6 แสดงผลการทดสอบ โดยวิธีชุปเปอร์เฟกชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบ โดยวิธีชุปเปอร์เฟก Binder 3	
Air Void (%)	4.50
Percent AC by Wt. of Agg. (%)	4.90
Density (gm./ml.)	2.468
VMA (%)	15.03
VFA (%)	73.39
%Gmm@N <sub>ini</sub>	95.50
%Gmm@N <sub>max</sub>	96.90

ตารางที่ 4.1.1.7 แสดงผลการทดสอบ โดยวิธีชุปเปอร์เฟกชั้น Binder Course เล็ย 3 ตัวอย่าง

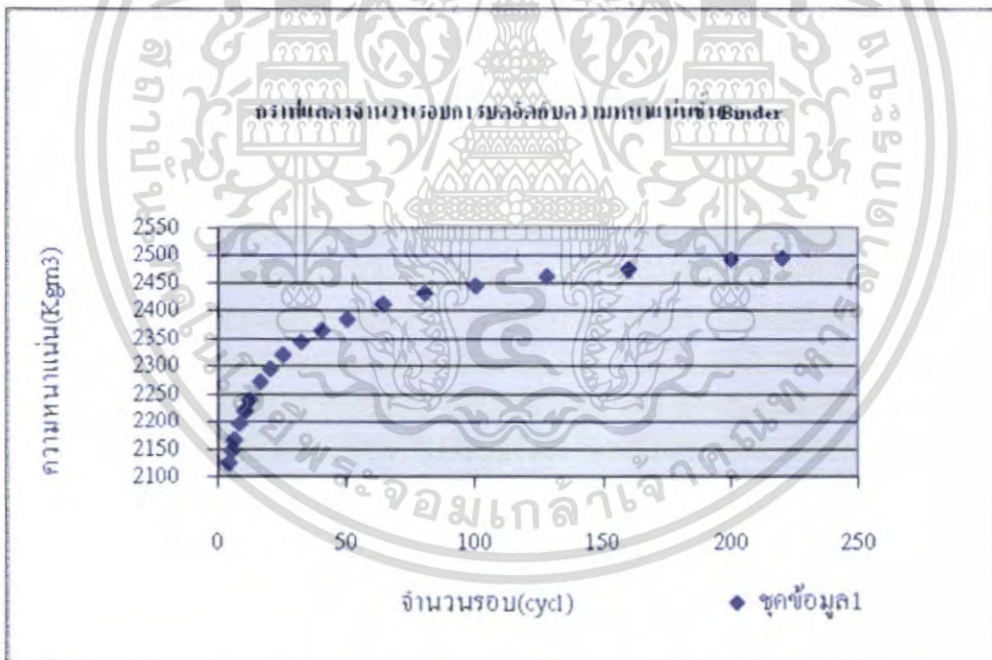
ผลการทดสอบ โดยวิธีชุปเปอร์เฟก	
Air Void (%)	4.33
Percent AC by Wt. of Agg. (%)	4.90
Density (gm./ml.)	2.483
VMA (%)	15.08
VFA (%)	73.48
%Gmm@N <sub>ini</sub>	95.85
%Gmm@N <sub>max</sub>	97.03
%Gmm@N <sub>des</sub>	95.6

ข้อกำหนดของซูเปอร์เฟฟ ในชั้น Binder Course

Air Void (%)	3-5
Percent AC. by Wt. of Agg. (%)	-
Density (gm./ml.)	-
VMA (%)	>14.0
VFA (%)	65-78
%Gmm@N <sub>ini</sub>	< 89.0
%Gmm@N <sub>max</sub>	< 98.0

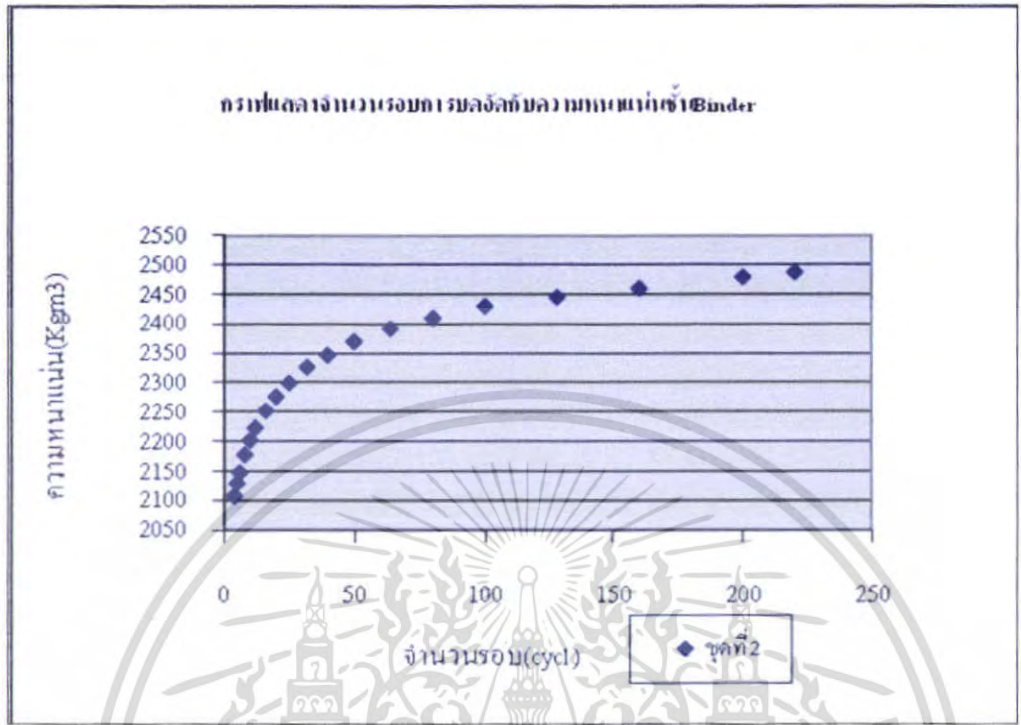
จะเห็นว่าผลการทดสอบ โดยวิธีซูเปอร์เฟฟ ชั้น Binder Course เหนือทั้งตัวอย่าง ผ่านข้อกำหนดของซูเปอร์เฟฟ

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 1

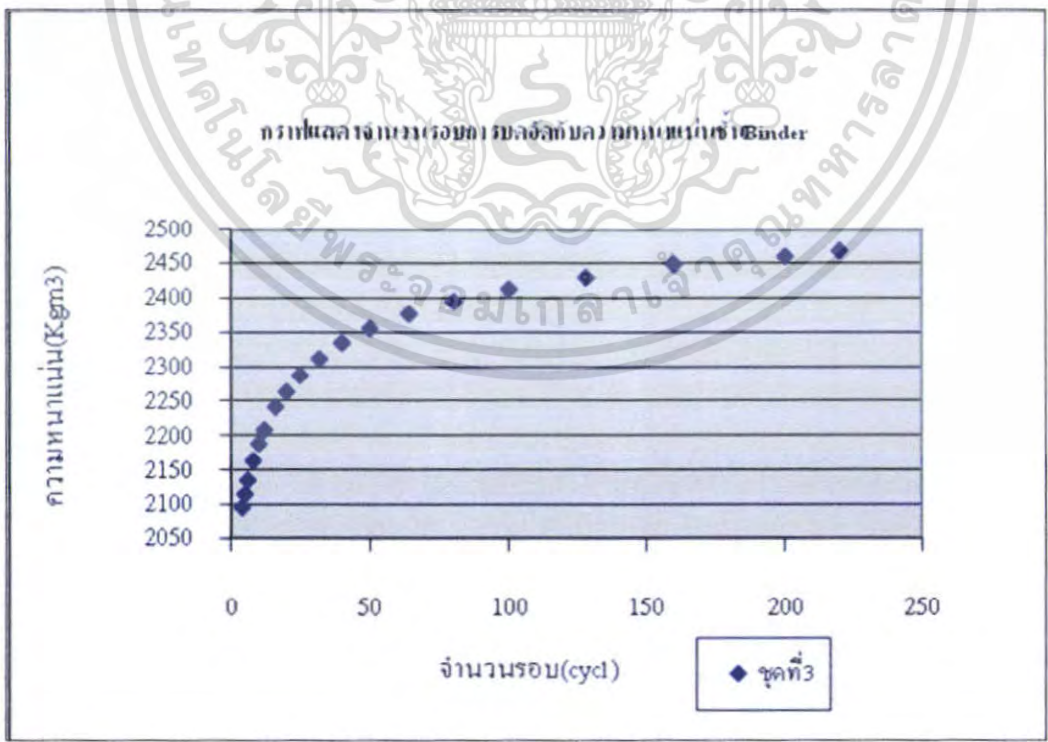


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Binder Course ตัวอย่างที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Wearing Course

ผลการตรวจสอบเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตชั้น Wearing Course ประกอบด้วยผลการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตในเขตสายทางที่ทำการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 4.1.2.1 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของโครงการก่อสร้างทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 1

ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
Gyra.	Ht.	Gmb(est)	Gmb(corr)	%Gmm
4	76.9	2.069	2.134	82.1
5	76.1	2.090	2.156	83.0
6	75.4	2.110	2.176	83.8
8	74.4	2.138	2.205	84.9
10	73.6	2.161	2.229	85.8
12	72.9	2.182	2.251	86.6
16	71.9	2.213	2.282	87.8
20	71	2.241	2.311	89.0
25	70.3	2.263	2.334	89.8
32	69.5	2.289	2.361	90.9
40	68.8	2.312	2.385	91.8
50	68.1	2.336	2.409	92.7
64	67.4	2.360	2.434	93.7
80	66.9	2.378	2.453	94.4
100	66.3	2.399	2.475	95.3
128	65.8	2.418	2.494	96.0
160	65.4	2.432	2.509	96.6
200	65	2.447	2.524	97.2
220	64.8	2.45	2.527	97.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2.2 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของโครงการก่อสร้าง  
ทางหลวงถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2 ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 2

ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
Gyra.	Ht.	Gmb(est)	Gmb(corr)	%Gmm
4	77.1	2.068	2.121	81.6
5	76.2	2.093	2.146	82.6
6	75.5	2.112	2.166	83.4
8	74.4	2.143	2.198	84.6
10	73.5	2.169	2.225	85.6
12	72.8	2.190	2.246	86.5
16	71.7	2.224	2.281	87.8
20	70.9	2.249	2.307	88.8
25	70.1	2.275	2.333	89.8
32	69.3	2.301	2.360	90.8
40	68.6	2.324	2.384	91.8
50	67.9	2.348	2.408	92.7
64	67.2	2.373	2.434	93.7
80	66.7	2.391	2.452	94.4
100	66.2	2.409	2.470	95.1
128	65.7	2.427	2.489	95.8
160	65.3	2.442	2.504	96.4
200	65	2.453	2.516	96.8
220	64.8	2.461	2.524	97.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2.3 ผลการตรวจสอบเชิงปริมาณของวัสดุผสมแอสฟัลติกคอนกรีตของโครงการก่อสร้าง  
ทางหลวงถนนวัศศิริวารีน้อย ( #34-อ่อนนุช ) ตอน 2 ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 3

ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
Gyra.	Ht.	Gmb(est)	Gmb(corr)	%Gmm
4	77.8	2.046	2.120	81.6
5	77	2.067	2.142	82.4
6	76.3	2.086	2.161	83.2
8	75.2	2.117	2.193	84.4
10	74.3	2.143	2.219	85.4
12	73.6	2.163	2.241	86.2
16	72.5	2.196	2.275	87.6
20	71.7	2.220	2.300	88.5
25	71	2.242	2.323	89.4
32	70.2	2.268	2.349	90.4
40	69.5	2.291	2.373	91.3
50	68.9	2.311	2.393	92.1
64	68.1	2.338	2.421	93.2
80	67.6	2.355	2.439	93.9
100	67.1	2.373	2.458	94.6
128	66.6	2.390	2.476	95.3
160	66.2	2.405	2.491	95.9
200	65.8	2.419	2.506	96.5
220	65.6	2.427	2.514	96.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2.4 แสดงผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 1

ผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟ Wearing 1	
Air Void (%)	3.87
Percent AC by Wt. of Agg. (%)	5.10
Density (gm./ml.)	2.456
VMA (%)	15.21
VFA (%)	73.71
%Gmm@N <sub>mi</sub>	96.13
%Gmm@N <sub>max</sub>	97.30

ตารางที่ 4.1.2.5 แสดงผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 2

ผลการทดสอบ โดยวิธีซูบเปอร์เพฟ Wearing 2	
Air Void (%)	4.07
Percent AC by Wt. of Agg. (%)	5.10
Density (gm./ml.)	2.456
VMA (%)	15.09
VFA (%)	73.49
%Gmm@N <sub>ini</sub>	95.93
%Gmm@N <sub>max</sub>	97.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2.6 แสดงผลการทดสอบโดยวิธีชุปเปอร์เฟกชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 3

ผลการทดสอบโดยวิธีชุปเปอร์เฟกชั้น Wearing 3	
Air Void (%)	4.57
Percent AC by Wt. of Agg. (%)	5.10
Density (gm./ml.)	2.428
VMA (%)	14.99
VFA (%)	73.31
%Gmm@N <sub>ini</sub>	95.43
%Gmm@N <sub>max</sub>	96.80

ตารางที่ 4.1.2.7 แสดงผลการทดสอบโดยวิธีชุปเปอร์เฟกชั้น Wearing Course เฉลี่ย 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบโดยวิธีชุปเปอร์เฟก	
Air Void (%)	4.17
Percent AC by Wt. of Agg. (%)	5.10
Density (gm./ml.)	2.447
VMA (%)	15.09
VFA (%)	73.50
%Gmm@N <sub>ini</sub>	95.83
%Gmm@N <sub>max</sub>	97.10
%Gmm@N <sub>des</sub>	95.83

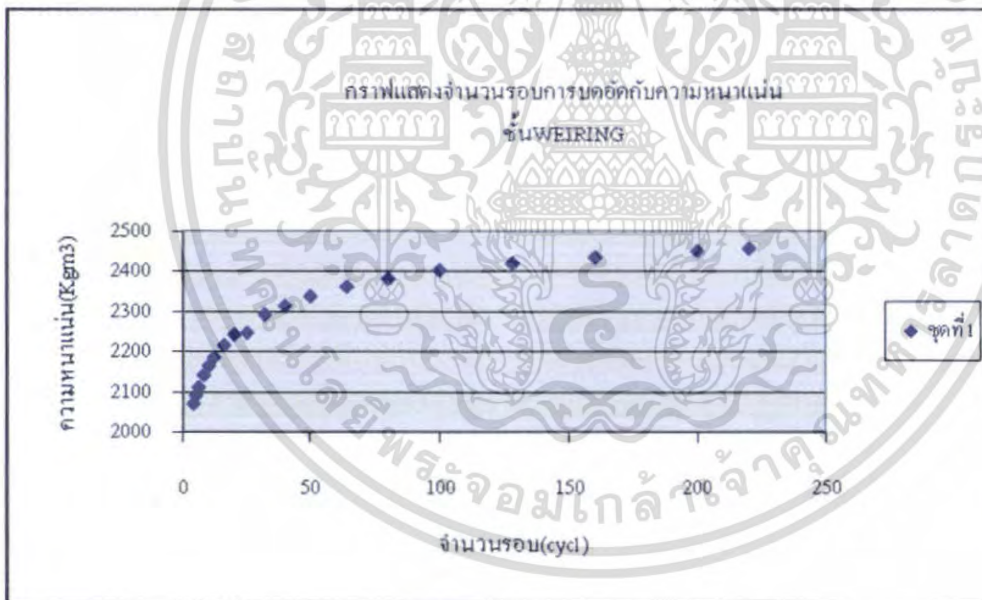
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ Wearing Course

Air Void (%)	3-5
Percent AC. by Wt. of Agg. (%)	-
Density (gm./ml.)	-
VMA (%)	> 14.0
VFA (%)	65-78
%Gmm@N <sub>mi</sub>	< 89.0
%Gmm@N <sub>max</sub>	< 98.0

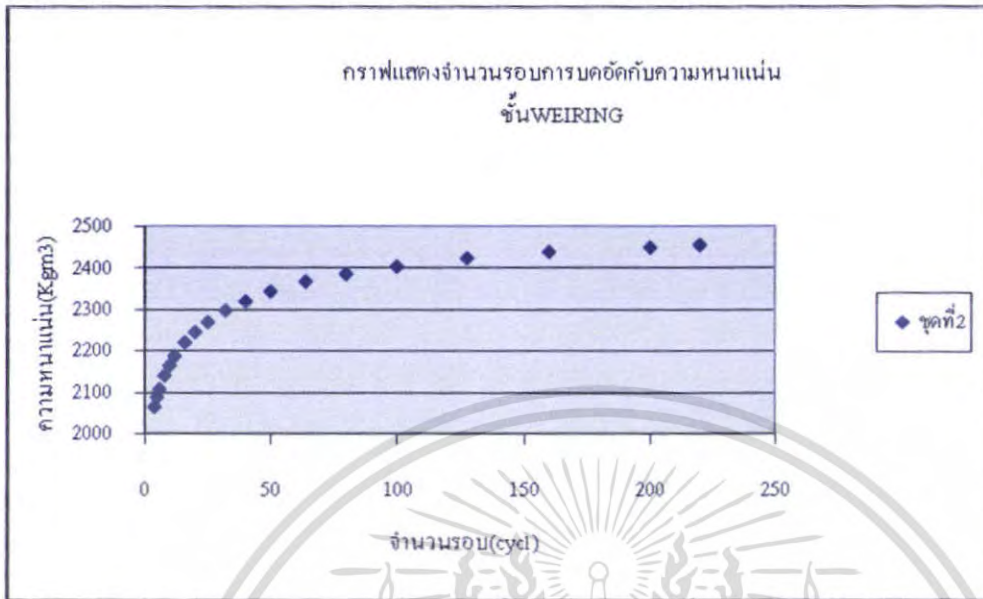
จะเห็นว่าผลการทดสอบ โดยวิธีซูเปอร์เพฟ ชั้น Wearing Course เฉลี่ยทั้ง 3 ตัวอย่างผ่านข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 1

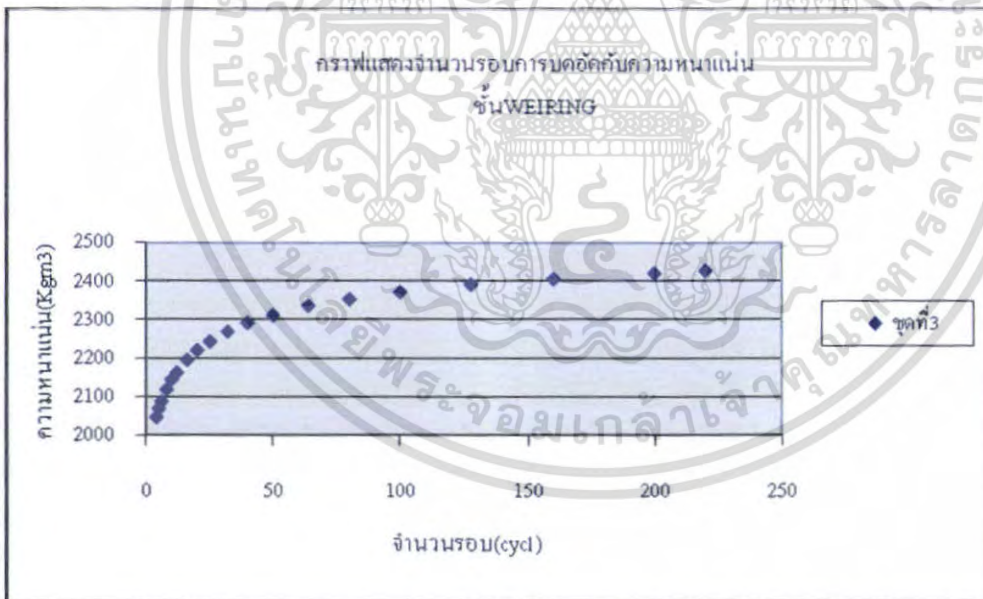


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนรอบการบดอัดกับความหนาแน่น ชั้น Wearing Course ตัวอย่างที่ 3

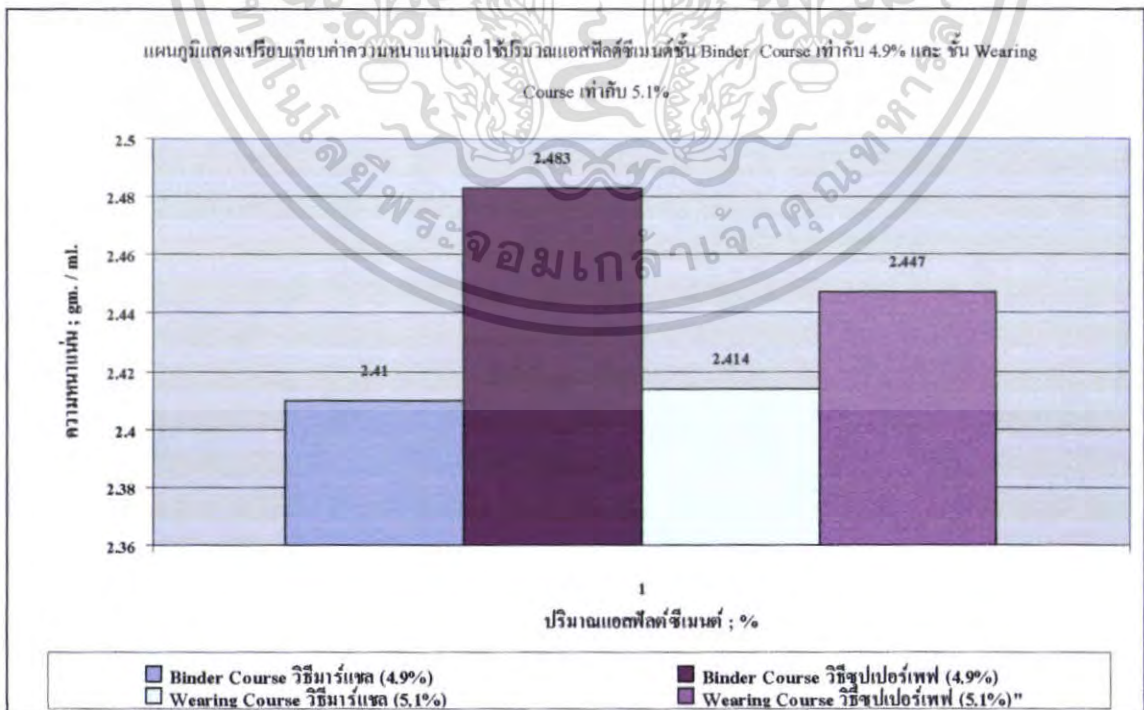


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบคุณสมบัติแอสฟัลติกคอนกรีตที่ได้จากการบดอัดโดย วิธีมาร์แชล  
กับเครื่อง Gyratory Compactor ที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course 4.9 % และ  
ชั้นผิวทาง(Layer) Wearing Course 5.1%

รูปแบบการบดอัด	DENSITY (gm./ml.)	AVD %	VMA %	VFA %
คำนวณคุณสมบัติตามระบบของซูเปอร์เพฟ				
ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course SGC ที่ 220 รอบ	2.483	4.33	15.08	73.48
ชั้นผิวทาง(Layer) Wearing Course SGC ที่ 220 รอบ	2.447	4.17	15.09	73.50
คำนวณคุณสมบัติตามวิธีของมาร์แชล				
ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course Marshall	2.41	4.30	14.70	71.0
ชั้นผิวทาง(Layer) Wearing Course Marshall	2.414	3.80	14.80	74.0

รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นเมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลติกคอนกรีตชั้นผิวทาง  
(Layer) Binder Course เท่ากับ 4.9 % และ Wearing Course 5.1 %

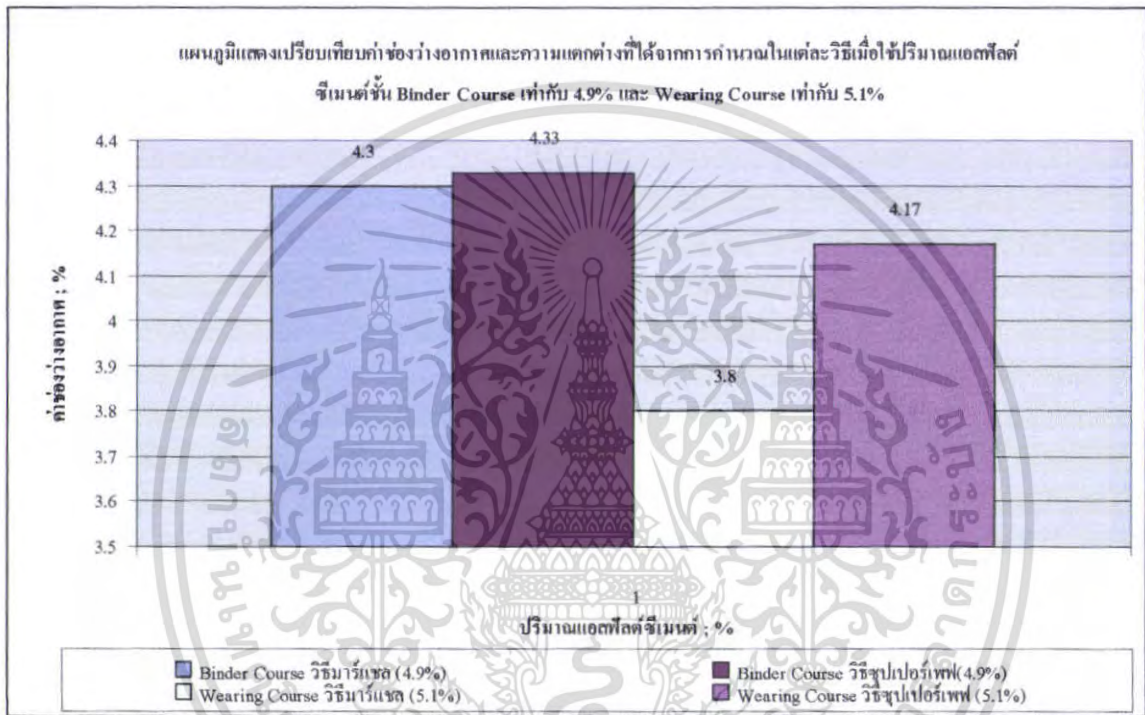


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ความหนาแน่น ( Density ) พบว่าการบดอัดด้วยเครื่อง Gyrotory Compactor จะให้ค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล

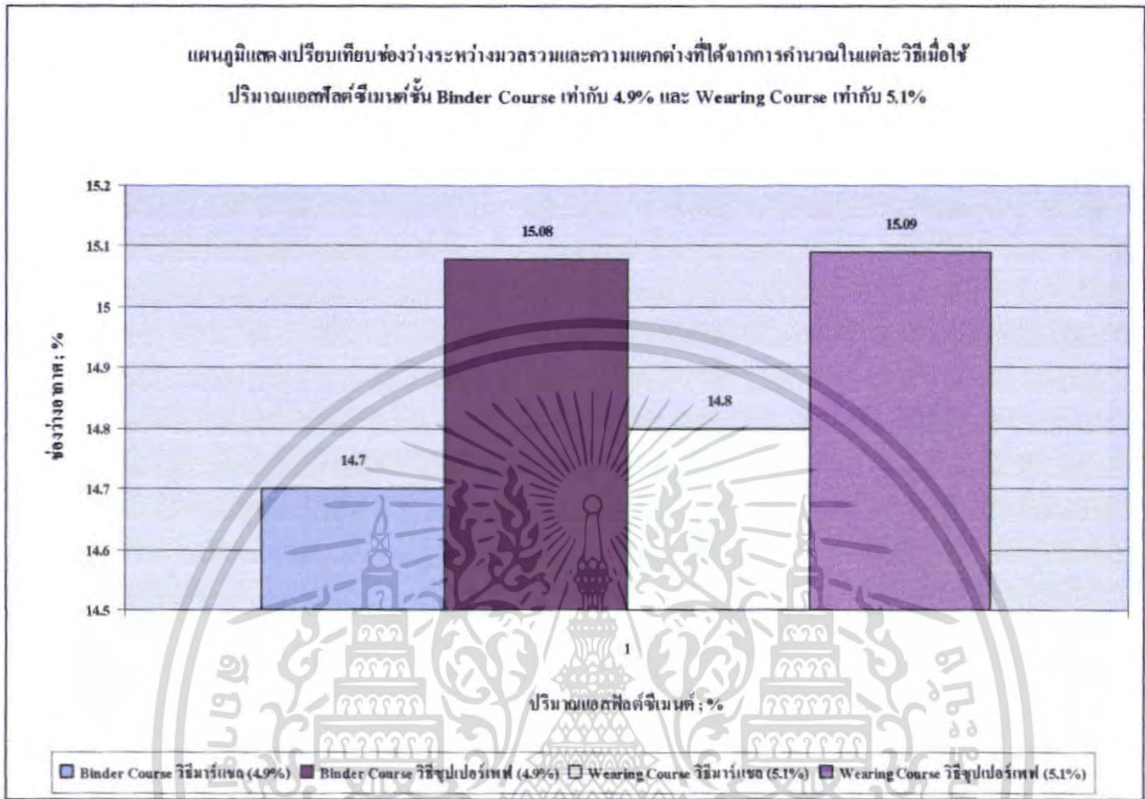
รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าช่องว่างอากาศและความแตกต่างที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธีเมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ชั้นผิวทาง (Layer) Binder Course เท่ากับ 4.9% และ Wearing Course 5.1 %



2. ช่องว่างอากาศ ( Air Void ) เมื่อคำนวณตามทฤษฎีของวิธีมาร์แชล พบว่า การบดอัดด้วยเครื่อง Gyrotory Compactor จะให้ค่าช่องว่างอากาศที่สูงกว่าการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล และเมื่อเปรียบเทียบค่าช่องว่างอากาศ โดยการคำนวณทางทฤษฎีที่แตกต่างกันทั้ง 2 จะพบว่าการคำนวณค่าช่องว่างอากาศ ตามทฤษฎีของซูเปอร์เพฟ ค่าที่ได้จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีของวิธีมาร์แชล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

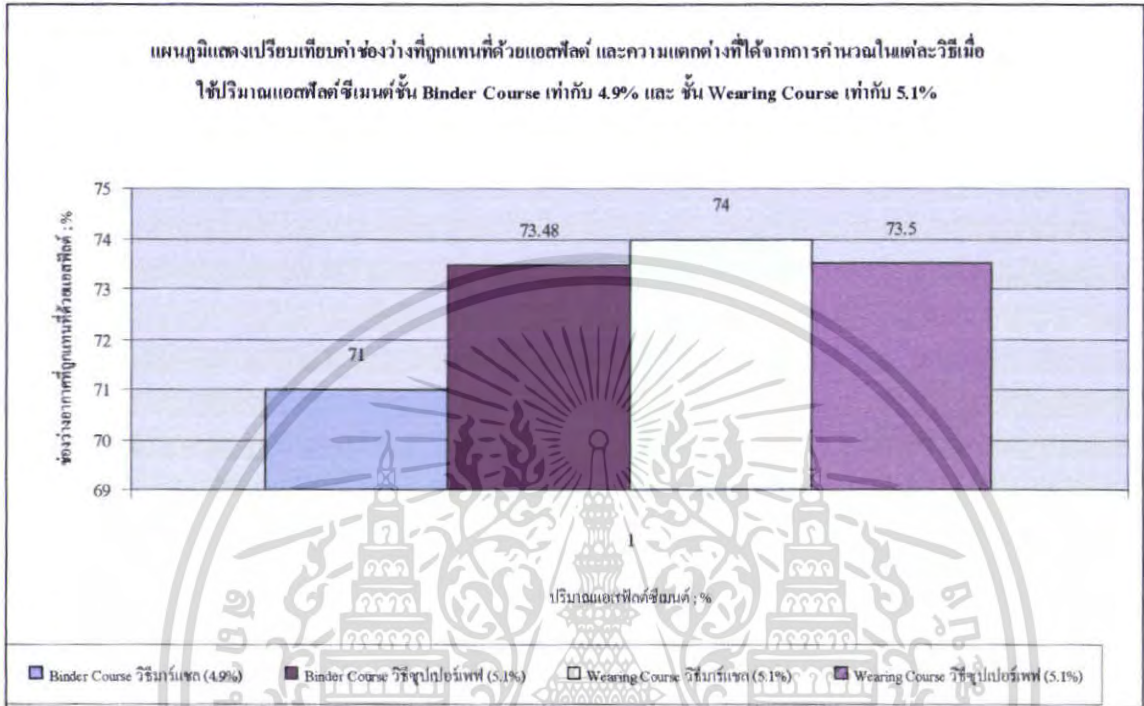
รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมและความแตกต่างที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธีเมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ชั้น Binder Course เท่ากับ 4.9% และ Wearing Course 5.1 %



3. ช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม (VMA) เมื่อคำนวณตามทฤษฎีของวิมาร์แชด พบว่าการบดอัดด้วยเครื่อง Gyro Compactor จะให้ค่าที่สูงกว่าการบดอัดด้วยวิมาร์แชด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ และความแตกต่างที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธีเมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ชั้น Binder Course เท่ากับ 4.9 % และ Wearing Course เท่ากับ 5.1 %



- สำหรับค่าช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ( VFA ) วิธีมาร์แชล พบว่า การบดอัดด้วยเครื่อง Gyrotory Compactorชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course จะให้ค่าที่สูงกว่าการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลแต่ชั้นผิวทาง(Layer) WEIRING Course จะให้ค่าที่ต่ำกว่าการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2.8 รายละเอียดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยวิธีชุปเปอร์เพฟ (Nmax = 220 รอบ)

ก้อนตัวอย่าง	Binder Course			Wearing Course		
	ก้อนตัวอย่างที่ 1	ก้อนตัวอย่างที่ 2	ก้อนตัวอย่างที่ 3	ก้อนตัวอย่างที่ 1	ก้อนตัวอย่างที่ 2	ก้อนตัวอย่างที่ 3
ชั่งในอากาศ (g)	1247.5	1251.2	1252.2	1249.4	1252.3	1250.3
ชั่งในน้ำ (g)	756.2	757.5	759.9	755.8	756.4	754.4
อิมตัวผิวแห้ง (g)	1245.9	1249.9	1253.1	1250.3	1252.5	1251.8
% AC by น้ำหนัก	4.90			5.10		
density kg/m <sup>3</sup>	2493	2487	2468	2456	2456	2428
ความสูง (mm.)	63.9	64	64.5	64.8	64.8	65.6
AV % (เฉลี่ย)	4.33			4.57		
VMA % (เฉลี่ย)	15.08			14.99		
VFA % (เฉลี่ย)	73.48			73.31		
Wt. of Agg. (%)	4.33			4.57		

**การหาคุณสมบัติเชิงปริมาตรตามระบบของชุปเปอร์เพฟ**

การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณหาส่วนประกอบต่างๆของแอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีชุปเปอร์เพฟนั้นจะมีตัวแปรที่สำคัญคือปริมาณการจราจร โดยออกแบบเป็นเพลาเดี่ยวมาตรฐานของถนนเส้นนั้นที่จะนำมาออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีต

สำหรับข้อมูลการบดอัดโดยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor แบบหมุนจะถูกบันทึกข้อมูลโดย Computer Notebook ซึ่งจะสามารถนำมาใช้หาค่า ความถ่วงจำเพาะรวมโดยประมาณ ความถ่วงจำเพาะรวมที่ถูกต้องและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของความถ่วงจำเพาะทางทฤษฎีสูงสุดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างการบดอัด ความสูงของตัวอย่างจะถูกวัดและบันทึกไว้ในแต่ละรอบการหมุน Gmb ของตัวอย่าง ที่ถูกบดอัดกับ Gmm ของตัวอย่างแบบหลวมจะถูกวัด การประมาณค่า Gmb คำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$Gmb \text{ (estimated)} = (Wm/Vmx) / \gamma_w$$

เมื่อ

Gmb(estimated) = ความถ่วงจำเพาะรวมโดยประมาณของตัวอย่างช่วงที่บดอัด(Estimated Bulk Specific Gravity of Specimen During

Compaction)

$Wm$  = น้ำหนักของตัวอย่าง, กรัม(Mass of Specimen)

$\gamma_w$  = ความหนาแน่นของน้ำ (Density of Water) = 1 กรัม/ลบ.ซม.

$Vmx$  = ปริมาตรของ mold (ซม.3) คำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$Vmx = \pi d^2 h_x / 4 (0.001) \text{ cm}^3 / \text{mm}^3 = 7.8539 h_x$$

เมื่อ  $d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของ mold (100 มม.)

$h_x$  = ความสูงของตัวอย่างในระหว่างบดอัด (มม.)

$$\pi = 3.1416$$

การคำนวณนี้จะสมมติใช้ผิวด้านของตัวอย่างเรียบ แต่ในความเป็นจริงแล้วผิวของตัวอย่าง

จะไม่เรียบทำให้ปริมาตรของตัวอย่างน้อยกว่าปริมาตรของ mold ดังนั้น ค่า Gmb โดยประมาณที่  $N_{max}$  จะแตกต่างจากค่า Gmb ที่วัดได้ที่  $N_{max}$

$$C = Gmb \text{ (measured)}$$

Gmb (estimated)

เมื่อ  $C$  = Correction factor

Gmb (measured) = ความถ่วงจำเพาะรวมที่วัดได้หลังจาก  $N_{max}$

Gmb (estimated) = ความถ่วงจำเพาะรวมโดยประมาณที่  $N_{max}$

ค่า Gmb โดยประมาณที่ระดับการหมุนอื่นๆ คำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$Gmb \text{ (corrected)} = C \times Gmb \text{ (estimated)}$$

เมื่อ Gmb (corrected) = ความถ่วงจำเพาะรวมที่ถูกต้องของตัวอย่างในแต่ละรอบการหมุน

$C$  = correction factor

Gmb (estimated) = ความถ่วงจำเพาะรวมโดยประมาณของตัวอย่างตัวอย่างในแต่ละรอบการหมุน

เปอร์เซ็นต์ของ Gmm ที่การหมุนต่างๆ เป็นอัตราส่วนระหว่าง Gmb (corrected) กับ

Gmm(measured) การใช้  $N_{max}$ ,  $N_{des}$ , และ  $N_{ini}$  ของการหมุนหาได้จาก ระดับของการจราจรที่ออกแบบ และอุณหภูมิของอากาศที่ออกแบบของแต่ละ โครงการ ข้อกำหนดการออกแบบส่วนผสมของ

Superpave (VMA, VFA และอัตราส่วนฝุ่น) อยู่ที่ 4% ของช่องว่างอากาศที่  $N_{des}$  นอกจากนี้ยังมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับความหนาแน่นของส่วนผสมที่  $N_{ini}$ ,  $N_{des}$  และ  $N_{max}$ , เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างอากาศที่  $N_{des}$  หาได้จากสมการ

$$AV = 100 - \% Gmm @ N_{des}$$

เมื่อ AV = ช่องว่างอากาศที่  $N_{des}$ , เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมด

$\% Gmm @ N_{des}$  = ความถ่วงจำเพาะทางทฤษฎีสูงสุดที่  $N_{des}$ , เปอร์เซ็นต์  
เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างในมวลรวม คำนวณได้จาก

$$\%VMA = 100 - (\% Gmm @ N_{des} \times Gmm \times Ps)Gsb$$

เมื่อ VMA = ช่องว่างของมวลรวม, เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมด

$\% Gmm @ N_{des}$  = ความถ่วงจำเพาะทางทฤษฎีสูงสุดที่  $N_{des}$ , เปอร์เซ็นต์

Gmm = ความถ่วงจำเพาะทางทฤษฎีสูงสุด

Gsb = ความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมทั้งหมด

Ps = ส่วนประกอบของมวลรวม, ซม3/ซม3 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด

ถ้าเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างอากาศเท่ากับ 4% ข้อมูลนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดทาง

ปริมาตร (Volumetric criteria) และนำไปวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของส่วนผสม แต่ถ้าช่องว่าง100อากาศ

ไม่เท่ากับ 4% ต้องคำนวณหาส่วนผสมของยางที่ออกแบบโดยประมาณ เพื่อให้ได้ช่องว่างอากาศ 4%  
จากสมการข้างล่าง

$$Pb, \text{ estimated} = Pbi - (0.4 \times (4 - AV))$$

เมื่อ

Pb, estimated = ปริมาณยาง โดยประมาณ, เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสม

Pbi = ปริมาณยางเริ่มแรก, เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสม

AV = เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างอากาศที่  $N_{des}$

ปริมาตร (VMA และ VFA) ที่  $N_{des}$  และความหนาแน่นของส่วนผสมที่  $N_{ini}$  และ  $N_{max}$

คำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$\%VMA (\text{estimated}) = \%VMA_{\text{initial}} + C \times (4 - AV)$$

เมื่อ  $\%VMA_{\text{initial}}$  =  $\%VMA$  จากการลองปริมาณยาง

C = ค่าคงที่ = 0.1 ถ้า Va น้อยกว่า 4%

= 0.2 ถ้า Va มากกว่า 4%

$$\% VFA \text{ estimated} = (\%VMA \text{ estimated} - 4.0)$$

$\%VMA \text{ estimated}$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าคุณสมบัติเชิงปริมาตรของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยค่าที่ต้องใช้ในการคำนวณ มีดังนี้ ในที่นี้ยกตัวอย่างชั้น Binder Course  
ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course

1. สัดส่วนหินที่ใช้ ในการออกแบบ 40:23:20:17 จะได้ค่า GAG 2.702
2. GAC = ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์ = 1.02
3. Gse = ความถ่วงจำเพาะประสิทธิภาพ (Effective Specific Gravity = 2.722

หลังจากบดอัดก้อนตัวอย่างโดยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor จะได้ค่าจำนวนรอบของการหมุนและความสูงของก้อนตัวอย่างในช่องที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างนี้ใช้จำนวนรอบการหมุนสูงสุดเท่ากับ 220 รอบและใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 4.9%

ตัวอย่างตารางแสดงผลการคำนวณ โดยวิธีซูเปอร์เพฟ  
ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course

ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
Gyra.	Ht.	Gmb(est)	Gmb(corr)	%Gmm
4	75	2.118	2.170	82.8
5	74.2	2.141	2.193	83.7
6	73.6	2.158	2.211	84.4
8	72.6	2.188	2.242	85.5
10	71.8	2.212	2.267	86.5
12	71.1	2.234	2.289	87.3
16	70.1	2.266	2.321	88.6
20	69.4	2.289	2.345	89.5
25	68.7	2.312	2.369	90.4
32	68	2.336	2.393	91.3
40	67.4	2.357	2.414	92.1
50	66.8	2.378	2.436	93.0
64	66.1	2.403	2.462	94.0
80	65.5	2.425	2.485	94.8
100	65.2	2.436	2.496	95.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

128	64.7	2.455	2.515	96.0
160	64.4	2.466	2.527	96.4
200	63.9	2.486	2.547	97.2
220	63.9	2.486	2.547	97.2

สามารถคำนวณหาค่าต่างๆตามขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาความหนาแน่นทั้งหมดของก้อนตัวอย่าง  $G_{mb} \text{ (measured)} = \text{Measured Bulk Specific Gravity}$

$$DE = A_{Ca} / (A_{CS} - A_{CW})$$

เมื่อ DE = ความหนาแน่นทั้งหมดของก้อนตัวอย่าง

$A_{Ca}$  = น้ำหนักตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตที่ชั่งในอากาศ = 1247.5 กรัม

$A_{CS}$  = น้ำหนักตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตที่ชั่งในอากาศ เมื่อมีความชื้น(สภาพ Saturated Surface Dry) = 1245.9 กรัม

$A_{CW}$  = น้ำหนักตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตที่ชั่งในน้ำ = 756.2 กรัม

$$\text{แทนค่า DE} = 1247.5 / (1,245.9 - 756.2) = 2.547$$

2. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะรวมโดยประมาณของตัวอย่างช่วงที่บดอัด

$$G_{mb} \text{ (estimated)} = \text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} / (7.8539 \text{ hx}) = 1,247.5 / (7.8539 * 75) = 2.118$$

ค่าที่ได้ก็นำไปใส่ในช่องที่ 3

3. คำนวณหาค่าปรับแก้ C

$$C = G_{mb} \text{ (measured)}$$

$$G_{mb} \text{ (estimated)} \text{ ที่ } N_{\max} = 2.547 / 2.486 = 1.024$$

4. คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะรวมที่ถูกต้องของตัวอย่างในแต่ละรอบการหมุน

$$G_{mb} \text{ (corrected)} = C \times G_{mb} \text{ (estimated)}$$

$$\text{แทนค่า } G_{mb} \text{ (corrected)} = 1.024 \times \text{ช่องที่ 3}$$

ค่าที่ได้ก็นำไปใส่ในช่องที่ 4 = 2.170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณหาค่า Gmm (measured)

$$Gmm(\text{measured}) = Pmm / [ ( Ps/GAG ) + ( Pb/GAC ) ]$$

เมื่อ Pmm = ร้อยละ โดยมวลของทั้งหมดที่ผสม = 100

Ps = ปริมาณของมวลรวม (Aggregate Content) = 90.8

Pb = ปริมาณของแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphalt Content) = 4.90

$$\text{แทนค่า } Gmm(\text{measured}) = 100 / [ ( 90.8/2.722 ) + ( 4.9/1.02 ) ]$$

6. คำนวณหาค่า % Gmm เปอร์เซ็นต์ของ Gmm ที่การหมุนต่างๆ เป็นอัตราส่วนระหว่าง Gmb (corrected) กับ Gmm(measured)

$$\% Gmm = ((100 \times Gmb (\text{corrected})) / Gmm(\text{measured}))$$

$$\text{แทนค่า } \% Gmm = (100 \times \text{ช่องที่ 4}) / 2.620$$

$$= 100 \times 2.170 / 2.620 = 82.8$$

ค่าที่ได้ก็นำไปใส่ในช่องที่ 5

หลังจากขั้นตอนที่ 5 นี้จะเป็นการคำนวณหาคุณสมบัติเชิงปริมาตรของแอสฟัลต์ซีเมนต์ดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างอากาศ (AV) ที่  $N_{des}$  หาได้จากสมการ

$$AV = 100 - \% Gmm @ N_{des}$$

เมื่อ AV = ช่องว่างอากาศที่  $N_{des}$ , เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด

$$\% Gmm @ N_{des} = \text{ความถ่วงจำเพาะทางทฤษฎีสูงสุดที่ } N_{des}, \text{ เปอร์เซ็นต์} = 96.1$$

$$\text{แทนค่า } AV = 100 - 96.1 = 3.9 \quad 96.1 \text{ มาจากการประมาณค่าที่ 135 รอบ}$$

2. คำนวณเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างในมวลรวม คำนวณได้จาก

$$\%VMA = 100 - (\% Gmm @ N_{des} \times Gmm \times Ps) / Gsb$$

เมื่อ VMA = ช่องว่างของมวลรวม, เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด

$$Gmm = \text{ความถ่วงจำเพาะทางทฤษฎีสูงสุด} = 2.620$$

$$Gsb = \text{ความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมทั้งหมด} = 2.702$$

$$Ps = \text{ส่วนประกอบของมวลรวม, ซม}^3/\text{ซม}^3 \text{ โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด} = 0.908$$

แทนค่า

$$\%VMA = 100 - (96.1 \times 2.620 \times 0.908) \times 2.702 = 15.2$$

3. คำนวณเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างในมวลรวม %VMA (estimated) คำนวณได้จาก

$$\%VMA (\text{estimated}) = \%VMA_{\text{initial}} + C \times (4 - AV)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ %VMA initial = %VMA จากการลองปริมาณยาง

$$C = \text{ค่าคงที่} = 0.1 \text{ ถ้า } V_a \text{ น้อยกว่า } 4\% = 0.2 \text{ ถ้า } V_a \text{ มากกว่า } 4\% \text{ แทนค่า \%VMA (estimated)}$$
$$= 15.2 + 0.1 \times (4 - 3.9) = 15.21$$

4. คำนวณเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ % VFA estimated คำนวณ ได้

$$\text{จาก \% VFA estimated} = [100 \times (\%VMA \text{ estimated} - 4.0)] / (\%VMA \text{ estimated})$$

$$\text{แทนค่า \% VFA estimated} = 100 \times (15.21 - 4.0) / 15.21 = 73.70$$

เปรียบเทียบข้อมูลที่ใช้ในการประกอบหาคุณสมบัติเชิงปริมาตรของแอสฟัลต์คอนกรีต

ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course

วิธีมาร์แชล

วิธีซูบเปอร์เพฟ

ข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณ

1. GAG = 2.702

2. GAC = 1.02

3. Bitumen Absorption = 0.25

1. GAG = 2.702

2. GAC = 1.02

3. GSE = 2.722

ตัวแปรที่ใช้ในคำนวณหาคุณสมบัติ

1. คำนึงถึงปริมาณจราจร

ปริมาณการจราจรปานกลางบดอัด 50 ครั้ง/หน้า

ปริมาณการจราจรหนาแน่นบดอัด 75 ครั้ง/หน้า

2. GM จะนำไปใช้หา Bitumen Absorption

3. ความหนาแน่น จะหาค่าต่อเมื่อมีการบดอัดที่

เสร็จสิ้น ไม่มีค่าแฟกเตอร์ (C) ในการปรับแก้

4. ไม่คำนึงถึงความสูง

1. คำนึงถึงปริมาณการจราจร โดยจะออกแบบเป็น

เพลตาเดี่ยวมาตรฐาน(ESALS) จะพิจารณาถึง

จำนวนรอบที่ใช้ในการบดอัด-  $N_{design} - N_{max}$

2. ใช้ GSE และ GAG ในการหา Gmm

ไม่คำนึงถึง Bitumen Absorption

3. ความหนาแน่นที่ได้จะมี 2 ค่าคือ

- ความหนาแน่นที่อ่านได้จากเครื่อง

- ความหนาแน่นที่ได้จากการวัดจริงเมื่อบดอัด

ถึง  $N_{max}$

ความหนาแน่นที่ได้ทั้ง 2 ค่าจะนำไปหาค่า

แฟกเตอร์ (C) ในการปรับแก้

4. คำนึงถึงความสูง

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าคุณสมบัติเชิงปริมาตรของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยค่าที่ต้องใช้ในการคำนวณ มีดังนี้ ในที่นี้ยกตัวอย่างชั้น Wearing Course ชั้นผิวทาง(Layer) Wearing Course

1. สัดส่วนหินที่ใช้ ในการออกแบบ 46:29:15:10 จะได้ค่า GAG 2.700

(Gsb = Bulk Specific Gravity of Aggregate)

2. GAC = ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์ = 1.02

3. Gse = ความถ่วงจำเพาะประสิทธิผล (Effective Specific Gravity) = 2.720

หลังจากบดอัดก้อนตัวอย่างโดยเครื่อง Superpave Gyrotory Compactor จะได้ค่าจำนวนรอบของการหมุนและความสูงของก้อนตัวอย่างในช่องที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างนี้ ใช้จำนวนรอบการหมุนสูงสุดเท่ากับ 220 รอบและใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 5.1%

ตัวอย่างตารางแสดงผลการคำนวณ โดยวิธีชูปเปอร์เพพ

ชั้นผิวทาง(Layer) Wearing Course

ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5
Gyra.	Ht.	Gmb(est)	Gmb(corr)	%Gmm
4	76.9	2.069	2.134	82.1
5	76.1	2.090	2.156	83.0
6	75.4	2.110	2.176	83.8
8	74.4	2.138	2.205	84.9
10	73.6	2.161	2.229	85.8
12	72.9	2.182	2.251	86.6
16	71.9	2.213	2.282	87.8
20	71	2.241	2.311	89.0
25	70.3	2.263	2.334	89.8
32	69.5	2.289	2.361	90.9
40	68.8	2.312	2.385	91.8
50	68.1	2.336	2.409	92.7
64	67.4	2.360	2.434	93.7
80	66.9	2.378	2.453	94.4
100	66.3	2.399	2.475	95.3
128	65.8	2.418	2.494	96.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

160	65.4	2.432	2.509	96.6
200	65	2.447	2.524	97.2
220	64.8	2.45	2.527	97.3

สามารถคำนวณหาค่าต่างๆตามขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาความหนาแน่นทั้งหมดของก้อนตัวอย่าง  $G_{mb}(\text{measured}) = \text{Measured Bulk Specific Gravity}$

$$DE = A_{Ca} / (ACS - ACW)$$

เมื่อ DE = ความหนาแน่นทั้งหมดของก้อนตัวอย่าง

$A_{Ca}$  = น้ำหนักตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตที่ชั่งในอากาศ = 1249.4 กรัม

ACS = น้ำหนักตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตที่ชั่งในอากาศ เมื่อมีความชื้น (สภาพ Saturated Surface Dry) = 1250.3 กรัม

ACW = น้ำหนักตัวอย่างแอสฟัลติกคอนกรีตที่ชั่งในน้ำ = 755.8 กรัม

$$\text{แทนค่า DE} = 1249.4 / (1250.3 - 755.8) = 2.527$$

2. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะรวมโดยประมาณของตัวอย่างช่วงที่บดอัด

$$G_{mb}(\text{estimated}) = \text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} / (7.8539 \text{ hx}) = 1249.4 / (7.8539 * 76.9) = 2.069$$

ค่าที่ได้ก็นำไปใส่ในช่องที่ 3

3. คำนวณหาค่าปรับแก้ C

$$C = G_{mb}(\text{measured})$$

$$G_{mb}(\text{estimated}) \text{ ที่ } N_{max} = 2.527 / 2.450 = 1.032$$

4. คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะรวมที่ถูกต้องของตัวอย่างในแต่ละรอบการหมุน

$$G_{mb}(\text{corrected}) = C \times G_{mb}(\text{estimated})$$

$$\text{แทนค่า } G_{mb}(\text{corrected}) = 1.032 \times \text{ช่องที่ 3}$$

ค่าที่ได้ก็นำไปใส่ในช่องที่ 4 = 2.134

5. คำนวณหาค่า  $G_{mm}(\text{measured})$

$$G_{mm}(\text{measured}) = P_{mm} / [ ( P_s / G_{AG} ) + ( P_b / G_{AC} ) ]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $P_{mm} =$  ร้อยละ โดยมวลของทั้งหมดที่ผสม = 100

$P_s =$  ปริมาณของมวลรวม (Aggregate Content) = 91.1

$P_b =$  ปริมาณของแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphalt Content) = 5.1

แทนค่า  $G_{mm}(\text{measured}) = 100 / [(91.1/2.720) + (5.10/1.02)]$

6. คำนวณหาค่า %  $G_{mm}$  เปรอร์เซ็นต์ของ  $G_{mm}$  ที่การหมุนต่างๆ เป็นอัตราส่วนระหว่าง  $G_{mb}(\text{corrected})$  กับ  $G_{mm}(\text{measured})$

$\% G_{mm} = ((100 \times G_{mb}(\text{corrected})) / G_{mm}(\text{measured}))$

แทนค่า  $\% G_{mm} = (100 \times \text{ช่องที่ 4}) / 2.598 = 100 \times 2.134 / 2.598 = 82.1$

ค่าที่ได้ก็นำไปใส่ในช่องที่ 5

หลังจากขั้นตอนที่ 5 นี้จะเป็นการคำนวณหาค่าคุณสมบัติเชิงปริมาตรของแอสฟัลต์ซีเมนต์ดังนี้

1. เปรอร์เซ็นต์ของช่องว่างอากาศ (AV) ที่  $N_{des}$  หาได้จากสมการ

$$AV = 100 - \% G_{mm} @ N_{des}$$

เมื่อ AV = ช่องว่างอากาศที่  $N_{des}$ , เปรอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด

$\% G_{mm} @ N_{des} =$  ความถ่วงจำเพาะทางทฤษฎีสูงสุดที่  $N_{des}$ , เปรอร์เซ็นต์ = 96.13

แทนค่า AV =  $100 - 96.13 = 3.87$  96.13 มาจากการประมาณค่าที่ 135 รอบ

2. คำนวณเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างในมวลรวม คำนวณได้จาก

$$\%VMA = 100 - (\% G_{mm} @ N_{des} \times G_{mm} \times P_s) / G_{sb}$$

เมื่อ VMA = ช่องว่างของมวลรวม, เปรอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด

$G_{mm} =$  ความถ่วงจำเพาะทางทฤษฎีสูงสุด = 2.598

$G_{sb} =$  ความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมทั้งหมด = 2.700

$P_s =$  ส่วนประกอบของมวลรวม, ซม3/ซม3 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด = 0.911

แทนค่า

$$\%VMA = 100 - (96.13 \times 2.598 \times 0.911) / 2.700 = 15.2$$

3. คำนวณเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างในมวลรวม %VMA (estimated) คำนวณได้จาก

$$\%VMA(\text{estimated}) = \%VMA_{\text{initial}} + C \times (4 - AV)$$

เมื่อ %VMA initial = %VMA จากการลองปริมาณยาง

$C =$  ค่าคงที่ = 0.1 ถ้า  $V_a$  น้อยกว่า 4% = 0.2 ถ้า  $V_a$  มากกว่า 4% แทนค่า %VMA (estimated)

$$= 15.2 + 0.1 \times (4 - 3.87) = 15.213$$

4. คำนวณเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ % VFA estimated คำนวณได้

$$\%VFA(\text{estimated}) = [100 \times (\%VMA(\text{estimated}) - 4.0)] / \%VMA(\text{estimated})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า % VFA estimated =  $100 \times (15.213 - 4.0) / 15.213 = 73.71$

**เปรียบเทียบข้อมูลที่ใช้ในการประกอบหาคุณสมบัติเชิงปริมาณของแอสฟัลติกคอนกรีตชั้นผิวทาง  
(Layer) Wearing Course**

**วิธีมาร์แชล**

**วิธีซูเปอร์เพฟ**

**ข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณ**

1. GAG = 2.700

1. GAG = 2.700

2. GAC = 1.02

2. GAC = 1.02

3. Bitumen Absorption = 0.25

3. GSE = 2.720



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการนำวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 และวัสดุมวลรวมที่ได้จากการแหล่งวัสดุ  
โรงไม้หินชลลดา จ.ชลบุรี หินฝุ่น 3/4" โรงไม้ ทัศนาศ 3/8" โครงการ(project) : ถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-  
อ่อนนุช)ตอน2มาทำการผสมแอสฟัลต์คอกกรีตวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือวิธีมาร์แชล และ วิธี  
ซูเปอร์เพฟ ที่ชั้นทาง2ชั้นทางคือ 1 ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course และ 2 ชั้นผิวทาง(Layer)  
Wearing Course

#### 5.1 ผลที่ได้จากการศึกษา

ผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

1.คุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอกกรีตที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล และผ่าน  
ข้อกำหนด(Criteria) ของกรมทางหลวงได้นำมาทดสอบในวิธีซูเปอร์เพฟ ปรากฏว่าผ่านเกณฑ์  
(Criteria) ของวิธีซูเปอร์เพฟ

2.ตัวแปรที่ใช้ในคำนวณหาคุณสมบัติเชิงปริมาตรที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลและวิธีซูเปอร์  
เพฟจะต่างกันกล่าวคือ

วิธีมาร์แชล

วิธีซูเปอร์เพฟ

1. คำนึงถึงปริมาณจราจร

ปริมาณการจราจรปานกลางบดอัด 50 ครั้ง/หน้า

ปริมาณการจราจรหนาแน่นบดอัด 75ครั้ง/หน้า

2. GM จะนำไปใช้หา Bitumen Absorption

3. ความหนาแน่น จะหาค่าต่อเมื่อมีการบดอัดที่  
เสร็จสิ้น ไม่มีค่าแฟกเตอร์ (C) ในการปรับแก้

4. ไม่คำนึงถึงความสูง

1. คำนึงถึงปริมาณการจราจรโดยจะออกแบบเป็น

เพลาคือมาตรฐาน(ESALS) จะพิจารณาถึง

จำนวนรอบที่ใช้ในการบดอัด-  $N_{design} - N_{max}$

2. ใช้ GSE และ GAC ในการหา Gmm

ไม่คำนึงถึง Bitumen Absorption

3. ความหนาแน่นที่ได้จะมี 2 ค่าคือ

- ความหนาแน่นที่อ่านได้จากเครื่อง

- ความหนาแน่นที่ได้จากการวัดจริงเมื่อบดอัด

ถึง  $N_{max}$

ความหนาแน่นที่ได้ทั้ง 2 ค่าจะนำไปหาค่า

แฟกเตอร์ (C) ในการปรับแก้

4. คำนึงถึงความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คุณสมบัติเชิงปริมาตรของแอสฟัลติกคอนกรีตสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 ความหนาแน่น ( Density ) พบว่าการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor ของวิธีซูปเปอร์เพฟ จะให้ค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล

3.2 ช่องว่างอากาศ ( Air Void ) เมื่อคำนวณตามทฤษฎีของวิธีมาร์แชล พบว่า การบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor ของวิธีซูปเปอร์เพฟ จะให้ค่าช่องว่างอากาศที่สูงกว่าการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล และเมื่อเปรียบเทียบค่าช่องว่างอากาศ โดยการคำนวณทางทฤษฎีที่แตกต่างกันทั้ง 2 จะพบว่าการคำนวณค่าช่องว่างอากาศ ตามทฤษฎีของซูปเปอร์เพฟ ค่าที่ได้จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีของวิธีมาร์แชล

3.3 ช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม ( VMA ) เมื่อคำนวณตามทฤษฎีของวิธีมาร์แชล พบว่าการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor ของวิธีซูปเปอร์เพฟ จะให้ค่าที่สูงกว่าการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชล

3.4 สำหรับค่าช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ( VFA ) วิธีมาร์แชล พบว่า การบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor ของวิธีซูปเปอร์เพฟ ชั้นผิวทาง(Layer) Binder Course จะให้ค่าที่สูงกว่าการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชล แต่ชั้นผิวทาง(Layer) Wearing Course จะให้ค่าที่ต่ำกว่าการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชล

4. การบดอัดด้วย Gyratory Compactor ของวิธีซูปเปอร์เพฟ จะมีลักษณะการบดอัดคล้ายกับพฤติกรรมจริงที่เกิดขึ้นบนถนน ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีมาร์แชลที่มีการบดอัดโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักกระแทกกับก้อนตัวอย่าง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าหาความสัมพันธ์การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลติกคอนกรีตระหว่างวิธีมาร์แชลและวิธีซูปเปอร์เพฟระดับ 1 ตามความคิดเห็นของผู้ทำการศึกษาควรได้มีการพิจารณาเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมและทำการศึกษาในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยการเปลี่ยนระดับปริมาณการจราจรให้สูงขึ้นเป็น 3 -10 Millions ESALs ในวิธีซูปเปอร์เพฟ ระดับ 1 แต่จะต้องพิจารณาปริมาณการจราจรในถนนสายอื่นๆ ที่นำมาออกแบบด้วยเพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบ
2. ควรศึกษาโดยการเปลี่ยนแหล่งหินปูนที่จะนำมาออกแบบหาความสัมพันธ์เช่นเดียวกันกับงานศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์ที่ได้จากการออกแบบ
3. ควรทดลองศึกษาออกแบบโดยเปลี่ยนชนิดของมวลรวมเป็นประเภทอื่นๆ เช่น หินบะซอลต์ หินแกรนิตและ Slag
4. พิจารณาใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภทอื่นๆเช่น โมดิฟายด์แอสฟัลต์ในการออกแบบ
5. พิจารณาหาสัดส่วนขนาดผลที่ให้คุณสมบัติของ Mix ที่ดีที่สุด โดยวิธีซูปเปอร์เพฟ ระดับ 1 แล้วเปรียบเทียบขนาดผลที่ดีที่สุดให้คุณสมบัติของ Mix ที่ดีที่สุด โดยวิธีมาร์แชล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ชยรัตน์ว์ พรหมสร . 2542 . Superpave Gytratory Compactor : ทางเลือกใหม่ในการออกแบบส่วนผสมและควบคุมคุณภาพในระหว่างการก่อสร้างผิวถนนแอสฟัลติกคอนกรีตที่ต้องการคุณภาพในการใช้งาน. บทความทางวิชาการ การสัมมนาเข้าหน้าที่วิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ประจำปีงบประมาณ 2543 : 91-100
- วัชรินทร์ วิทยกุล . 2544 . การออกแบบแอสฟัลติกคอนกรีตชนิดผสมร้อน วิธิมาร์แชล . กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 132 หน้า
- วัชรินทร์ วิทยกุล . 2543 . แอสฟัลต์เทคโนโลยีสำหรับถนนลาดยาง . กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 224 หน้า
- โกสินทร์ เจตยานนท์. 2545. การเปรียบเทียบคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์กับมัลติเกรดแอสฟัลต์ในแอสฟัลติกคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

### ภาษาอังกฤษ

- D'Angelo,J.A.n., Paugh , C ., Harman , T.P., and Bukowski,J. 1995. Comparison of the Superpave Gytratory compactor to the Marshall for field Quality control. Journal ot the Association of Asphalt Paving Techmologists Vol.64 : 611-635.
- Bahia, H.U., Friemel, T.P., Peterson,P.A., Russell, J.S. and Poehmelt,B. 1998 Optimization of Constructibility and Resistance to Traffic : A New Design Approach for HMA Using the Superpave Compactor . Journal of the Association of Asphalt Paving Techmologists Vol.67 189-232.
- Brown,E.R., Mallick,R.B. 1998 Am imitial Evaluation for Ndesign Superpave Gytratory Compactor. Journal of the Association of Asphalt Paving Techmologists Vol.67 : 101-124.
- Habib , A., Hossain, M., Kaldate , R. And Fage ,G.A. 1998. Comparisom of Superpave and Marshall Mixtures for Low-volume Roads and Shoulder. Transportion Research Record Vol.1609 : 44-50
- Collins,R., Watson,D., Johnson,A., and Wu,Y.P. 1997 . Effect of Aggregate Degradateion on Specimens compacted by Superpave Gytratory Compactor . Transportation Research Record Vol.1509 : 1 -9.

Mallick,R.B.I Buchanan's.I BrownIE.R. and HunerIM. 1998. Evaluation of superpave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gyrator compaction of Hot Mix Asphalt. Transportation Research Record Vol. 1638 : 111 - 119.

Brown, E.R., Hanson, D.1., and Mallick, R.B. 1996. Evaluation of superpave Gyrotory compaction of Hot - Mix Asphalt. Transportation Research Record vol. 1543 :145-150.

Seward, D.L., Hinrichsen, J.A., and Ries, J.L. 1996. Structural Analysis of Aggregate Blends Using strategic Highway Research program Gyrotory compactor. Transportation Research Record vol.1545 : 80-88.

Harman, T.P.I., Angelo, J.D., and Bukowski, J.R. 1995. Evaluation of SUPERPAVE Gyrotory Compactor in the Field Management of Asphalt Mixes : Four Simulation studies. Transportation Research Record vol.1513 : 1-8.

Roberts, L.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D., and Kennedy, T.W. 1996 . Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. 2<sup>nd</sup> ed. U.S.A.

Anderson, R.M., Bosley, R.D., and Creamer, P.A. 1995 Quality management of HMA Construction Using Superpave Equipment : A Case Study. Transportation Research Record Vol. 1513 : 18-24

Gowda, G., Hall, K., Elliott, R., and Meadors, A, 1997 Critical Evaluation of Superpave Volumetric Mix Design Using Arkansas Surface Course Mixes. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists Vol.66 : 250-276.

Asphalt Institute. 1996. Superpave Mix Design. Superpave Series No.2(SP-2) .U.S.A.

Harold N. Atkins.. 1997 Highway Materials, soils, and concretes. U.S.A. : Prentice-Hall Inc. 3<sup>rd</sup> ed. 386 pages.

ภาคผนวก  
ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมและแอสฟัลติกคอนกรีต

ตารางผนวกที่ 1 ผลการหาขนาดผลรวมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเพื่อ ใช้บังคับตาม  
อัตราส่วนผสมของมวลรวม Cold Bin

BIN COMBINATION

ชั้นผิวทาง(Layer) : Binder Course

โครงการ(project) : ถนนวัดศรีวารีน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2

แหล่งวัสดุ(Source): โรงโมหินชลดคา จ.ชลบุรี หินฝุ่น 3/4" โรงโม ทัตนา 3/8"

SIEVE SIZES	SIEVE SIZES	% PASSING					TOLERANCE	
		BIN1	BIN2	BIN3	BIN4	Combind	Lower limit	Upperlimit
1"	25	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19	100	100	100	91.3	98.5	100	100
1/2"	12.5	100	100	96.3	11.3	84.2	75	100
3/8"	9.5	100	98.4	18.9	1	66.6	60	85
#4	4.75	100	29.3	0.8	0.1	46.9	35	55
#8	2.36	77.5	1.5	0.2	0	31.4	20	35
#16	1.18	56.8	0.4	0		22.8	17	27
#30	0.6	39.7	0			15.9	10	22
#50	0.3	28.3				11.3	6	16
#100	0.15	21.4				8.6	4	12
#200	0.08	12.6				5.0	2	8

MIX PROPORTION

0

40

23

20

17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 ผลการหาขนาดคละรวมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเพื่อใช้บังคับตามอัตรา  
ส่วนผสมของมวลรวม Hot Bin

SIEVE SIZES	FIRST TRIAL			SACOND TRIAL			AVERAGE %PASSING
	RETAINED	PASSING	PASSING	RETAINED	PASSING	PASSING	
	(gm)	(gm)	%	(gm)	(gm)	%	
#4		1074.7	100	-	1056.2	100	100
#8	242.9	831.8	77.4	236.6	819.6	77.6	77.5
#16	220.3	644.5	56.9	220.7	598.9	56.7	56.8
#30	184.8	426.7	39.7	180.6	418.3	39.6	39.7
#50	123.6	303.1	28.2	118.3	300	28.4	28.3
#100	74.2	228.9	21.3	72.9	227.1	21.5	21.4
#200	94.6	134.3	12.5	94	133.1	12.6	12.6

Bin2

SIEVE SIZES	RETAINED (gm)	PASSING (gm)	PASSING %
1/2"	-	2157	100
3/8"	34.5	2122.5	98.4
#4	1490.5	632	29.3
#8	599.6	32.4	1.5
#16	23.7	8.6	0.4
#30	8.6	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Bin3

SIEVE SIZES	RETAINED (gm)	PASSING (gm)	PASSING %
3/4"	-	3528	100
1/2"	130.5	3397.5	96.3
3/8"	2730.7	666.8	18.9
#4	638.6	28.2	0.8
#8	21.2	7.1	0.2

## Bin4

SIEVE SIZES	RETAINED (gm)	PASSING (gm)	PASSING %
1"	-	4217	100
3/4"	366.9	3850.1	91.3
1/2"	3373.6	476.5	11.3
3/8"	434.4	42.2	1
#4	38	4.2	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 ผลการหาขนาดผลรวมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเพื่อ ใช้บังคับตาม  
อัตราส่วนผสมของมวลรวม Cold Bin

**BIN COMBINATION**

ชั้นผิวทาง(Layer) : Wearing Course

โครงการ(project) : ถนนวิเศษวีรน้อย (#34-อ่อนนุช) ตอน 2

แหล่งวัสดุ(Source): โรงโมหินชลลดา จ.ชลบุรี หินฝุ่น 3/4" โรงโม ทัศนาศ 3/8"

SIEVE SIZES	SIEVE SIZES	% PASSING					TOLERANCE	
		BIN1	BIN2	BIN3	BIN4	Combind	Lower limit	Upperlimit
1"	25	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	19	100	100	100	98.5	99.9	100	100
1/2"	12.5	100	100	96.5	11.6	90.6	80	100
3/8"	9.5	100	98.6	19.3	0.9	77.6	70	90
#4	4.75	100	29.5	0.8	0.2	54.7	50	70
#8	2.36	78.6	1.6	0.2	0	36.6	35	50
#16	1.18	57.4	0.5	0		26.5	25	40
#30	0.6	41.4	0.1			19.1	18	29
#50	0.3	29.7				13.7	13	23
#100	0.15	20.4				9.4	8	16
#200	0.08	12.2				5.6	4	10

**MIX PROPORTION**

0	46	29	15	10
---	----	----	----	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEVE SIZES	FIRST TRIAL			SACOND TRIAL			AVERAGE %PASSING
	RETAINED	PASSING	PASSING	RETAINED	PASSING	PASSING	
	(gm)	(gm)	%	(gm)	(gm)	%	
3/8"							
#4		1065.4	100	-	1048.3	100	100
#8	229.1	836.3	78.5	224.3	824	78.6	78.6
#16	225.9	610.5	57.3	222.2	601.7	57.4	57.4
#30	170.5	440	41.3	167.7	434	41.4	41.4
#50	124.7	315.4	29.6	121.6	312.4	29.8	29.7
#100	99.1	216.3	20.3	97.5	214.9	20.5	20.4
#200	90.6	125.7	11.8	82.3	132.1	12.6	12.2

Bin2

SIEVE SIZES	RETAINED (gm)	PASSING (gm)	PASSING %
1/2"	-	2452	100
3/8"	34.3	2417.7	98.6
#4	1694.3	723.3	29.5
#8	684.1	39.2	1.6
#16	27	12.3	0.5
#30	9.8	2.5	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Bin3

SIEVE SIZES	RETAINED (gm)	PASSING (gm)	PASSING %
3/4"	-	3378	100
1/2"	118.2	3259.8	96.5
3/8"	2607.8	652	19.3
#4	624.9	27	0.8
#8	20.3	6.8	0.2

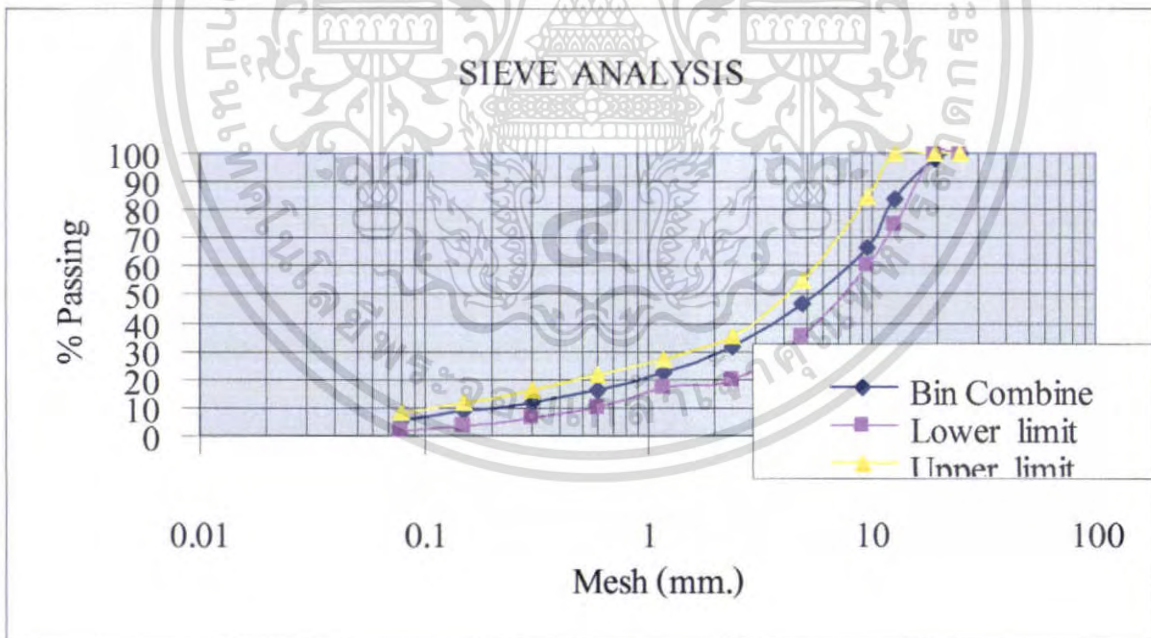
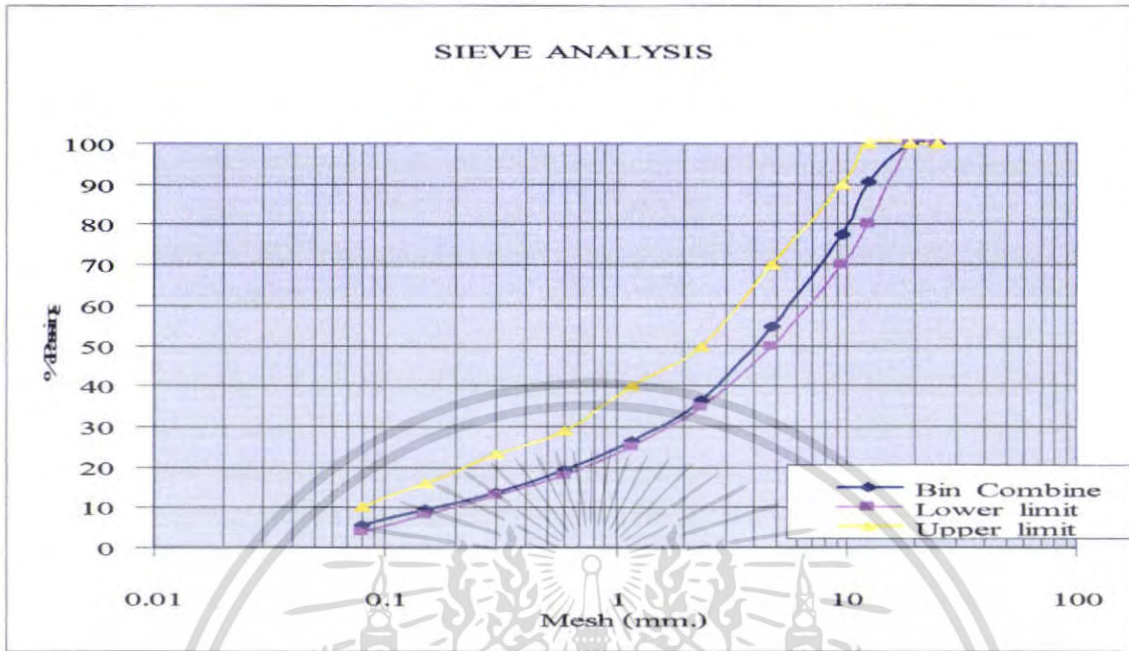
## Bin4

SIEVE SIZES	RETAINED (gm)	PASSING (gm)	PASSING %
1"	-	4364	100
3/4"	65.5	4298.5	98.5
1/2"	3792.3	506.2	11.6
3/8"	466.9	39.3	0.9
#4	30.5	8.7	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 ผลการหาขนาดคละรวมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

Binder



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางผนวกที่ 5 ตารางแสดงค่า JOB MIXED DESIGN

แผนกตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม(MATERIALS ANALYSIS AND RESEARCH)

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Layer= Binder Course

Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 (By Mass)	=	40:23:20:17	Pen. Grade AC 60/70
		-----	Sp. Gr. AC. (Gac)
Avg. Sp. Gr. Agg. and Filler(Gag)	=	2.702	= 1.02
		-----	Bitumen Absorption
Compaction number of blows each side.	=	75	(x) = 0.25%
		-----	

No. of Sample		L-1	L-2	L-3
% AC by Mass. of Agg. = $(100*b)/(100-b)$	(a)	4.50	4.50	4.50
% AC by Mass. of Mix. = $(100*a)/(100+a)$	(b)	4.31	4.31	4.31
% Eff.AC by Mass. of Mix = $b-x(100-b)/100$	(c)	4.07	4.07	4.70
Sample Height.	mm. (d)			
<b>DENSITY</b>				
Mass. in air	gm. (e)	1,247.1	1,244.3	1,246.6
Mass. sat. surface dry	gm. (f)	1,248.7	1,246.2	1,248.5
Mass. in water	gm. (g)	730.5	729.6	730.8
Bulk Volume	ml. = (f) - (g) (h)	518.2	516.6	517.7
Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)	2.407	2.409	2.408
Average Density	(i)		2.408	
<b>VOIDS ANALYSIS</b>				
Volume AC % Total = $(c)*(i)/Gac$	(j)	9.6	9.6	9.6
Volume Agg. % Total = $[(100-(b)) (i)/Gag$	(k)	85.1	85.3	85.3
VMA % = $100 - (k)$	(l)	14.8	14.7	14.7
Air voids % = $(l) - (j)$	(m)	5.2	5.1	5.1
VFA % = $100 *(j) / (l)$	(n)	65	65.3	65.2
<b>STABILITY</b>				
Meas Lbs		2560	2620	2580
KN			2,587	
Average Stability			12.0	
<b>FLAWS</b>				
Meas 1/100		12.0	13.0	12.0
Meas mm			12.0	
Average Flaws	mm.		3.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. of Sample			L-1	L-2	L-3
% AC by Mass. of Agg. = $(100*b)/(100+b)$	(a)		5.00	5.00	5.00
% AC by Mass. of Mix. = $(100*a)/(100+a)$	(b)		4.76	4.76	4.76
% Eff.AC by Mass.of Mix = $b-x(100-b)/100$	(c)		4.52	4.52	4.52
Sample Height.	mm.	(d)			
DENSITY					
Mass. in air	gm.	(e)	1,248.1	1,246.6	1,249.0
Mass. sat.surface dry	gm.	(f)	1,249.0	1,248.0	1,252.7
Mass. in water	gm.	(g)	732.8	732.6	732.5
Bulk Volume	ml. = (f) - (g)	(h)	516.2	515.4	516.2
Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)		2.418	2.419	2.420
Average Density	(i)		2.419		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total = $(c)*(i)/Gac$	(j)		10.7	10.7	10.7
Volume Agg. % Total = $[(100-(b)) (i)/Gag$	(k)		85.2	85.3	85.3
VMA % = $100 - (k)$	(l)		14.8	14.7	14.7
Air voids % = $(l) - (j)$	(m)		4.1	4.0	4.0
VFA % = $100 *(j) / (l)$	(n)		72.6	72.7	72.9
STABILITY					
Meas Lbs			2660	2650	2680
KN				2,663	
			11.8	11.8	11.9
Average Stability			12.0		
FLOWS					
Meas 1/100			12.0	12.0	13.0
Meas mm				12.0	
			3	3	3.3
Average Flows	mm.		3.1		
No. of Sample			L-1	L-2	L-3
% AC by Mass. of Agg. = $(100*b)/(100+b)$	(a)		5.50	5.50	5.50
% AC by Mass. of Mix. = $(100*a)/(100+a)$	(b)		5.21	5.21	5.21
% Eff.AC by Mass.of Mix = $b-x(100-b)/100$	(c)		4.98	4.98	4.98
Sample Height.	mm.	(d)			
DENSITY					
Mass. in air	gm.	(e)	1,250.5	1,250.5	1,254.0
Mass. sat.surface dry	gm.	(f)	1,251.5	1,251.0	1,254.3
Mass. in water	gm.	(g)	735.7	736.2	738.3
Bulk Volume	ml. = (f) - (g)	(h)	515.8	514.8	516.0
Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)		2.424	2.429	2.430
Average Density	(i)		2.428		
VOIDS ANALYSIS					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume AC	% Total = (c)*(i)/Gac	(j)	11.8	11.9	11.9
Volume Agg.	% Total = [(100-(b)) (i)/Gag	(k)	85.0	85.2	85.3
VMA	% = 100 - (k)	(l)	15.0	14.8	14.7
				14.8	
Air voids	% = (l) - (j)	(m)	3.1	2.9	2.9
				3.0	
VFA	% = 100 *(j) / (l)	(n)	79.1	80.1	80.4
				79.9	
STABILITY					
	Meas Lbs		2670	2750	2780
				2,733	
	KN		11.9	12.2	12.4
Average Stability				12.2	
FLOWS	Meas 1/100		13.0	13.0	14.0
				13.0	
	Meas mm		3.3	3.3	3.6
Average Flows				3.4	
	No. of Sample		L-1	L-2	L-3
% AC by Mass. of Agg.	= (100*b/(100-b))	(a)	6.00	6.00	6.00
% AC by Mass. of Mix.	= (100*a/(100+a))	(b)	5.66	5.66	5.66
% Eff.AC by Mass. of Mix	= b-x(100-b)/100	(c)	5.42	5.42	5.42
Sample Height.	mm.	(d)			
DENSITY					
Mass. in air	gm.	(e)	1,252.6	1,259.0	1,258.9
Mass. sat. surface dry	gm.	(f)	1,252.8	1,259.2	1,259.7
Mass. in water	gm.	(g)	738.6	742.5	742.3
Bulk Volume	ml. = (f) - (g)	(h)	514.2	516.7	517.4
Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)		2.436	2.437	2.433
Average Density				2.435	
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC	% Total = (c)*(i)/Gac	(j)	13	13.0	12.9
Volume Agg.	% Total = [(100-(b)) (i)/Gag	(k)	85.1	85.1	85.0
VMA	% = 100 - (k)	(l)	14.9	14.9	15.0
				14.9	
Air voids	% = (l) - (j)	(m)	2	2.0	2.1
				2.0	
VFA	% = 100 *(j) / (l)	(n)	86.7	86.8	86.0
				86.5	
STABILITY					
	Meas Lbs		2810	2840	2780
				2,810	
	KN		12.5	12.6	12.4
Average Stability				12.5	
FLOWS	Meas 1/100		14.0	15.0	13.0
				14.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Meas		mm	3.6	3.8	3.3
Average Flows		mm.	3.6		
No. of Sample			L-1	L-2	L-3
% AC by Mass. of Agg. = (100*b/(100-b))	(a)		6.50	6.50	6.50
% AC by Mass. of Mix. = (100*a/(100+a))	(b)		6.10	6.10	6.10
% Eff.AC by Mass.of Mix = b-x(100-b)/100	(c)		5.87	5.87	5.87
Sample Height.	mm.	(d)			
DENSITY					
Mass. in air	gm.	(e)	1,261.3	1,262.1	1,252.7
Mass. sat.surface dry	gm.	(f)	1,261.9	1,262.3	1,253.1
Mass. in water	gm.	(g)	742.6	742.4	736.5
Bulk Volume	ml. = (f) - (g)	(h)	519.3	519.9	516.6
Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)		2.429	2.428	2.425
Average Density			(i) 2.427		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total = (c)*(i)/Gac	(j)		14.0	14.0	14.0
Volume Agg. % Total = [(100-(b)) (i)/Gag	(k)		84.4	84.4	84.3
VMA % = 100 - (k)	(l)		15.6	15.6	15.7
Air voids % = (l) - (j)	(m)		1.6	1.7	1.8
VFA % = 100 *(j) / (l)	(n)		89.6	89.3	88.7
STABILITY					
Meas	Lbs		2710	2690	2660
KN				2,687	
			12.1	12.0	11.8
Average Stability			12.0		
FLOWS		Meas 1/100	15.0	14.0	15.0
				15.0	
		Meas mm	3.8	3.6	3.8
Average Flows		mm.	3.7		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 (By Mass)	=	46:29:15:10	Pen. Grade AC 60/70
Avg. Sp. Gr. Agg. and Filler (Gag)	=	2.700	Sp. Gr. AC. (Gac) = 1.02
Compaction number of blows each side.	=	75	Bitumen Absorption (x) = 0.25%

แผนกตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (MATERIALS ANALYSIS AND RESEARCH)

Layer = Wearing Course

No. of Sample		L-1	L-2	L-3
% AC by Mass. of Agg. = $(100*b)/(100-b)$	(a)	4.50	4.50	4.50
% AC by Mass. of Mix. = $(100*a)/(100+a)$	(b)	4.31	4.31	4.31
% Eff. AC by Mass. of Mix = $b-x(100-b)/100$	(c)	4.07	4.07	4.07
Sample Height.	mm. (d)			
<b>DENSITY</b>				
Mass. in air	gm. (e)	1,246.3	1,246.0	1,243.4
Mass. sat. surface dry	gm. (f)	1,249.4	1,248.7	1,245.1
Mass. in water	gm. (g)	730.2	729.3	726.4
Bulk Volume	ml. = (f) - (g) (h)	519.2	519.4	518.7
Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)	2.400	2.399	2.397
Average Density	(i)	2.399		
<b>VOIDS ANALYSIS</b>				
Volume AC % Total = $(c)*(i)/Gac$	(j)	9.6	9.6	9.6
Volume Agg. % Total = $[(100-b) (i)/Gag$	(k)	85.1	85.0	85.0
VMA % = $100 - (k)$	(l)	14.9	15.0	15.0
Air voids % = $(l) - (j)$	(m)	5.4	5.4	5.5
VFA % = $100 *(j) / (l)$	(n)	64.1	63.9	63.6
<b>STABILITY</b>				
Meas Lbs		2560	2540	2520
KN		11.4	11.3	11.2
Average Stability		11.3		
<b>FLAWS</b>				
Meas 1/100		12.0	12.0	11.0
Meas mm		3	3	2.8
Average Flaws	mm.	3.0		
No. of Sample		L-1	L-2	L-3
% AC by Mass. of Agg. = $(100*b)/(100-b)$	(a)	5.00	5.00	5.00
% AC by Mass. of Mix. = $(100*a)/(100+a)$	(b)	4.76	4.76	4.76
% Eff. AC by Mass. of Mix = $b-x(100-b)/100$	(c)	4.52	4.52	4.52
Sample Height.	mm. (d)			
<b>DENSITY</b>				
Mass. in air	gm. (e)	1,251.2	1,248.3	1,251.3
Mass. sat. surface dry	gm. (f)	1,254.8	1,249.5	1,252.4
Mass. in water	gm. (g)	734.2	730.8	732.8
Bulk Volume	ml. = (f) - (g) (h)	520.6	518.7	519.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)	2.403	2.407	2.408
Average Density	(i)	2.406		
<b>VOIDS ANALYSIS</b>				
Volume AC % Total = (c)*(i)/Gac	(j)	10.7	10.7	10.7
Volume Agg. % Total = [(100-(b)) (i)/Gag	(k)	84.8	84.9	84.9
VMA % = 100 - (k)	(l)	15.2	15.1	15.1
Air voids % = (l) - (j)	(m)	15.1		
		4.6	4.4	4.4
VFA % = 100 *(j) / (l)	(n)	4.5		
		70.0	70.6	70.9
		70.5		
<b>STABILITY</b>				
Meas Lbs		2680	2650	2670
KN		2,667		
Average Stability		11.9		
<b>FLOWS</b>				
Meas 1/100		11.0	12.0	13.0
Meas mm		12.0		
Average Flows	mm.	2.8	3	3.3
No. of Sample		๗	L-2	L-3
% AC by Mass. of Agg. = (100*b)/(100-b)	(a)	5.50	5.50	5.50
% AC by Mass. of Mix. = (100*a)/(100+a)	(b)	5.21	5.21	5.21
% Eff.AC by Mass. of Mix = b-x(100-b)/100	(c)	4.98	4.98	4.98
Sample Height.	mm.	(d)		
<b>DENSITY</b>				
Mass. in air	gm.	(e)	1,257.6	1,251.1
Mass. sat. surface dry	gm.	(f)	1,257.9	1,251.2
Mass. in water	gm.	(g)	737.6	733.8
Bulk Volume	ml. = (f) - (g)	(h)	520.3	517.4
Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)		2.417	2.418
Average Density	(i)	2.418		
<b>VOIDS ANALYSIS</b>				
Volume AC % Total = (c)*(i)/Gac	(j)	11.8	11.8	11.8
Volume Agg. % Total = [(100-(b)) (i)/Gag	(k)	84.9	84.9	84.9
VMA % = 100 - (k)	(l)	15.1	15.1	15.1
Air voids % = (l) - (j)	(m)	15.1		
		3.4	3.3	3.3
VFA % = 100 *(j) / (l)	(n)	3.3		
		77.9	78.1	78.3
		78.1		
<b>STABILITY</b>				
Meas Lbs		2640	2680	2730
KN		2,683		
		11.7	11.9	12.1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Average Stability				11.9			
FLOWS	Meas 1/100			12.0	12.0	13.0	
					12.0		
	Meas	mm		3	3	3.3	
Average Flows				3.1			
No. of Sample				L-1	L-2	L-3	
% AC by Mass. of Agg. = (100*b)/(100-b)			(a)	6.00	6.00	6.00	
% AC by Mass. of Mix. = (100*a)/(100+a)			(b)	5.66	5.66	5.66	
% Eff.AC by Mass. of Mix = b-x(100-b)/100			(c)	5.42	5.42	5.42	
Sample Height.				mm.	(d)		
DENSITY							
Mass. in air			gm.	(e)	1,253.4	1,251.4	1,249.7
Mass. sat. surface dry			gm.	(f)	1,254.6	1,252.7	1,250.6
Mass. in water			gm.	(g)	738.2	736.8	734.6
Bulk Volume			ml. = (f) - (g)	(h)	516.4	515.9	516.0
Bulk Density			gm./ml. = (e)/(h)		2.427	2.426	2.422
Average Density				(i)	2.425		
VOIDS ANALYSIS							
Volume AC % Total = (c)*(i)/Gac			(j)	12.9	12.9	12.9	
Volume Agg. % Total = [(100-(b)) (i)/Gag			(k)	84.8	84.8	84.6	
VMA % = 100 - (k)			(l)	15.2	15.2	15.4	
Air voids % = (l) - (j)			(m)	2.3	2.3	2.5	
VFA % = 100 *(j) / (l)			(n)	85	84.6	83.8	
STABILITY							
Meas Lbs				2750	2690	2670	
KN				12.2	12.0	11.9	
Average Stability					12.0		
FLOWS	Meas 1/100			13.0	14.0	13.0	
					13.0		
	Meas	mm		3.3	3.6	3.3	
Average Flows				3.4			
No. of Sample				L-1	L-2	L-3	
% AC by Mass. of Agg. = (100*b)/(100-b)			(a)	6.50	6.50	6.50	
% AC by Mass. of Mix. = (100*a)/(100+a)			(b)	6.10	6.10	6.10	
% Eff.AC by Mass. of Mix = b-x(100-b)/100			(c)	5.87	5.87	5.87	
Sample Height.				mm.	(d)		
DENSITY							
Mass. in air			gm.	(e)	1,254.6	1,248.7	1,250.7
Mass. sat. surface dry			gm.	(f)	1,255.7	1,249.6	1,251.4
Mass. in water			gm.	(g)	736.4	733.4	733.6

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bulk Volume	ml. = (f) - (g)	(h)	519.3	516.2	517.8
Bulk Density	gm./ml. = (e)/(h)		2.416	2.419	2.415
Average Density		(i)	2.417		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total	= (c)*(j)/Gac	(j)	13.9	13.9	13.9
Volume Agg. % Total	= [(100-(b)) (i)/Gag	(k)	84.0	84.1	84.0
VMA %	= 100 - (k)	(l)	16.0	15.9	16.0
Air voids %	= (l) - (j)	(m)	16.0		
			2.1	2.0	2.1
			2.1		
VFA %	= 100 *(j) / (l)	(n)	87.0	87.7	86.9
			87.2		
STABILITY					
	Meas Lbs		2750	2780	2720
				2,750	
	KN		12.2	12.4	12.1
Average Stability			12.2		
FLOWS					
	Meas 1/100		14.0	15.0	13.0
				14.0	
	Meas mm		3.6	3.8	3.3
Average Flows			3.6		

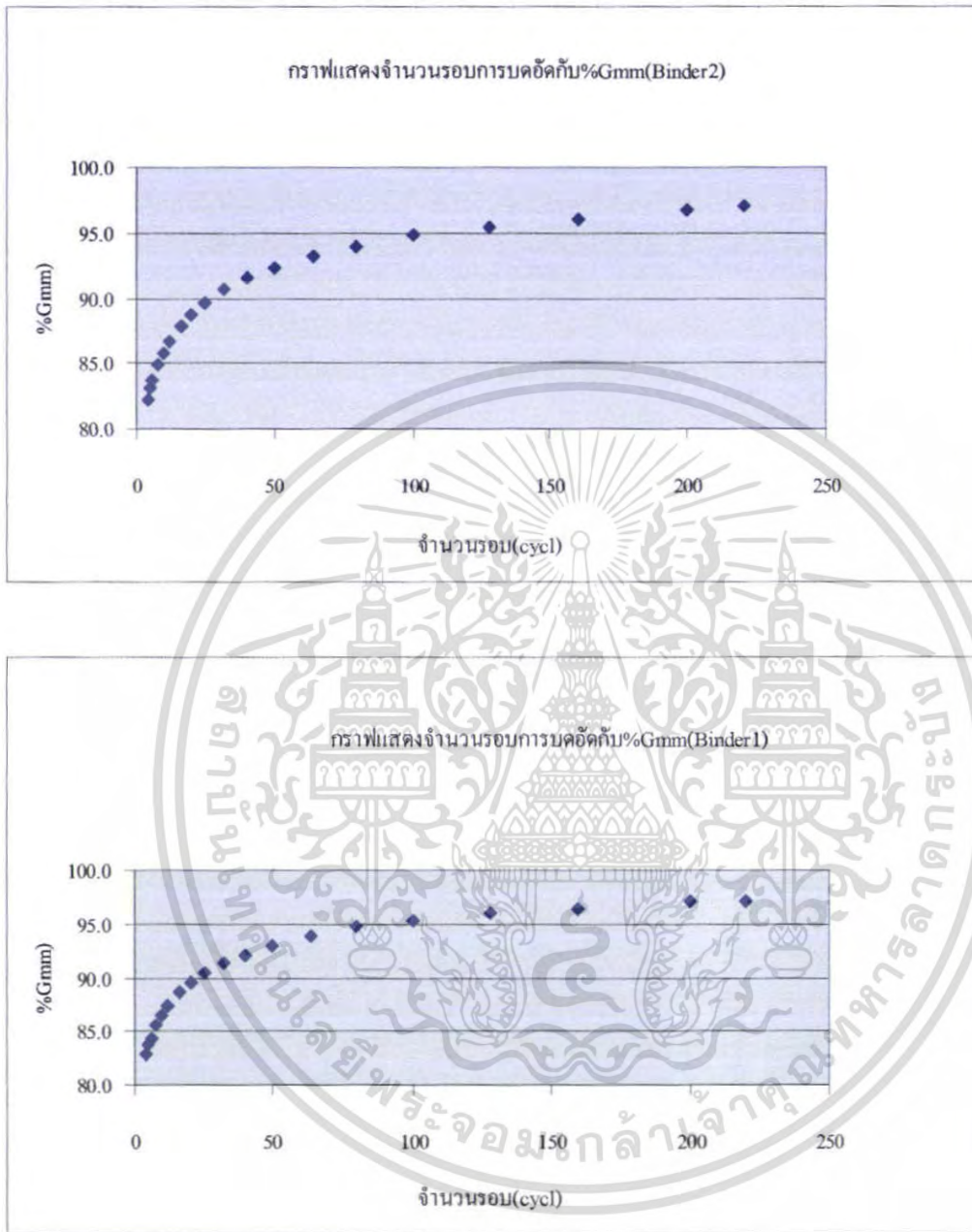
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 รายละเอียดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยวิธีชุปเปอร์เพฟ ( $N_{max} = 220$ )

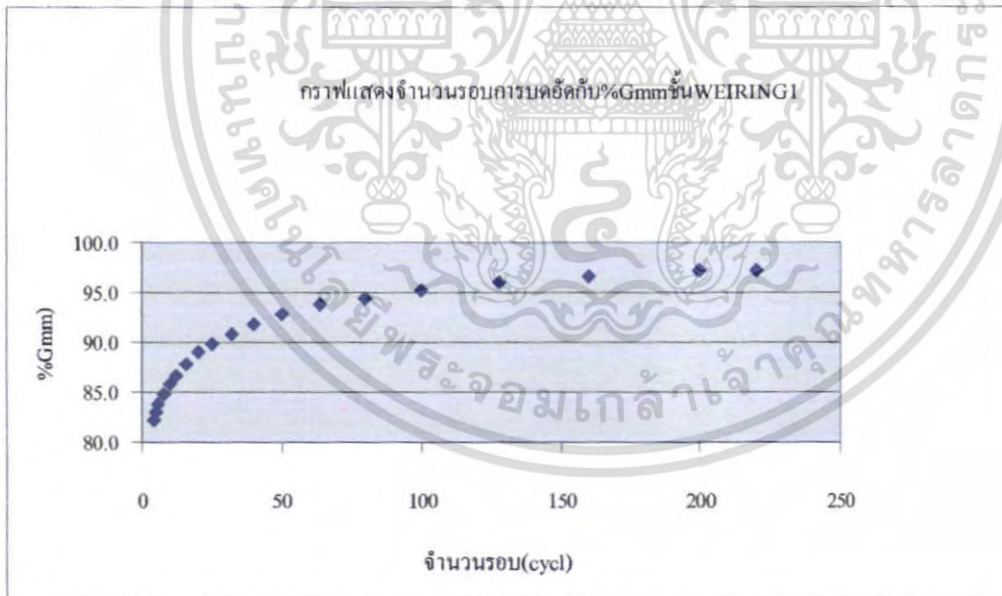
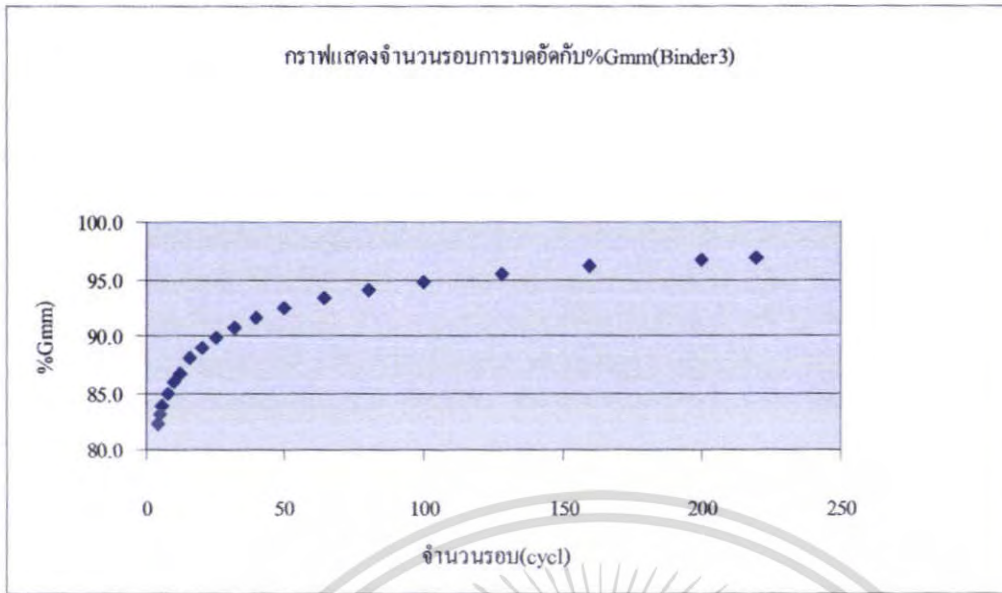
ก้อนตัวอย่าง	Binder Course			Wearing Course		
	ก้อน ตัวอย่างที่1	ก้อน ตัวอย่างที่2	ก้อน ตัวอย่างที่3	ก้อน ตัวอย่างที่1	ก้อน ตัวอย่างที่2	ก้อน ตัวอย่างที่3
ชั่งในอากาศ (g)	1247.5	1251.2	1252.2	1249.4	1252.3	1250.3
ชั่งในน้ำ (g)	756.2	757.5	759.9	755.8	756.4	754.4
อิมตัวผิวแห้ง (g)	1245.9	1249.9	1253.1	1250.3	1252.5	1251.8
% AC by น้ำหนัก	4.90			5.10		
density kg/m <sup>3</sup>	2493	2487	2468	2456	2456	2428
ความสูง(มม.)	63.9	64	64.5	64.8	64.8	65.6
AV %(เฉลี่ย)	4.33			4.57		
VMA %(เฉลี่ย)	15.08			14.99		
VFA%(เฉลี่ย)	73.48			73.31		
Wt. of Agg. (%)	4.33			4.57		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

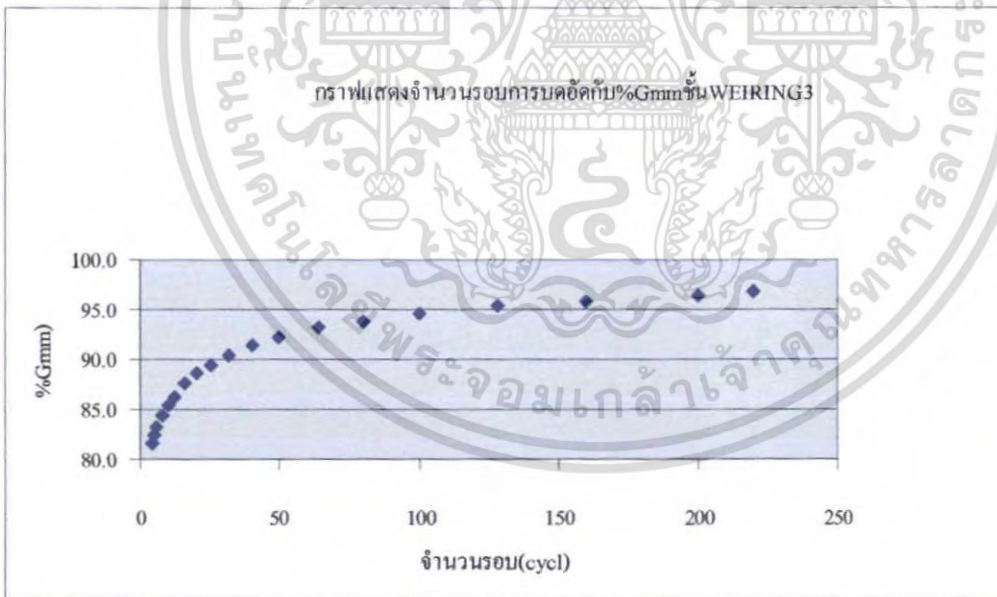
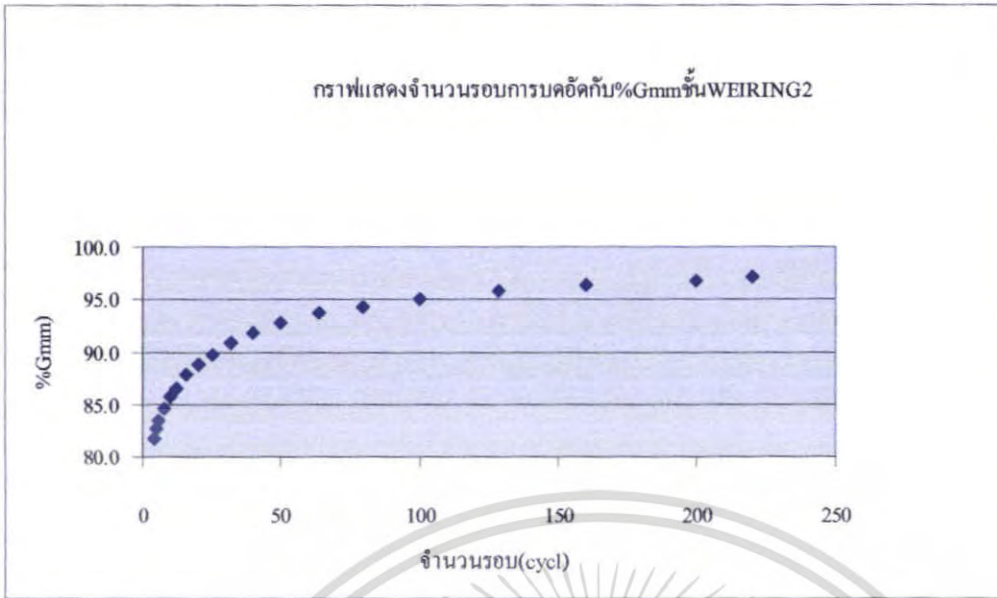
รูปผนวกที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Gmm และจำนวนรอบการบดอัด (220 รอบ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต  
ชั้น Binder Course และ ชั้น Wearing Course

ตารางผนวกที่ 1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีตชั้น Binder Course โครงการก่อสร้างทางหลวงสาย ถนนวัดศรีวารีน้อย (#31-อ่อนนุช) ตอน 2

รายการ	ค่าที่ได้จากวัสดุ	ข้อกำหนดของกรมทาง
	ผสม	หลวง
ค่าแอสฟัลต์ที่ออกแบบโดยน้ำหนักของมวลรวม %	4.3	3.0 – 6.5
ค่าความหนาแน่นแบบมาร์แชล g/ml	2.41	-
ช่องว่างอากาศ (AV)%	4.3	3 – 6
ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA)%	14.7	> 13
ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)%	71.0	65 – 75
ค่าเสถียรภาพแบบมาร์แชล lbs	2560	> 1,800
ค่าการไหลแบบมาร์แชล 0.01in.	12	8 – 16
ค่าเสถียรภาพ/ค่าการไหล lbs/0.01 in.	213	> 160

ตารางผนวกที่ 2 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีตชั้น Wearing Course โครงการก่อสร้างทางหลวงสาย ถนนวัดศรีวารีน้อย (#31-อ่อนนุช) ตอน 2

รายการ	ค่าที่ได้จากวัสดุ	ข้อกำหนดของกรมทาง
	ผสม	หลวง
ค่าแอสฟัลต์ที่ออกแบบโดยน้ำหนักของมวลรวม %	5.1	3.0 – 6.5
ค่าความหนาแน่นแบบมาร์แชล g/ml	2.414	-
ช่องว่างอากาศ (AV)%	3.8	3 – 6
ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA)%	14.8	> 13
ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)%	74.0	65 – 75
ค่าเสถียรภาพแบบมาร์แชล lbs	2740	> 1,800
ค่าการไหลแบบมาร์แชล 0.01in.	12	8 – 16
ค่าเสถียรภาพ/ค่าการไหล lbs/0.01 in.	228	> 160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นBinder Course โครงการก่อสร้างทางหลวง สาย ถนนวัดศรีวารีน้อย (#31-อ่อนนุช) ตอน 2

รายการ	ค่าที่ได้จากวัสดุผสม	ข้อกำหนดของกรม ทางหลวง
ค่าแอสฟัลต์ที่ออกแบบโดยน้ำหนักของมวลรวม %	4.90	3.0 – 6.5
ค่าความหนาแน่นแบบซูปเปอร์เพฟ g/ml	2.483	-
ช่องว่างอากาศ (AV) %	4.33	3 – 6
ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) %	15.08	> 13
ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) %	73.48	65 – 75

ตารางผนวกที่ 4 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นWearing Course โครงการก่อสร้างทางหลวง สาย ถนนวัดศรีวารีน้อย (#31-อ่อนนุช) ตอน 2

รายการ	ค่าที่ได้จากวัสดุผสม	ข้อกำหนดของกรม ทางหลวง
ค่าแอสฟัลต์ที่ออกแบบโดยน้ำหนักของมวลรวม %	5.10	3.0 – 6.5
ค่าความหนาแน่นแบบซูปเปอร์เพฟ g/ml	2.447	-
ช่องว่างอากาศ (AV) %	4.17	3 – 6
ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) %	15.0	> 13
ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) %	73.50	65 – 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้